

**XXVIII *Workshop* do PRH44.1 em Petróleo, Gás e Energias Renováveis**  
**7 a 9 de novembro de 2023**

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



# **LIVRO DE RESUMOS**

## Sumário

<i>Membranas Poliméricas Aplicadas na Indústria do Petróleo</i> .....	3
<i>Sistema de Bancada e Testes de Permeação com Membranas Poliméricas para a Purificação do Biodiesel</i> .....	4
<i>Mineralização de Dióxido de Carbono com Circulação de Monoetanolamina</i> .....	6
<i>Biodegradação de Fenantreno por Pseudomonas Aeruginosa AP029-GLVIIA em Microcosmos</i> .....	8
<i>Levantamento Bibliográfico sobre o Tratamento de Água Produzida por Meio de Processos Oxidativos Avançados Associados a Fotólise e Ozonização</i> .....	10
<i>Propriedades Petrofísicas e Elásticas como Ferramenta de Avaliação do Comportamento da Rocha na Injeção de CO<sub>2</sub> em Reservatórios Areníticos</i> .....	12
<i>Materiais 2D com Efeito Janus para Separação Água e Óleo e Aplicação na Remoção de Dióxido de Carbono</i> .....	14
<i>Aplicação do Equilíbrio de Fases nos Processos de Fracionamento de Produtos da Pirólise</i> .....	16
<i>Influência do Tamanho das Partículas de MoS<sub>2</sub> Impregnadas em Poliuretano na Eficiência da Remoção de Óleos Derramados em Água do Mar</i> .....	18
<i>Modelagem e Simulação Fluidodinâmica de Escoamentos de Emulsões Água-Óleo</i> .....	20
<i>Simulação Numérica no Estudo do Ruído Aerodinâmico Presente nos Perfis (Pás) de Aero geradores Eólicos</i> .....	21
<i>Automatização Utilizando o Conceito IoT em um Tribômetro FGZ Modificado para Simular Atrito e Desgaste em Sistemas Mecânicos do Setor de Energia Eólica</i> .....	23
<i>Desenvolvimento de Tratamentos Superficiais para Diminuir o Desgaste em Rolamentos de Aero geradores em Turbinas Eólicas</i> .....	25
<i>Aplicação do Conceito de Gêmeo Digital para a Manipulação de Objetos na Indústria do Petróleo</i> .....	26
<i>Contribuição para o Desenvolvimento de um Veículo Leve Híbrido</i> .....	28
<i>Desenvolvimento de um Sistema Digital para a Medição da Energia Específica de Riscamento em um Esclerômetro Pendular de Passe Único</i> .....	30
<i>Um Sistema de Visão Computacional Baseado em Redes Neurais Convolucionais Artificiais para o Reconhecimento de Objetos em um Protótipo de um Sistema Flexível de Manufatura</i> .....	32
<i>Equilíbrio Líquido-Vapor de Misturas de Álcool e Óleo de Soja, visando o Processamento do Biodiesel</i> .....	34
<i>Novas Tendências na Preparação de Biocatalisadores Heterogêneos para Aplicação na Produção de Biocombustíveis</i> .....	36
<i>Imobilização da Lipase de Thermomyces Lanuginosus (TLL) em Fibra de Coco Pré-Tratada por Explosão a Vapor e Modificada com Periodato de Sódio</i> .....	37
<i>Captura de Carbono por Absorção Química em Microdispositivos</i> .....	39
<i>Utilização de Microalgas para Produção de Biocombustíveis por meio da Pirólise</i> .....	41
<i>Machine Learning Interpretável: Estudo da Dependência Parcial de um Modelo Preditor da Densidade de Misturas Aquosas de Eletrólitos</i> .....	43
<i>Estudo do Comportamento do Carbonato de Cálcio a Diferentes Pressões Utilizando a Célula de Equilíbrio PVT para o Sistema CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + MEG + CaCO<sub>3</sub></i> .....	45
<i>Revisão Bibliográfica sobre o Tratamento de Água Produzida com Adsorventes Comerciais</i> .....	47
<i>Recuperação Contínua de Óleos Derramados em Água do Mar através de Membranas de Poliuretano Pós-Consumo Hidrofobizadas</i> .....	49
<i>Argilas Organofílicas para Remoção de Ácidos Naftênicos, Fenol e Naftaleno Visando a Remediação de Águas Subterrâneas por Barreiras Reativas Permeáveis</i> .....	51
<i>Solubilidade do Carbonato de Cálcio em Meio Aquoso na Ausência de Dióxido de Carbono</i> .....	53

## *Membranas Poliméricas Aplicadas na Indústria do Petróleo*

*Profa. Liana Franco Padilha\**

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte*

*\*liana.padilha@ufrn.br*

As membranas poliméricas podem ser aplicadas em diversas áreas, desde tratamento de água e efluentes, indústria do petróleo como em aplicações na área de alimentos e fármacos. Diversos estudos são encontrados na literatura sobre melhorias nas características das membranas poliméricas para cada aplicação. Essas são definidas como uma barreira seletiva entre duas fases e podem ser espessas ou finas, homogêneas ou heterogêneas, naturais ou sintéticas e podem ser carregadas ou neutras. A técnica de preparo mais utilizada para produção de membranas poliméricas é a inversão de fases por indução de não-solvente (NIPS) que consiste na precipitação de uma solução polimérica em um banho de não solvente. Os materiais utilizados para a síntese através da NIPS são polímeros solúveis em solventes orgânicos como polieterimida, polisulfona, polietersulfona, cloreto de polivinila, fluoreto de polivinila etc. Um dos desafios na síntese/aplicação de membranas é reduzir a queda no desempenho da membrana com o tempo de operação. Para isto, deve-se compreender melhor o comportamento da membrana em função dos parâmetros operacionais, como a polarização de concentração e a incrustação que aumentam a resistência à permeação da água e diminuem o fluxo permeado. Na indústria do petróleo as membranas poliméricas, além de utilizadas para o tratamento de água e efluentes, são aplicadas para na remoção de sulfato da água do mar para injeção de água; remoção de óleo de água para reinjeção; na purificação de correntes gasosas (metano) e na captura de CO<sub>2</sub> de correntes de hidrocarbonetos. Com o foco em energias renováveis, as membranas poliméricas também estão sendo aplicadas em células a combustível, na produção de H<sub>2</sub> e na intensificação de processos para obtenção de biocombustíveis.

## *Sistema de Bancada e Testes de Permeação com Membranas Poliméricas para a Purificação do Biodiesel*

*Glória L. V. Costa\*; Liana F. Padilha; Osvaldo Chiavone-Filho*

*Laboratório de Energia Alternativa e Fenômeno de Transporte (LEAFT) - Depto de Enga Química (UFRN)*

*\*glorialouine@hotmail.com*

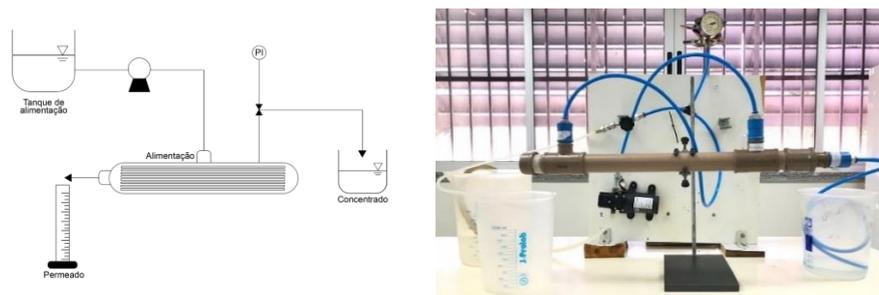
### **Introdução**

Diante dos problemas ambientais ocasionados, da limitação dos recursos de hidrocarbonetos, da implantação de políticas exortativas para o uso de energias renováveis e legislação restrita sobre emissões de carbono, o desenvolvimento de biocombustíveis para reduzir o consumo de fontes de petróleo para o setor de transporte vem sendo incentivado. Considerando as fontes alternativas de biocombustíveis disponíveis, a produção de biodiesel possui um lugar de destaque na sociedade pós-moderna [1]. Industrialmente, a transesterificação é a reação mais utilizada para a obtenção do biodiesel, obtendo como produtos ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol. Devido a presença do glicerol, são necessários processos adicionais de purificação. O método mais tradicional é por via úmida, em que a água é introduzida no processo, desta forma, acaba aumentando os custos e o tempo de produção do biodiesel final purificado, além de gerar grandes volumes de efluentes [2]. Assim, os problemas associados aos métodos convencionais de purificação de biodiesel resultaram no impulsionamento da exploração de novas tecnologias para a realização dessa etapa do processo de produção. Por alcançar um biodiesel altamente qualificado, a aplicação de membranas tem atraído atenção considerável, sendo uma área muito promissora. O processo possui alta eficiência de separação, é ambientalmente seguro, requer pouco gasto de energia e tem simplicidade operacional e flexibilidade [3].

### **Metodologia**

Nesta pesquisa, foi desenvolvido um sistema de permeação de bancada constituído de um conjunto motor bomba, um módulo contendo as membranas de ultrafiltração do tipo fibra oca, válvulas e manômetros, para controle e medição da pressão do sistema, respectivamente. A representação simplificada do sistema e o aparato montado em laboratório estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Sistema de separação por membranas de bancada.



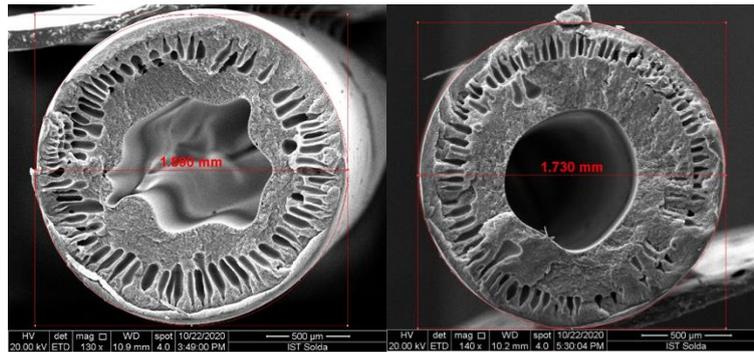
Fonte: Autor (2023).

Após a montagem do sistema de bancada, foram realizados métodos de caracterização para avaliar as propriedades das membranas utilizadas e do módulo confeccionado. Para a análise morfológica das membranas, empregou-se microscópio eletrônico de varredura. Quanto as propriedades de transporte, o módulo desenvolvido foi submetido a testes de permeabilidade hidráulica. Além disso, as propriedades de separação das membranas (rejeição) foram avaliadas em testes de permeabilidade fazendo uso de soluções com solutos de massa molar conhecida.

### **Resultados e Discussão**

A Figura 2 apresenta as micrografias obtidas na seção transversal da membrana de PVDF. Através desta análise, determina-se os valores de diâmetro interno e externo médio das amostras. Dessa forma, torna-se possível a determinação de alguns parâmetros, como a área e volume do módulo.

Figura 2 – Fotomicrografias obtidas por MEV das membranas poliméricas de fibra oca.



Fonte: Autor (2023).

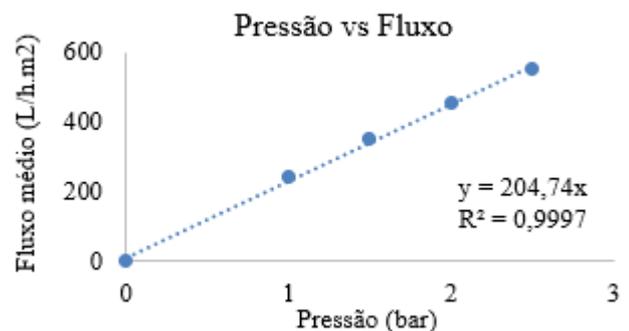
Na Tabela 1, estão expressos os valores obtidos para os parâmetros de vazão, fluxo volumétrico e permeabilidade nas diferentes pressões avaliadas. O coeficiente angular da reta obtida da relação pressão versus fluxo (Figura 3) corresponde à permeabilidade hidráulica teórica desse módulo, apresentando valor de 204,74 L/h.m<sup>2</sup>. bar.

Tabela 1 – Valores médios obtidos no teste de permeabilidade hidráulica.

Parâmetros	Pressão (bar)			
	1	1,5	2	2,5
Vazão (L/h)	2,83	4,04	5,27	6,36
Fluxo volumétrico (L/m <sup>2</sup> .h)	244,89	349,51	454,19	551,23
Permeabilidade (L/h.m <sup>2</sup> .bar)	244,30	232,39	227,91	219,72

Fonte: Autores (2023).

Figura 3 – Gráfico Pressão versus Fluxo.



Fonte: Autores (2023)

Os testes de rejeição foram realizados para avaliar a faixa de tamanho de partícula que as membranas conseguem separar. Através dos valores expressos na Tabela 2, observa-se que partículas com tamanho maior ou próximo ao PVP K90 possui uma alta taxa de rejeição, enquanto que, partículas menores ou com tamanho próximo ao PVP K30 são menos rejeitadas pela membrana.

Tabela 2 – Valores médios de rejeição a PVP (K30 e K90) e BSA para a membrana de fibra oca de PVDF.

Solutos	PVP K90	BSA	PVP K30
Rejeição (%)	79,09	71,41	13,39

Fonte: Autor (2023).

## Conclusão

As membranas foram devidamente caracterizadas quanto a sua morfologia e propriedades de transporte e rejeição. A morfologia observada por MEV demonstrou uma estrutura bem formada, com diâmetro externo e interno de 1,78 mm e 0,813 mm, respectivamente. Ao final dos experimentos, observou-se que a permeabilidade hidráulica teórica da fibra foi relativamente alta e os testes de rejeição demonstraram boa eficiência na separação de solutos de maior massa molar.

## Referências Bibliográficas

- [1] OUMER, A. N.; HASAN, M. M.; BAHETA, A. T.; MAMAT, R.; ABDULLAH, A. A. Renew Sustain Energy Rev 88:82–98. 2018.
- [2] OLIVEIRA, R. S. et al. Química Nova, v. 41, n. 2, p. 121-128, 2020.
- [3] CHOZHAVENDHAN, S.; VIJAY, M.; FRANSILA, B.; PRAVEEN, R.; KARTHIGA, G. A. Current Research in Green and Sustainable Chemistry, 1-2, 1-6. 2020.

## *Mineralização de Dióxido de Carbono com Circulação de Monoetanolamina*

*Gleyson B. Oliveira\*; Carlos E. A. Padilha; Domingos F. S. Souza*

*Laboratório de Energia Alternativa e Fenômeno de Transporte (LEAFT) - Depto de Enga Química (UFRN)*

*\*gleysonbatista35@gmail.com*

### **Introdução**

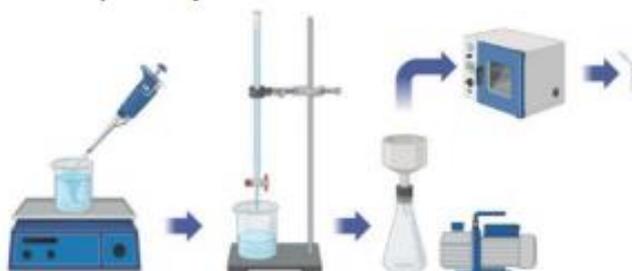
A concentração de gases poluentes na atmosfera aumentou excessivamente na atmosfera devido à ação humana, principalmente, pelo consumo desenfreado de combustíveis fósseis. A queima de combustíveis fósseis para energia e transporte é a principal atividade humana que causa emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera [1]. Tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> (CCS, do inglês *Carbon Capture and Storage*) têm sido extensivamente investigadas para mitigar problemas provocados pelo gás. As tecnologias CCS compreendem três etapas: captura do CO<sub>2</sub> dos gases de combustão e sua compressão, transporte e armazenamento [2]. Dentre as tecnologias de captura a absorção são o processo mais estudado e consistem na separação de uma corrente de gás por um solvente líquido que remove um ou mais componentes da corrente. Dentre os solventes comumente utilizados na absorção química, a monoetanolamina (MEA) se destaca por seu elevado desempenho de captura.

Métodos de armazenamento têm sido integrados para tornar a remoção do gás poluente ainda mais eficiente e dar um destino ambientalmente seguro. Os métodos de armazenamento além de ser considerada uma tecnologia com potencial para serem otimizada em uma perspectiva futura. A carbonatação mineral ou mineralização de CO<sub>2</sub> é compreendida como uma tecnologia incorporada aos métodos de armazenamento gerados pela combustão, o qual ocorre pela reação baseada na interação entre moléculas de CO<sub>2</sub> e materiais óxidos metálicos/metais alcalinos presentes no meio permitindo sua fixação. Portanto, o presente estudo visa investigar o potencial da tecnologia de mineralização de CO<sub>2</sub> absorvido com circulação de MEA na presença de óxido de cálcio.

### **Metodologia**

O protocolo utilizado foi descrito por Liu e Gadikota [4] e posteriormente modificado. Experimentos de captura de CO<sub>2</sub> e mineralização de carbono in situ foram realizados para liberar o MEA em um sistema de béquer agitado em temperatura ambiente. A mineralização de CO<sub>2</sub> consiste na mistura de diferentes concentrações de óxido de cálcio (CaO) de 1%, 5% e 10% em 100 mL de solução carbonatada de MEA. A velocidade de agitação para todos os experimentos foi fixada a uma temperatura de 30 °C. A fase aquosa consistia em MEA em composições de 10, 20 e 30 (% v/v). O experimento foi realizado com tempo de reação de 2 h, coletando alíquotas de 10 mL ao longo do tempo para obtenção do parâmetro de carga de CO<sub>2</sub> ( $\alpha$  - moles CO<sub>2</sub>/moles MEA), o qual foi determinado por titulação ácida (25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, v/v). Após o tempo de reação, percorrido ela é dada por encerrada e aguardada a estabilização das condições de temperatura para a ambiente, o conteúdo obtido é isolado e submetido a filtração a vácuo. O produto sólido coletado foi seco em estufa com circulação de ar a 105 °C por 12 h e armazenado em tubos Eppendorf. Uma representação da implementação experimental é mostrada na Figura 1.

**Figura 1:** Representação esquemática da unidade de mineralização de CO<sub>2</sub>.

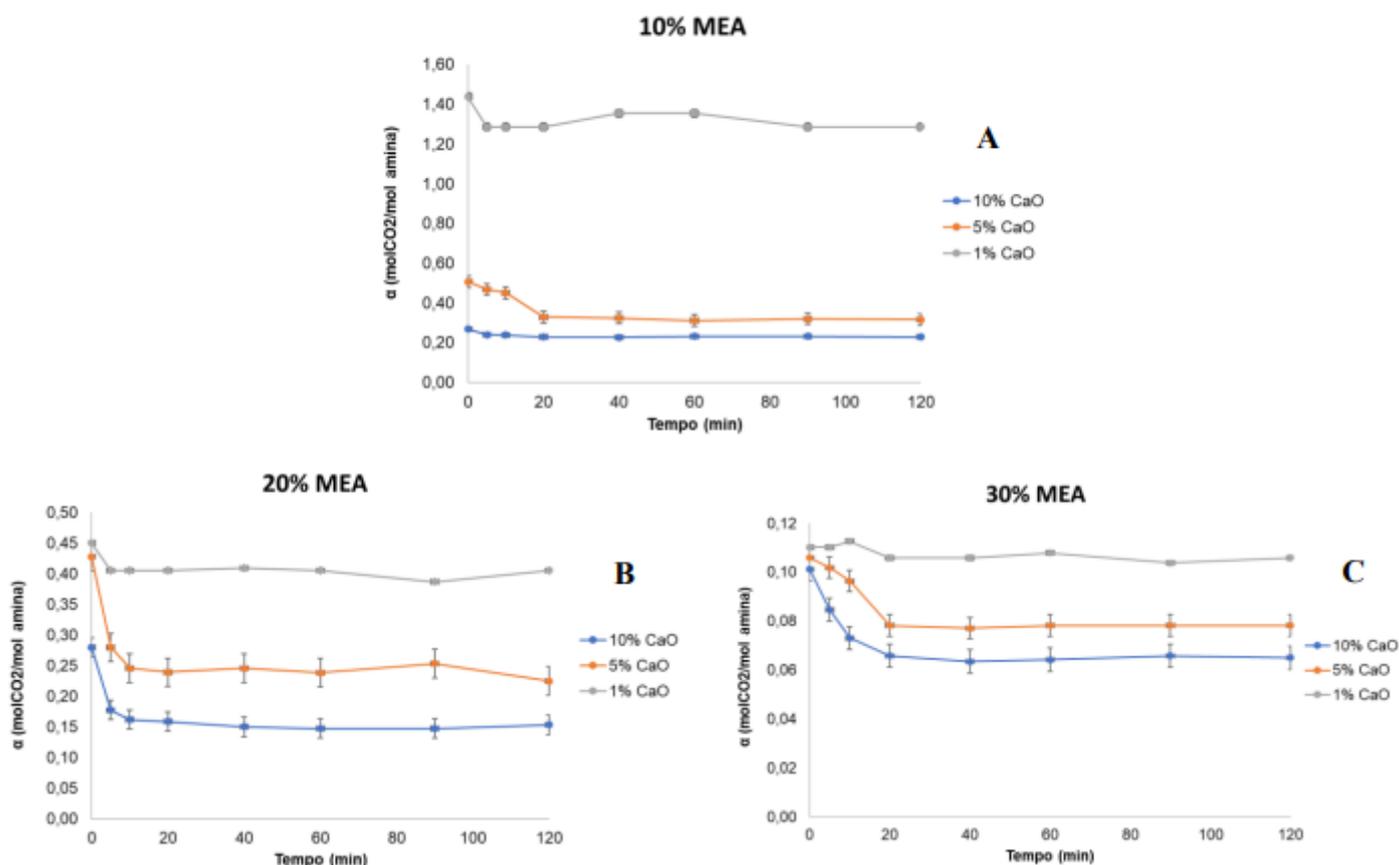


Fonte: Autor (2023).

## Resultados e Discussão

Conforme mostrado na Figura 2, o comportamento característico da reação de mineralização de CO<sub>2</sub> é observado para cada caso de CaO em relação à concentração de MEA. Este mecanismo de reação é baseado na dissociação das ligações entre as moléculas de CO<sub>2</sub> e as moléculas de MEA após exposição ao CaO. Portanto, o parâmetro  $\alpha$  foi determinado durante a cinética da reação a fim de observar o comportamento de redução gradual consistente com o mecanismo de conversão do CaO em carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Avaliando o cenário dos casos apresentados, inicialmente os valores de  $\alpha$  correspondem a concentração de saturação atingido para cada solução de MEA, que ao longo da cinética é observado o seu decréscimo frente a reação de mineralização na presença do óxido. Nas Figuras 2A, 2B e 2C, o comportamento cinético apresenta uma conversão significativa do CaO em CaCO<sub>3</sub> conforme é verificado o valor do parâmetro reduzido com tempo de equilíbrio da reação variando de 20 a 40 min.

**Figura 2:** Mineralização de CO<sub>2</sub> em condições variadas de CaO (1%, 5% e 10%) e MEA (10, 20 e 30%).



Fonte: Autor (2023).

Esse fato se relaciona a desassociação lenta das moléculas de CO<sub>2</sub> e MEA na presença das concentrações de CaO, que por sua vez está relacionado a interação entre o CO<sub>2</sub> e o CaO, podendo ela ser intensificada de acordo com os percentuais de óxido presentes no meio reacional. Considerado em um cenário geral, com a concentração de 10% de CaO é observado que a conversão é mostrada mais eficiente para os todos casos apresentados, indicando como sendo uma condição satisfatória quando se deseja altos índices de CaCO<sub>3</sub> formado.

## Referências Bibliográficas

- [1] AMARAL et al. Environ. Pollut. v. 249. p. 311–320. 2019.
- [2] SOUZA, J.S. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Católica do Salvador. Bahia. p. 57. 2021.
- [3] ROCHEDO, P., Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. p. 362. 2011.
- [4] LIU, M., & GADIKOTA, G. Energy & Fuels, v. 33, n. 3, p. 1722–1733. 2018.

***Biodegradação de Fenantreno por Pseudomonas Aeruginosa AP029-GLVIA em Microcosmos***  
***Francisco B. F. Freitas\*; Carlos E. A. Padilha; Nathalia S. Rios; Everaldo S. Santos***  
***Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) - Departamento de Engenharia Química (UFRN)***  
***\*brunoferreirafrei@gmail.com***

## **Introdução**

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) são um grupo de poluentes prioritários de crescente preocupação ambiental devido aos seus efeitos nocivos sobre humanos, animais e plantas. O fenantreno (FEN) é um HAP de anel angular e foi incluído como um dos poluentes prioritários de HAPs por muitos países, uma vez que se tornou um dos HAPs mais abundantes no ambiente aquático [1]. A contaminação por FEN origina-se principalmente da refinaria, combustão incompleta e derramamento de combustível fóssil, resultando em sua transferência para o solo e água por meio de escoamento e descargas de resíduos [2]. Para a remoção do FEN de locais contaminados, a biorremediação é considerada uma estratégia econômica e ecologicamente correta [3]. O objetivo da biorremediação é transformar substâncias tóxicas em substâncias não tóxicas, como dióxido de carbono, água e ácidos graxos, removendo completamente os hidrocarbonetos de petróleo do ambiente [4]. Os obstáculos associados à biodegradação dos hidrocarbonetos surgem em função da solubilidade reduzida em água, resultando em baixa biodisponibilidade para os microrganismos [5]. Nesse contexto, a utilização de compostos biossurfactantes surge como uma alternativa para o aumento da solubilidade desses compostos em água [6]. Logo, o objetivo do projeto é avaliar a capacidade de biodegradação do FEN por *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIA na presença de um biossurfactante industrial.

## **Metodologia**

Os cultivos em microcosmos foram realizados em frascos de vidro de 250 mL com tampa rosqueável (microcosmos). A bactéria utilizada para realizar a biodegradação foi a *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIA e o biossurfactante utilizado durante a degradação foi cedido por uma empresa de produtos químicos multinacional, com sede no Brasil. Ao microcosmo foram adicionados o caldo Bushnell Haas previamente esterilizado, o biossurfactante e os hidrocarbonetos em proporções estabelecidas, conforme a matriz do delineamento experimental composto central ( $2^2+3PC+4$  Pontos axiais) que está descrito na Tabela 1, seguida pela inoculação com a *P. aeruginosa* (1% v/v). Após a adição dos componentes e a inoculação, os frascos foram mantidos com agitação constante ( $110 \pm 10$  rpm), a uma temperatura de  $30 \pm 2^\circ\text{C}$ , em que ao final de 10 dias de degradação foi realizada a análise da taxa de biodegradação, por balanço de massa, considerando a quantificação do fenantreno não degradado, a partir da análise de CLAE. Os experimentos foram realizados de forma aleatória e na análise do planejamento utilizou-se o programa Statistica v.10.0 (StatSoft, USA). A Análise de Variância (ANOVA) permitiu avaliar se o modelo obtido para representar a taxa de degradação (resposta) do composto modelo foi significativo e preditivo.

## **Resultados e Discussão**

A partir dos resultados apresentados a partir da superfície de resposta (Figura 1), foi possível observar que a degradação é influenciada apenas pela concentração do biossurfactante, sendo que, quanto maior a adição de biossurfactante maior será a taxa de biodegradação. Isso pode ser explicado pelo fato do biossurfactante emulsionar o hidrocarboneto, que é insolúvel em água, solubilizando-o, e conseqüentemente, tornando-o disponível para a degradação pela *P. aeruginosa*. Observa-se também que a variável concentração de biossurfactante apresenta maior influência na taxa de biodegradação em comparação a variável concentração do fenantreno. A equação 1 apresenta o modelo encontrado para a taxa de biodegradação, com esses dados, é possível analisar que apenas o termo linear para a variável biossurfactante apresentou-se como significativo no sistema. A partir dos dados, é possível afirmar que o modelo é significativo ( $F^* > 1$ ) e ao mesmo tempo preditivo ( $F^{**} < 1$ ). Podemos observar que o modelo de degradação de acordo com a análise de variância consegue explicar cerca de 92,0% dos dados ( $R^2=0,92$ ), o que é bastante importante para o estudo, tendo em

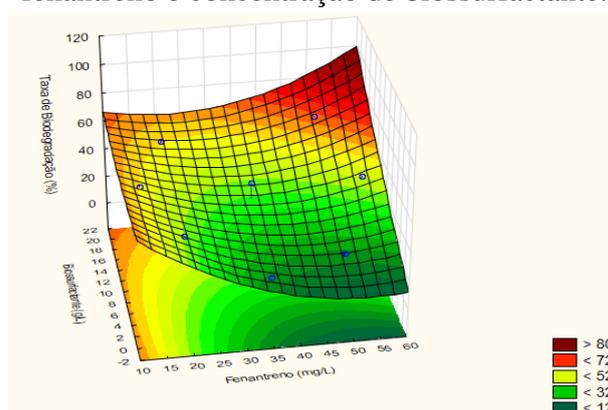
vista que encontrar modelos que possa prever as taxas de biodegradação utilizando diferentes concentrações de hidrocarbonetos e biossurfactante é de suma importância para a indústria.

Tabela 1. Matriz do planejamento CCR (2<sup>2</sup>+3PC+4 Pontos axiais) para avaliar o efeito da concentração do fenantreno e do biossurfactante na taxa de biodegradação do hidrocarboneto.

Ensaio	Hidrocarboneto (mg/L)	Biossurfactante (g/L)	Taxa de Biodegradação (%)
1	20,0 (-1)	2,95 (-1)	45,37
2	20,0 (-1)	17,69 (+1)	57,64
3	50,0 (+1)	2,95 (-1)	23,19
4	50,0 (+1)	17,69 (+1)	66,81
5	13,79 (-α)	10,32 (0)	54,08
6	56,21 (+α)	10,32 (0)	48,72
7	35,0 (0)	0,00 (-α)	22,19
8	35,0 (0)	20,74 (+α)	61,43
9	35,0 (0)	10,32 (0)	49,99
10	35,0 (0)	10,32 (0)	34,21
11	35,0 (0)	10,32 (0)	34,47

Fonte: Autor (2023).

Figura 1. Superfície de resposta para a taxa de biodegradação do fenantreno em função das variáveis concentração de fenantreno e concentração de biossurfactante.



Fonte: Autor (2023).

$$\text{Taxa de Biodegradação (\%)} = 45,28 - 2,88 \cdot X_1 + 0,0282 \cdot X_1^2 - 1,155 \cdot X_2 + 0,0276 \cdot X_2^2 + 0,07 X_1 X_2 \quad \text{Eq. 1}$$

## Conclusão

Com os resultados apresentados, pode-se concluir que a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* foi capaz de degradar o fenantreno, sendo possível degradar até 61,43%. Observa-se também que o biossurfactante industrial melhorou na taxa de biodegradação, sendo a única variável que apresentou influência significativa na resposta estudada.

## Referências Bibliográficas

- [1] VASUDEVAN, V.; GAYATHRI, K. V.; KRISHNAN, M. E. G. Chemosphere, v. 202, p. 387–399, 2018.
- [2] ASHOK, A.; HOJ, L.; BRINKMAN, D.L.; NEGRI, P.N.; AGUSTI, S. Environm. pollution, v. 297, p. 118789, 2022.
- [3] MOHAN, S.V.; KISA, T.; OHKUMA, T.; KANALY, R.A.; SHIMIZU, Y. Rev Environ Sci Biotechnol 5, 347–374 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11157-006-0004-1>.
- [4] XUEQING ZHU, A.D.V.; MAKRAM, T.; LEE, S.K. Environmental Protection Agency: Cincinnati, OH, USA, 2001.
- [5] XU X.; LIU W.; TIAN S.; WANG W.; QI Q.; JIANG P.; GAO X.; LI F.; LI H.; YU H. Front Microbiol. 2018 Dec 3;9:2885. doi: 10.3389/fmicb.2018.02885. PMID: 30559725; PMCID: PMC6287552.
- [6] KARLAPUDI, A.P.; VENKATESWARULU, T.; TAMMINEEDI, J.; KANUMURI, L.; RAVURU, B.K.; DIRISALA, V.R.; KODALI, V.P. Petroleum 2018, 4, 241–249.

## ***Levantamento Bibliográfico sobre o Tratamento de Água Produzida por Meio de Processos Oxidativos Avançados Associados a Fotólise e Ozonização***

***Joyce A. B. de Souza\*; Letícia P. de Araújo; Osvaldo Chivone-Filho***

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

***\*joyceabsouza@gmail.com***

### **Introdução**

A água produzida, efluente obtido pela junção de águas residuais coletadas de inúmeros processos advindos do processamento do petróleo bruto, possui em sua composição inúmeros contaminantes como metais pesados, compostos fenólicos, uma gama de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), ácidos naftênicos (NAs), compostos nitrogenados e sulfurados. Tais contaminantes possuem potencial tóxico e propriedades mutagênicas e carcinogênicas para a saúde humana, além da possibilidade de provocar desequilíbrios ambientais nos locais de contaminação [1]. Este tipo de efluente é produzido em grandes volumes e precisa passar por tratamentos físico-químicos e mecânicos para que possa ocorrer o descarte ou reutilização desta água com concentrações que atendam aos padrões de segurança estabelecidos pelos órgãos regularizadores [2]. Uma técnica de tratamento largamente utilizada para degradação de contaminantes em água produzida são os Processos Oxidativos Avançados (POA), que fazem uso da fotólise e/ou ozonização para ativação de diferentes tipos de oxidantes, buscando degradar os poluentes presentes nestes efluentes. Assim sendo, este trabalho tem por objetivo realizar um breve levantamento bibliográfico sobre estudos vinculados ao tratamento de água produzida utilizando POAs articulados com a ozonização e a fotocatalise, verificando se tais técnicas apresentam bons resultados de degradação dos contaminantes presentes neste meio.

### **Metodologia**

O levantamento bibliográfico acerca de pesquisas realizadas utilizando POAs com fotocatalise e/ou ozonização como ativadores de oxidantes diversos, na busca da degradação de contaminantes presentes em água produzida, foi realizado no portal do Periódico Capes, em base de dados nacionais e internacionais, através da busca por palavras-chaves relacionadas com o tema do trabalho.

### **Resultados e Discussão**

Os resultados obtidos com a busca bibliográfica indicaram que a utilização de POAs associados à ozonização e a fotólise para o tratamento de efluentes contaminados com petróleo e seus derivados vem sendo largamente utilizado e, alguns destes estudos estão registrados na Tabela 1. Diante dos resultados obtidos, se percebe que os estudos estão voltados para a degradação dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, NAs e de fenol das águas contaminadas, visto que são componentes modelos e encontrados com grande incidência nesse meio. Das técnicas de tratamento analisadas, verificou-se que os principais oxidantes utilizados foram o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), dióxido de titânio ( $TiO_2$ ), além do persulfato (PS), sendo a ativação destes realizada por irradiação (artificial ou real), sendo incrementando, em alguns casos, pelo ozônio ( $O_3$ ).

Como resultados, os tratamentos apresentaram altas taxas de remoção (66 - 100%) dos contaminantes em tempos reacionais relativamente baixos (45s - 2h), indicando que os sistemas propostos são eficientes e bastante promissores para serem utilizados com esse fim.

### **Conclusão**

Diante do exposto, percebe-se que a associação das técnicas de tratamento de efluentes POAs, ozonização e a fotocatalise apresentam boas respostas tratando-se da degradação de contaminantes advindos do petróleo e de seus

derivados e que, quando aprimorados, podem apresentar resultados extremamente significativos, visto o poder de oxidação que possuem juntos, possibilitando a redução da concentração destes poluentes na água produzida, podendo tratá-la para reuso ou descarte. Desta forma, este viés de estudo é de extrema importância e demanda estudos com diferentes variáveis e concentrações para aprimorar a degradação dos poluentes.

Tabela 1. Resultados obtidos com o levantamento bibliográfico acerca das técnicas de tratamento de águas produzidas.

Referência	Efluente analisado	Contaminante	Tipo de tratamento	Remoção (%)
[1]	Águas residuais de refinarias	Diferentes compostos, como tolueno, benzeno, etilbenzeno, ciclopropano, 4-cloro-3-metil entre outros	Catalisador/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Luz (artificial ou real)	Em 3h, a o DQO foi removido em: 66% com luz artificial e 71% com luz real; Com adição de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , a remoção do DQO em 2h: 96% com luz artificial e 98% com luz real
[3]	Águas residuais petroquímicas	Diferentes compostos presentes em águas residuais petroquímicas	Catalisador/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV/O <sub>3</sub>	Sob condições ótimas, 82% de DQO, DBO <sub>5</sub> = 91,1% de remoção e 89,7% do TPH foram removidos
[4]	Águas residuais petroquímicas	Fenol, sulfeto, amônia	TiO <sub>2</sub> /UV/O <sub>3</sub>	99,9% do fenol, 97,2% do sulfeto e 46% da amônia foram removidos em 60 min de reação
[5]	Efluente sintético	Ácido ciclohexanoico (composto modelo do NA)	Persulfato/UV	O NA foi completamente removido do sistema depois de 30 min
[6]	Água produzida em campos petrolíferos	Compostos modelos de ácidos naftênicos	Persulfato/UV, Cloro/UV e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV	Após 40 min de tratamento, a eficiência de remoção dos NAs para os processos PS/UV, Cloro/UV e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV foram, respectivamente, 81,2%, 71,0% e 70,9%
[2]	Efluente sintético	Ácido 1-adamantanocarboxílico (ACA) (composto modelo do NA)	Peroximonossulfato (PMS)/O <sub>3</sub> e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub>	O tratamento do ACA depois de 45 s para os sistemas PMS/O <sub>3</sub> e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> foram, respectivamente, 85% e 78%
[7]	Água produzida em campos petrolíferos	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos	Nanotubos de TiO <sub>2</sub> / UV-LED/O <sub>3</sub>	O tratamento resultou em uma remoção dos HPAs após 30 min de reação
[8]	Solução modelo de fenol	Fenol	O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV, UV/O <sub>3</sub> e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV/O <sub>3</sub>	Dentre os processos investigados, o melhor desempenho de remoção foi promovido pelo tratamento com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV/O <sub>3</sub> , em que 100% do fenol foi removido após 30 min de tratamento e 58% do TOC removido após 1h

## Referências Bibliográficas

- [1] WANG, Weixing et al. Separation And Purification Technology, [S.L.], v. 284, p. 120254, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2021.120254>
- [2] HOW, Zuo Tong et al. Journal Of Environmental Chemical Engineering, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 109935, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2023.109935>
- [3] AGHAZADEH, Mehrab et al. Scientific Reports, [S.L.], v. 13, n. 1, 5 ago. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-023-40045-4>
- [4] CORRÊA, Albertina X. R. et al. Journal Of Environmental Engineering, [S.L.], v. 136, n. 1, p. 40-45, jan. 2010. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0000111](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000111)
- [5] FANG, Zhi et al. Chemosphere, [S.L.], v. 211, p. 271-277, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.132>
- [6] FANG, Zhi et al. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 694, p. 133686, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133686>
- [7] LIU, Bo et al. Journal Of Hazardous Materials, [S.L.], v. 402, p. 123456, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123456>
- [8] KUSIC, Hrvoje et al. Chemical Engineering Journal, [S.L.], v. 123, n. 3, p. 127-137, out. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2006.07.011>

## *Propriedades Petrofísicas e Elásticas como Ferramenta de Avaliação do Comportamento da Rocha na Injeção de CO<sub>2</sub> em Reservatórios Areníticos*

*Lucas S. P. Sátiro\**; *Maria Clara M. Lourenço*, *Marcos A. F. Rodrigues*; *Alcides O. Wanderley Neto*  
*Laboratório de Engenharia de Reservatórios de Petróleo (LABRES) – Departamento de Engenharia de Petróleo;*  
*Laboratório de Tecnologia de Tensoativos (LTT) – Instituto de Química (UFRN)*  
*\*lucaspsatiro@gmail.com*

### **Introdução**

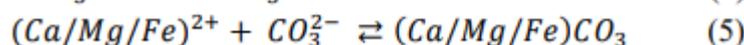
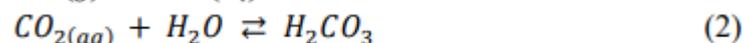
O consumo desenfreado de combustíveis fósseis e a incessante busca pelo crescimento econômico são temas frequentes de discussão na atualidade. As constantes emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) chegaram a patamares impactantes, proveniente majoritariamente de ações humanas, principalmente pelo uso de fontes não renováveis (NORDBOTTEN & CELIA, 2011).

Segundo Raisman & Murphy (2013), as alterações climáticas provenientes do aquecimento global dificilmente são reversíveis, visto que o tempo estimado para retorno das condições iniciais é elevado. Nesse cenário, entre as soluções práticas que podem mitigar os riscos dessas mudanças, a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> é uma das mais difundidas. De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* (2005), o processo de captura e armazenamento de carbono, conhecido pela sigla em inglês CCS (*Carbon Capture and Storage*) vislumbra-se como uma tecnologia mitigadora promissora, com consideráveis benefícios econômicos e ambientais.

O conjunto de técnicas que compreendem o CCS envolvem processos de separação do CO<sub>2</sub> das fontes emissoras (indústrias do setor energético, unidades de produção de petróleo), ou ainda captura direta do ar (DAC), transporte para os locais designados para isolamento da atmosfera e injeção para estocagem em formações geológicas profundas, como por exemplo, reservatórios de petróleo e gás depletados (MASULINO, 2020) e aquíferos salinos.

De acordo com o *Global CCS Institute* (GCCSI, 2018), são necessários, de uma forma geral, elementos em um contexto geológico para um armazenamento eficaz, tais como, formações rochosas com volume suficiente de espaços vazios, ou poros, que forneçam a capacidade para estocar o CO<sub>2</sub>; considerável permeabilidade para que o CO<sub>2</sub> possa acessar os poros da formação que servirá de reservatório; e rocha selante que impeça o CO<sub>2</sub> de migrar para as camadas superiores. A Bacia do Parnaíba está inserida na Província Estrutural Parnaíba, localizada na região nordeste ocidental do território brasileiro, ocupando os estados do Maranhão, Piauí, Pará, Ceará e Tocantins (HASUI; ABREU; VILLAS, 1984). Ciocari & Mizuaki (2019), apontaram como potenciais reservatórios da Bacia do Parnaíba os arenitos das formações Ipu, Jaicós, Cabeças, Pimenteiras, Piauí e Poti.

O potencial de determinadas rochas em converter o CO<sub>2</sub> injetado em minerais pode ser entendido pelo processo reacional abaixo, dado entre o CO<sub>2</sub> e a água de formação do reservatório:



A reação 2 demonstra a dissolução do CO<sub>2</sub> e sua dissociação em íons de bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), e a reação 4 a dissociação em íons de carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Enquanto a reação 5 descreve a junção dos ânions com íons de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Fe<sup>2+</sup> resultando na possível formação de carbonatos.

Diante desse contexto, o presente estudo visa avaliar o comportamento do CO<sub>2</sub> a partir de medidas petrofísicas e elásticas de rochas reservatório areníticas. Para isso, será realizada a injeção do CO<sub>2</sub> em *plugs* areníticos saturados com salmoura em condições físicas de reservatório, e após isso analisar as variações da porosidade e permeabilidade, e velocidades de ondas compressoriais (P) e de cisalhamento (S), para avaliar a possível formação do carbonato de cálcio, carbonato de magnésio, e carbonato de ferro.

## Metodologia

O desenvolvimento do presente trabalho envolverá diversas etapas. Inicialmente, será conduzida uma pesquisa do Estado da Arte CCS e levantamentos geológicos da Bacia do Parnaíba, seguida da preparação das amostras (*plugs*) da rocha arenito, e análises laboratoriais contemplando a avaliação petrofísica (porosidade e permeabilidade), e elástica (ondas P e S), antes e após a injeção de CO<sub>2</sub> nos *plugs* saturados com salmoura. A composição da salmoura, bem como a composição mineralógica das amostras também serão analisadas. Ainda assim, serão realizados ensaios laboratoriais para analisar as interações entre o CO<sub>2</sub>-Rocha-Salmoura visando avaliar o comportamento da rocha ao longo do tempo.

## Resultados e Discussão

Como resultado do presente trabalho, espera-se ampliar o conhecimento do potencial geológico relacionado à estocagem de CO<sub>2</sub> em reservatórios areníticos localizados na Bacia do Parnaíba. Além disso, realizar a avaliação da potencialidade do armazenamento do CO<sub>2</sub> nos reservatórios selecionados, a partir dos resultados das propriedades petrofísicas, porosidade e permeabilidade, e propriedades elásticas, velocidades das ondas P e S. Com isso, será possível não somente avaliar a viabilidade de potenciais sítios geológicos para armazenamento de CO<sub>2</sub> no local de estudo, mas também prover futuros investimentos para aplicação de CCS.

## Referências Bibliográficas

- [1] CIOCCARI, Giovanni Matte; MIZUSAKI, Ana Maria Pimentel. Sistemas petrolíferos atípicos nas Bacias paleozoicas brasileiras – Uma revisão. *Geociências*, v. 38, n. 2, p. 367-390, 2019.
- [2] GCCSI – Global CCS Institute. Geological Storage of CO<sub>2</sub>: Safe, Permanent, and Abundant. Fact Sheet. 2018. Disponível em <<https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/Global-CCS-Institute-Fact-Sheet-Geological-Storage-of-CO2.pdf>>. Acesso em 29 de outubro de 2023
- [3] HASUI, Y.; ABREU, F. A. M.; VILLAS, R. N. N. Província Parnaíba. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo: Edgard Blucher LTDA., 1984. 378 p
- [4] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2005. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442p.
- [5] MASULINO, Nathalia Weber Neiva. Armazenamento geológico de carbono em reservatórios não convencionais na formação Irati da Bacia do Paraná: Estimativas de capacidade de injeção de CO<sub>2</sub> e custos associados. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <[https://www.lasg.poli.usp.br/assets/dissertacao\\_nathaliaweberneivamasulino.pdf](https://www.lasg.poli.usp.br/assets/dissertacao_nathaliaweberneivamasulino.pdf)> Acesso em: 29 out. 2023.
- [6] NORDBOTTEN, J.M.; CELIA, M. 2011. Geological storage of CO<sub>2</sub>: modeling approaches for large-scale simulation. Nova Jersey: Ed. John Wiley & Sons, 256p.
- [7] RAISMAN, S., MURPHY, D. T. Ocean Acidification: Elements and Considerations. New York: Nova Science Publisher Inc, 2013

## Materiais 2D com Efeito Janus para Separação Água e Óleo e Aplicação na Remoção de Dióxido de Carbono

Adison P. S. Junior\*; José Heriberto O. Nascimento;  
Laboratório de Operações Unitárias, PPGEQ (UFRN)  
\*adison.junior.017@ufrn.edu.br

### Introdução

Este trabalho de pesquisa visa explorar o potencial de materiais bidimensionais (2D) com efeito Janus, como Mxenes, grafeno e borofeno, em aplicações ambientais críticas. O foco principal é a utilização desses materiais na eficiente separação de água e óleo, além da captura seletiva de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera.

A pesquisa é motivada pela necessidade de encontrar soluções inovadoras para desafios ambientais, como a contaminação da água e o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub>. A literatura científica indica que os materiais 2D com efeito Janus possuem propriedades promissoras, destacando-se os Mxenes pela sua estrutura de dupla face para a separação de água e óleo. O grafeno e o borofeno também mostram potencial em aplicações ambientais.

O estudo busca avaliar a viabilidade desses materiais em tecnologias para mitigar impactos ambientais, incluindo o desenvolvimento de membranas avançadas para separação em sistemas industriais e estratégias para a captura seletiva de CO<sub>2</sub>. Além disso, propõe investigar a funcionalização desses materiais para otimizar suas propriedades, contribuindo para soluções sustentáveis que promovam a conservação de recursos hídricos, a redução de emissões de CO<sub>2</sub> e a melhoria da qualidade de vida e do meio ambiente.

### Metodologia

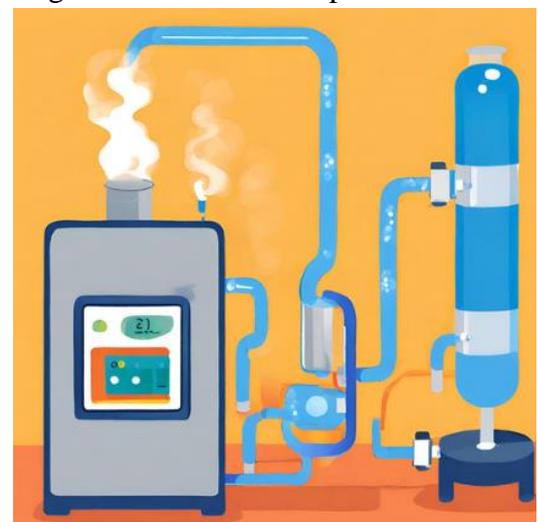
A metodologia adotada nesta pesquisa consiste em uma abordagem experimental. Inicialmente, os materiais 2D com efeito Janus, incluindo Mxenes, grafeno e borofeno, serão sintetizados de forma controlada, seguida pela caracterização de suas propriedades físicas e químicas. Em seguida, testes de adsorção, difusão e seletividade serão conduzidos para avaliar a eficiência desses materiais na separação de água e óleo. Além disso, ensaios de captura de CO<sub>2</sub> serão realizados para determinar sua capacidade de adsorção de dióxido de carbono.

Figura 1: Testes de Adsorção, Difusão e Seletividade



Fonte: Autor (2023)

Figura 2: Ensaios de Captura de CO<sub>2</sub>



Fonte: Autor (2023)

## Resultados e Discussão

Os resultados iniciais foram observados a partir de revisões de artigos e revelam que os materiais 2D com efeito Janus, em especial os Mxenes, possuem a capacidade de adsorver seletivamente óleo da água, demonstrando um potencial significativo para a separação eficaz de água e óleo em ambientes industriais e na remediação de derramamentos de petróleo. Além disso, os testes de captura de CO<sub>2</sub> indicam que esses materiais podem contribuir para a redução das emissões de dióxido de carbono em processos industriais, atenuando assim os impactos das mudanças climáticas.

A discussão dos resultados compreenderá uma análise detalhada das propriedades únicas dos materiais 2D com efeito Janus em relação aos requisitos de eficiência, custo e aplicabilidade prática. Será considerado o potencial impacto ambiental e econômico dessas tecnologias, com o objetivo de avaliar sua viabilidade em larga escala.

## Conclusão

Além das implicações práticas, a pesquisa contribui para uma compreensão mais profunda desses materiais. Ao considerar o impacto ambiental e econômico, destaca-se a perspectiva otimista de que essa inovação não só aborda desafios atuais, mas também abre caminhos para descobertas futuras e soluções sustentáveis. Este estudo visa não apenas resolver problemas imediatos, mas também inspirar uma abordagem científica prospectiva em direção a um futuro mais sustentável.

## Referências Bibliográficas

- [1] Lim, K.R.G., Shekhirev, M., Wyatt, B.C. et al. "Fundamentals of MXene synthesis." *Nat. Synth* 1, 601–614 (2022). <https://doi.org/10.1038/s44160-022-00104-6>.
- [2] Luo, Zhi-Yong, Lyu, Shu-Shen, Fu, Yuan-Xiang, Heng, Yi, Mo, Dong-Chuan. "The Janus effect on superhydrophilic Cu mesh decorated with Ni-NiO/Ni(OH)<sub>2</sub> core-shell nanoparticles for oil/water separation." *Applied Surface Science*, Volume 409, 2017, Pages 431-437. ISSN 0169-4332, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.03.078>.
- [3] Liang, Yejin, Kim, Soyoun, Kallem, Parashuram, Choi, Heechul. "Capillary effect in Janus electrospun nanofiber membrane for oil/water emulsion separation." *Chemosphere*, Volume 221, 2019, Pages 479-485. ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.048>.
- [4] Yun, Jongju, Khan, Fakhre Alam, Baik, Seunghyun. "Janus Graphene Oxide Sponges for High-Purity Fast Separation of Both Water-in-Oil and Oil-in-Water Emulsions." *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2017, 9(19), 16694-16703. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b03322>
- [5] Zhang, Jingjing, Wang, Congcong, Xing, Huwei, Fu, Qian, Niu, Chenxi, Lu, Lingbin. "Advances in Asymmetric Wetttable Janus Materials for Oil–Water Separation." *Molecules* 27, no. 21 (2022): 7470. <https://doi.org/10.3390/molecules27217470>.

## *Aplicação do Equilíbrio de Fases nos Processos de Fracionamento de Produtos da Pirólise*

*Layssa Cristine Alves\*; Anderson A. Jesus; Osvaldo Chiavone-Filho*

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

*\*layssa.alves.089@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

A utilização do petróleo nos dias atuais permanece contínua e robusta, especialmente nas economias avançadas. Entretanto, essa grande demanda fornece riscos negativos significativos para o meio ambiente. A biomassa pode servir como fonte de energia e de carbono orgânico e, sendo renovável, é a única fonte sustentável para a nossa sociedade industrial. Ademais, a produção de energia a partir da biomassa tem o potencial de gerar menos emissões de gases de efeito estufa em comparação com a combustão de combustíveis fósseis. Uma alternativa para o aproveitamento da fibra do coco, ou oriundo por exemplo do resíduo da planta eucalipto, é a geração de bio-óleo através do processo de pirólise. Esse processo é um tratamento térmico em que a matéria orgânica é submetida ao aquecimento em meio normalmente inerte, na ausência ou em baixas concentrações de oxigênio. A utilização de compostos celulósicos produz após a pirólise frações líquidas compostas por aldeídos, ácidos, cetonas, álcoois e compostos fenólicos, os quais apresentam amplo valor comercial. A unidade industrial responsável por esse processo é chamada de biorrefinaria [1].

Compreender os dados de equilíbrio de líquido-vapor (ELV) é de suma importância em processos industriais, pois são a base das operações de destilação, onde os componentes de uma mistura são separados de acordo com sua volatilidade. Uma vez determinados, esses parâmetros podem servir de base para futuras aplicações em que apresentem mesmas condições. A utilização de modelos termodinâmicos para modelagem e simulação é imprescindível na previsão de dados de equilíbrio líquido-vapor, o que nos mostra apropriadamente o comportamento do sistema [2].

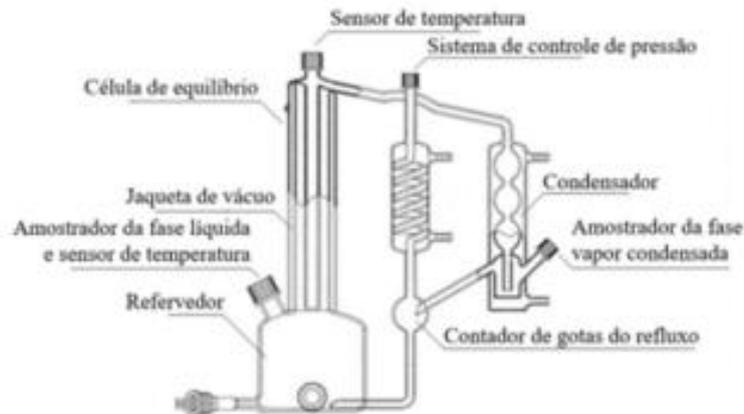
### **Metodologia**

O procedimento de pirólise pode ser realizado em escala de bancada, num forno de modelo tubular. O reator é de leito fixo com alimentação em batelada, o qual é conectado a um condensador para o resfriamento dos produtos formados. O processo que mais favorece a formação do bio-óleo é a pirólise rápida, na qual ocorre a temperaturas mais altas e apresenta menor tempo de reação. Após o processo da pirólise será estudado diversos outros processos de separação dos compostos do bio-óleo até a obtenção do produto final de alto valor agregado industrial analisando seus respectivos parâmetros termodinâmicos.

Para a determinação de dados no equilíbrio dos sistemas em estudo será usado o equipamento ebulliômetro de Othmer modificado (Figura 1), onde a substância será inserida para aquecimento até a temperatura de equilíbrio e a pressão é controlada pela bomba de vácuo e é contabilizada sua taxa de gotejamento. O equilíbrio é atingido quando as temperaturas das fases líquida e vapor são, aproximadamente, as mesmas e a taxa de gotejamento permanecem constantes.

Os dados experimentais serão correlacionados utilizando os modelos termodinâmicos UNIFAC (UNIQUAC *Functional-group Activity Coefficients*) e UNIQUAC (*Universal Quasi-Chemical Activity Coefficients*) a fim de avaliar o modelo de contribuição de grupos para aplicação nos processamentos e fracionamento.

Figura 1. Ebuliômetro modificado de recirculação da fase vapor.



Fonte: Monteiro et al. (2019) [3].

## Resultados e Discussão

É esperado que seja possível determinar os dados de equilíbrio de fases nos processos de fracionamento da pirólise da do resíduo da planta de eucalipto, bem como, esses dados sejam comparados com os da literatura visando procedimento de validação dos resultados. Ainda, é esperada a realização das caracterizações analíticas necessárias do bio-óleo para se ter um conhecimento dos componentes presente.

## Referências Bibliográficas

- [1] Schena, T. Pirólise da fibra da casca de coco: caracterização do bio-óleo antes e após a aplicação de dois processos de melhoria. 2015. 173 f. Programa de Pós-Graduação em Química - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- [2] Freitas, M. M. C.; Nogueira, C. C.; Moura, V. R. C.; Monteiro, M. K. S. Equilíbrio líquido-vapor isotérmico para o sistema binário etano e dióxido de carbono. II Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – CONEPETRO. 2016.
- [3] 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.
- [4] Juben N. Chheda; George W. Huber; James A. Dumesic (2007). Liquid-Phase Catalytic Processing of Biomass-Derived Oxygenated Hydrocarbons to Fuels and Chemicals., 46(38), 7164 –7183. doi:10.1002/anie.200604274
- [5] Melo, A. C. C. de. Equilíbrio líquido-líquido aplicado à separação de produtos da pirólise de biomassa. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2014.

## *Influência do Tamanho das Partículas de MoS<sub>2</sub> Impregnadas em Poliuretano na Eficiência da Remoção de Óleos Derramados em Água do Mar*

*Keslei R. Rocha\*; Osvaldo Chiavone-Filho; Humberto N. M. Oliveira*

*Laboratório Tecnologia Supercrítica Aplicada a Produtos Naturais e Produção de Biodiesel - Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*kesleirosendo@gmail.com*

### **Introdução**

Durante a exploração, perfuração e transporte offshore de petróleo, derramamentos de óleos no mar podem ocorrer. Para evitar o espalhamento e conseqüente agravamento dos danos ambientais, o óleo derramado deve ser contido e removido com a maior agilidade e eficiência possível. São várias as pesquisas<sup>1,2,3</sup> conduzidas propondo diferentes métodos para a remoção de óleo derramado nos oceanos, como o uso de polímeros com elevado volume de poros, por exemplo<sup>3</sup>. Para apresentar resultados satisfatório, um adsorvente deve apresentar alta seletividade para o adsorvato, ou seja, no caso dos derramamentos, o adsorvente deve preferencialmente recuperar o óleo. Espumas de poliuretano flexíveis e semiflexíveis são altamente porosas, mas são pouco seletivas, ou seja, sorvem grandes volumes de óleo e água ao mesmo tempo. Essa pobre seletividade acontece porque o poliuretano conta com ambas polaridades devido às ligações dipolo-induzido (apolar) e ligações de hidrogênio (polar) presentes. No entanto, com modificações químicas adequadas é possível mudar este comportamento aumentando a seletividade das espumas para sorver óleos em detrimento da água do mar.

Após o findar da sua vida útil, espumas de poliuretano proveniente de estofados e colchões são encontradas descartadas em vias públicas assim como em aterros sanitários. Para uma ação concentrada em políticas ESG (*Environmental, Social and Governance*), é necessário que pesquisas sejam desenvolvidas buscando requalificação das espumas pós-comercializadas para redução dos impactos ambientais por elas causados.

Neste estudo, modificações superficiais em espumas de poliuretano pós-comercializadas foram realizadas utilizando um dicalcogeneto de metal de transição para aumentar a seletividade das espumas por óleos em detrimento da água do mar. Testes de sorção em sistemas água do mar:óleo foram realizados utilizando as espumas modificadas para avaliar sua eficiência na remoção de óleos derramados em água do mar.

### **Metodologia**

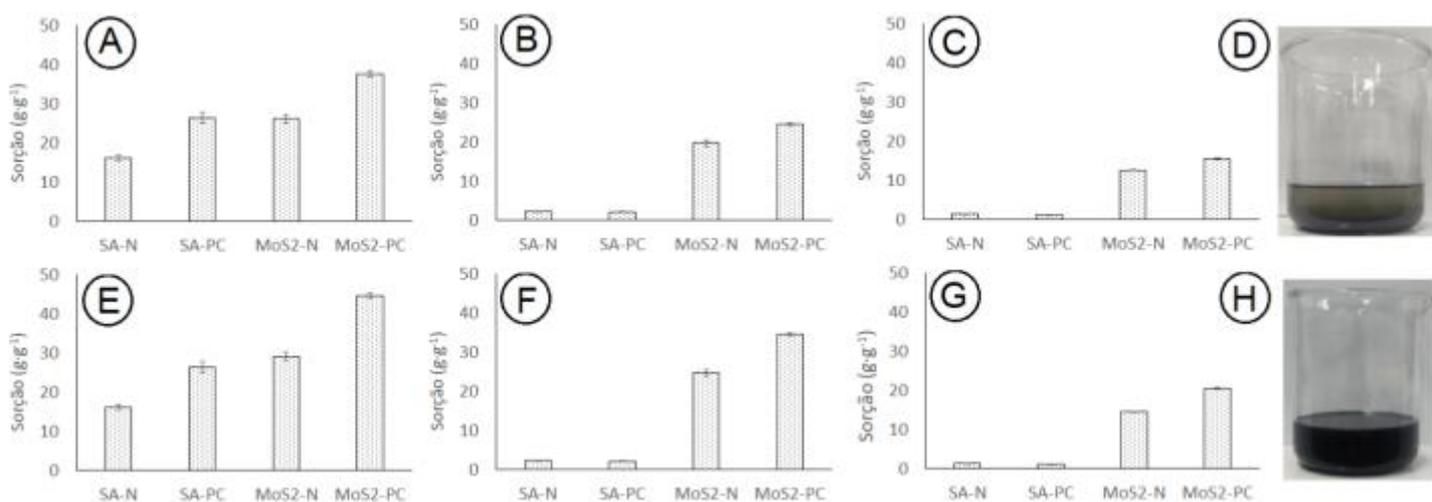
Espumas de poliuretano pós-consumo de densidade 23 kg·m<sup>-3</sup> obtidas a partir de descarte irregular foram lavadas com etanol 70% e cortadas em cubos com aproximadamente 1 cm<sup>3</sup>. A impregnação com um dicalcogeneto de metal de transição, dissulfeto de molibdênio (MoS<sub>2</sub>), foi realizada adaptando-se o trabalho de Gao et al.<sup>4</sup>. Duas formas de redução das partículas do MoS<sub>2</sub> foram utilizadas para avaliar sua influência na modificação da superfície das espumas: agitação mecânica (550 rpm, 90 min) e agitação ultrassônica (20 kHz, 30 min). Os testes de sorção foram realizados seguindo a metodologia ASTM F726 e ASTM D95. Os três sistemas multicomponentes água:óleo avaliados foram água do mar (92%):(8%) óleo (diesel ou lubrificante S46 ou motor 20W40). A água do mar foi obtida direta do oceano antes dos testes e filtrada em papel de filtro faixa azul para remoção de sólidos não solúveis. Os três óleos foram obtidos a partir da Distribuidora BR. MoS<sub>2</sub> micronizado pureza mínima 99% foi adquirido na ER do Brasil. Todos os dados foram obtidos a partir de triplicata a 23 °C.

### **Resultados e Discussão**

A agitação ultrassônica permite transformar a energia mecânica do equipamento em ondas sonoras. O aumento da frequência dessas ondas reduz seu comprimento e aumenta seu efeito na mistura soluto/solvente. Na mistura MoS<sub>2</sub> em etanol, as ondas ultrassônicas produzem regiões de baixa e alta pressão. Quando o etanol se desloca para uma zona onde sua pressão de vapor é maior que a pressão da região, começa a vaporizar formando micro bolhas. Quando se

desloca para regiões onde sua pressão de vapor é menor que a pressão da região onde está, as bolhas implodem e se liquefazem. A energia gasta nesse processo é convertida em aumento da temperatura. Esse processo de vaporização/liquefação do solvente, também conhecido como cavitação, faz com que as partículas de MoS<sub>2</sub> que estão solubilizadas no etanol se quebrem em partículas cada vez menores. Já a agitação mecânica apenas quebra as partículas do soluto por choques contra as pás do agitador. A eficiência do disruptor de células tende a ser muito superior à agitação mecânica. Na Figura 1 estão apresentados os testes de sorção utilizando as espumas pós-comercializadas modificadas com MoS<sub>2</sub> através das partículas oriundas dos dois diferentes métodos de redução de partículas apresentados.

Figura 1. Sorção de óleo (g.g<sup>-1</sup>) diesel, lubrificante S46 e motor 20W40 nos sistemas água do mar:óleo utilizando espumas pós-comercializadas impregnadas com partículas de MoS<sub>2</sub> obtidas a partir de agitação mecânica (A, B e C, respectivamente) e agitação ultrassônica (E, F e G, respectivamente); MoS<sub>2</sub> em etanol após 24 h de repouso pós agitação mecânica (D) e ultrassônica (H); SA = sem alteração; N = nova; PC = pós-comercializada.



Fonte: Autor (2023).

As espumas PC modificadas com as partículas de MoS<sub>2</sub> provenientes do disruptor ultrassônico foram capazes de sorver 18,6%, 28,9% e 32,38% mais diesel, lubrificante S46 e óleo motor 20W40, respectivamente, quando comparado com os resultados para a sorção com as espumas PC impregnadas com as partículas de MoS<sub>2</sub> oriundas da agitação mecânica. A redução das partículas melhorou a estabilidade da mistura (Figura 1, H) e conseqüentemente a eficácia na impregnação das espumas possibilitando o aumento na recuperação dos óleos.

## Conclusão

A eficiência da agitação e redução de partículas causadas pela desruptura ultrassônica de células proporcionou aumentos consideráveis na capacidade de recuperação de óleos derramados em água do mar. Trata-se de uma agitação mais rápida, eficiente e com maior estabilidade pós agitação.

## Referências Bibliográficas

- [1] AN, W., ZHANG, Q., ZHAO, J., QU, L., LIU, S. YANG, M., XU, J. Mechanism Investigation on a Novel Oil Recovery Skimmer Coupling Free Surface Vortex and Cyclone Separation. ACS Omega, v. 6, n. 31, p. 20483-91, 2021.
- [2] MCKINNEY, K., CAPLIS, J., DEVITIS, D., DYKE, K. V. Evaluation of oleophilic skimmer performance in diminishing oil slick thicknesses. International Oil Spill Conference Proceedings. v. 1, n. 1, p. 1366-1381, 2017.
- [3] JOY, J., ABRAHAM, J., SUNNY, J., MATHEW, J., GEORGE, S. C. Hydrophobic, superabsorbing materials from reduced graphene oxide/MoS<sub>2</sub> polyurethane foam as a promising sorbent for oil and organic solvents, Polymer Testing, v. 87, n. 1, e.106429, 2020.
- [4] GAO, X., WANG, X., OUYANG, X., WEN, C. Flexible Superhydrophobic and Superoleophilic MoS<sub>2</sub> Sponge for Highly Efficient Oil-Water Separation. Scientific Reports, v. 6, n. 1, p. 27207, 2 jun. 2016.

## *Modelagem e Simulação Fluidodinâmica de Escoamentos de Emulsões Água-Óleo*

*Thiago Varella de Figueiredo<sup>1\*</sup>; Frédéric Risso<sup>2</sup>; Olivier Masbernat<sup>1</sup>; Roel Belt<sup>3</sup>; Micheline Abbas<sup>1</sup>*

*1 – LGC Laboratoire de Génie Chimique*

*2 – IMFT Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse*

*3 – PCA Physicochemical Analysis - TotalEnergies*

*\*tvarellaf@gmail.com*

A TotalEnergies está interessada em compreender as propriedades dos escoamentos líquido-líquido durante a produção de petróleo para uma ampla gama de frações de volume de água/óleo, em particular para campos de petróleo em fim de vida que produzem muita água. A produção de petróleo depende da queda de pressão nos tubos, que, por sua vez, depende da evolução do regime de escoamento de óleo/água ao longo do tubo. Neste estudo, desenvolvemos uma ferramenta de simulação/modelagem (bidimensional) para compreender os escoamentos de emulsão em oleodutos. O trabalho consistiu principalmente no desenvolvimento de um modelo inspirado no *Suspension Balance Model* no software *OpenFoam* (código aberto), assumindo que as gotas não são deformáveis e negligenciando o fenômeno de coalescência. No primeiro teste, a sedimentação de gotas em um fluido em repouso foi comparada com uma solução analítica. No segundo teste, a migração induzida por cisalhamento de gotas em um fluxo de tubo foi comparada com os resultados da literatura sobre escoamentos de suspensão (gotas isodensas com o fluido de transporte). No terceiro teste, a competição entre sedimentação e migração induzida por cisalhamento em um escoamento de Couette plano foi estudada para diferentes números de Shields (número adimensional que compara o tempo de sedimentação com o tempo de cisalhamento do escoamento). A evolução da concentração de gotículas e dos perfis de velocidade de escoamento em função do número de Shields parece consistente, mas a falta de dados experimentais não permitiu que esse teste fosse validado quantitativamente. Planejamos realizar esses experimentos no futuro.

Palavras-chave: Emulsões, *Suspension Balance Model*, *OpenFOAM*, CFD

## *Simulação Numérica no Estudo do Ruído Aerodinâmico Presente nos Perfis (Pás) de Aerogeradores Eólicos*

*Kécia L. Gabriel\*; Sandi I. S. Souza*

*Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*

*\*e-mail: kecia.lima.095@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

A energia eólica se desenvolve a partir da movimentação das pás do aerogerador impulsionada pelos ventos, iniciando o processo de transformação de energia cinética em elétrica, sendo uma fonte de energia renovável. Em 1888 Charles Brush desenvolveu o primeiro aerogerador que abastecia uma bateria com corrente contínua, gerando 12kW, nos anos seguintes o cientista Poul la Cour desenvolveu um aerogerador a partir do moinho de ventos para eletrificar uma zona rural, e provou que menos pás produzia maior eficiência, e em 1904 fundou a sociedade dos eletricistas eólicos (JOI, 2020). Essas descobertas geraram condições para melhor aproveitamento dos aerogeradores, proporcionando a criação de turbinas com maior potência, com 3 pás e em corrente alternada, que é o modelo utilizado atualmente.

Os aerogeradores possuem grandes dimensões devido à alta potência, e são constituídos dos seguintes componentes: Torre, rotor, pá, nacele, caixa de engrenagem, gerador, freio e unidade de controle. Considerando suas dimensões, e alta incidência de ventos constantes, os parques eólicos são construídos em áreas de grande extensão baseados no *micrositing* e muitas vezes são instalados em áreas urbanas ou próximas a elas, gerando incômodos sonoros à população.

O som é uma perturbação de pressão propagadas em ondas, e para o ser humano há uma faixa de frequência de 20Hz a 20.000Hz que é audível (PIERE, 2017). A mistura de sons de forma perturbadora resulta em ruídos, e em turbinas eólicas esses ruídos podem ser de banda larga (maiores que 100Hz) e de baixa frequência (20 a 100Hz) que são audíveis para o ser humano e ocorre constantemente (LUZ, 2018), ocasionados pelo escoamento do fluido nas pás, o que causa o incômodo sonoro na população que reside próximo a parques eólicos.

Há alguns estudos que mostram a possibilidade de diminuição dos ruídos, como nos trabalhos de Barone (2011) e Avallone, Probsting e Ragni (2016), os quais apontam a necessidade de bordo da fuga serrilhado, e também já há aplicações como no caso da DinoTails da Siemens, que criou uma pá com o serrilhamento inspirado na natureza e no silencioso voo da coruja. Essas inspirações indicam que é possível diminuir o ruído, conseqüentemente o incômodo a população, no entanto é necessário estudos mais detalhados para que haja aplicações tecnológicas e que em um futuro breve sejam inseridos nas melhorias da matriz energética, desenvolvendo melhorias para o mundo. Neste sentido, este projeto de pesquisa tem como objetivo realizar simulações computacionais para compreender como pode ser reduzido o ruído de um aerogerador a partir da adição do serrilhamento do bordo de fuga do perfil da pá.

### **Metodologia**

O referido conceito será aplicado a um perfil de pá de um aerogerador de baixa escala projetado pela metodologia BEM. Será desenvolvido um estudo comparativo entre o perfil sem e com a aplicação do serrilhamento no bordo de fuga, visando entender o comportamento acústico da pá do aerogerador.

Serão desenvolvidos os modelos em escala reduzida, do aerogerador, e da pá, empregando os conceitos de análise dimensional e semelhança, com o empregado dos softwares de CAD para o desenvolvimento do modelo em 3D, e o software ANSYS-FLUENT/CFX versão 2023 para a simulação e obtenção dos dados referentes ao ruído gerado pelo escoamento sobre o aerogerador.

Inicialmente será realizada uma revisão de literatura para com o objetivo de suportar uma fundamentação teórica sobre o que tem sido desenvolvido na área dos aerogeradores aplicados a ruídos, além de entender e conhecer as tecnologias utilizadas na modelagem de pás e do sistema de serrilhamento. Em seguida, ocorrerá um estudo sobre a simulação no software ANSYS-FLUENT/CFX e em paralelo a escolha da pá e a modelagem dela no CAD.

Após a escolha, e com a aplicação das equações governantes, será realizada a simulação com a pá do aerogerador sem serrilhamento e logo após com o serrilhamento, o que irá permitir uma análise comparativa do comportamento do ruído.

## Resultados e Discussão

Dá-se a necessidade de conclusão do período projetado para a revisão bibliográfica para só depois iniciar as simulações e obter resultado conclusivo neste trabalho. No entanto, é possível projetar prováveis resultados a partir de trabalhos concluídos como o de Piere (2017), que realizou simulações sobre o bordo de fuga e definiu que o tempo, a malha aplicada e a posição do captador do som nas simulações influenciam diretamente nos resultados obtidos, e dessa forma há uma redução de ruído.

No trabalho do Magalhães, Oliveira, Santos e Tofaneli (2017), foi caracterizado que as amplitudes de pressão (som) são menores com regiões mais afastadas do aerofólio, pois funciona como uma interferência no escoamento, e desse modo ao aplicar o serrilhamento é possível reduzir os ruídos sonoros. Desse modo, a perspectiva do presente trabalho é realizar as simulações e a comparação entre os modelos com e sem serrilhamento, tomando como base os trabalhos já concluídos.

## Conclusão

A matriz energética mundial atual tende a ser modificada para uma matriz predominantemente renovável, visto que o IRENA (*International Renewable Energy Agency*) possui uma projeção para essa mudança até 2050. Com esse crescimento é necessário desenvolver melhorias para os parques eólicos de forma que não prejudique o meio ambiente e/ou a população, então o estudo do emprego da simulação numérica no ruído aerodinâmico presente nos perfis (pás) de aerogeradores eólicos pode auxiliar nessas melhorias

## Referências Bibliográficas

- AVALLONE, F.; PROBSTING, S.; RAGNI, D. Three-dimensional flow field over a trailing-edge serration and implications on broadband noise. *Physics of Fluids*, v. 28, n. 11, 2016. ISSN 10897666.
- BARONE, M. F. Survey of techniques for reduction of wind turbine blade trailing edge noise. 2011.
- IRENA (International Renewable Energy Agency). Disponível em: < [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA\\_WETO\\_Summary\\_2022\\_PT.pdf?rev=b1952b7278034d0384e3f543e31f75bb&hash=2496326B281F4CD3E0BAC357C8FA49AF](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_WETO_Summary_2022_PT.pdf?rev=b1952b7278034d0384e3f543e31f75bb&hash=2496326B281F4CD3E0BAC357C8FA49AF) >
- JOI. História da Energia Eólica. Energia. 2020. Disponível em: < [Conheça a História da Energia Eólica - ENERGES](https://www.energes.com.br/conheca-a-historia-da-energia-eolica) > ([energes.com.br](https://www.energes.com.br)). Acesso em: 19 de outubro de 2023.
- LUZ, E.P; Simulação do ruído de aerogeradores em parques eólicos. Florianópolis, 2018.
- PIERE, J. S. Simulação aeroacústica de pás de turbina eólicas de eixo horizontal com bordo de fuga modificado para redução de ruído. São Paulo. 2017.
- MAGALHÃES, T.F., OLIVEIRA, T.D., SANTOS, A.A.B., TOFANELI, L.A. Estudo numérico de geração de ruído em perfil aerodinâmico. Lisboa, Portugal. 2017.

## ***Automatização Utilizando o Conceito IoT em um Tribômetro FGZ Modificado para Simular Atrito e Desgaste em Sistemas Mecânicos do Setor de Energia Eólica***

***Maycon G. A Lima\*; Salete M. Alves***

***Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)***

***\*maycon.lima.118@ufrn.edu.br***

### **Introdução**

A Indústria 4.0 é caracterizada pela incorporação de tecnologias avançadas, entre elas podemos destacar a Internet of Things (IoT) que visa interconectar vários dispositivos, pessoas, dados e processos, permitindo que eles se comuniquem entre si de maneira integrada. Conseqüentemente, pode ajudar a melhorar diferentes processos para serem mais quantificáveis e mensuráveis, coletando e processando uma grande quantidade de dados (SHOUF et al, 2014). Esta inovação pode potencialmente melhorar a qualidade de vida em diferentes áreas, incluindo o setor de energia (BANDYOPADHVAY et al, 2011).

A aplicação da IoT é valiosa para a pesquisa e desenvolvimento, controle de qualidade e testes de materiais em indústrias que dependem da medição precisa do atrito e do desgaste. Esta tecnologia empregada em equipamentos do tipo tribômetro possibilita a obtenção de mais dados em tempo real, gerando assim maior confiabilidade e eficiência do processo em análise.

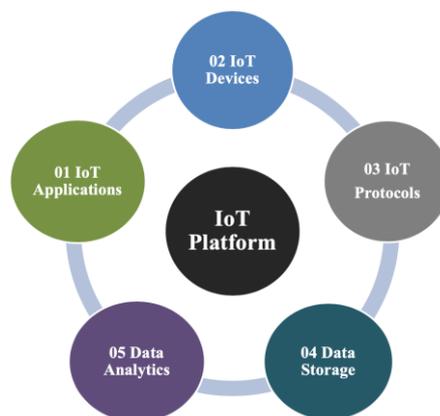
Neste sentido, este projeto de pesquisa tem como objetivo instrumentar um protótipo de tribômetro FGZ incorporando sensores e conectividade à internet para a aplicação do conceito de IoT. O referido conceito será aplicado com o intuito de monitorar e fazer a gestão do processo de medição de atrito e desgaste em sistemas mecânicos. O sistema será capaz de coletar dados em tempo real sobre o comportamento do atrito e o desgaste de materiais, os dados são então transmitidos pela internet para um sistema central, que serão processados e analisados.

### **Metodologia**

A utilização de fontes de energia renováveis e a otimização dos processos são cruciais para transições energéticas sustentáveis. Tecnologias modernas como a Internet of Things (IoT) oferecem muitas aplicações no setor energético.

Ao planejar uma aplicação em IoT, o primeiro passo no projeto do sistema e a seleção de componentes da IoT, como dispositivos, protocolo de comunicação, armazenamento de dados e computação, precisa ser apropriada para a aplicação pretendida. A Figura 1 mostra os diferentes componentes de uma plataforma IoT (HANSSEIN MOTLAGHET et al, 2020). Os dispositivos IoT, que são os segundos componentes das plataformas IoT, podem ser na forma de sensores, atuadores, gateways IoT ou qualquer dispositivo que se junte ao ciclo de coleta, transmissão e processamento de dados.

Figura 1. Diagrama que descreve os componentes de uma plataforma IoT



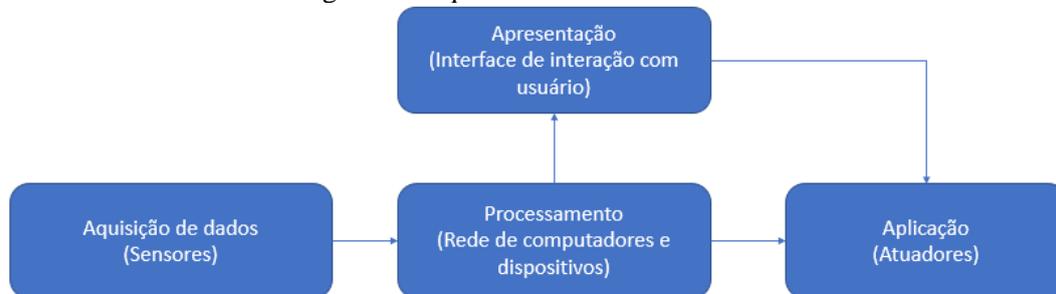
Fonte: HOSSEIN MOTLAGH *et al.* (2020)

Fontes de energia renovável (FER) dependentes do clima e outras variáveis, como a energia eólica e solar, colocam novos desafios ao sistema energético, conhecidos como “o desafio da intermitência”. Num sistema energético com uma elevada porcentagem de FER, combinar a produção de energia com a procura é um grande desafio devido à variabilidade da oferta e da procura, resultando em incompatibilidade em diferentes escalas de tempo. Os sistemas IoT oferecem flexibilidade para equilibrar a geração com a demanda, o que, por sua vez, pode reduzir os desafios da implantação de FER, resultando em maiores participações de integração de energia limpa e menos emissões de Gases do Efeito Estufa (AL-ALI et al, 2016).

## Resultados e Discussão

Para melhorar a utilização da IoT no setor energético, este plano de trabalho está focado no desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle capaz de coletar, armazenar e apresentar dados em tempo real simultaneamente, e tomar decisões com base em algoritmos desenvolvidos com base em situações previsíveis em um protótipo de tribômetro FGZ. Com o acesso e controle remoto será possível realizar ensaios de longas duração com segurança e eficiência, podendo reproduzir situações reais de uso.

Figura 2. Arquitetura do sistema em IoT



Fonte: Autor (2023).

A Figura 2 ilustra de forma concisa o funcionamento proposto do sistema do plano de trabalho no tribômetro FGZ. Na primeira etapa, ocorre a aquisição de dados, na qual os sensores detectam e coletam informações pertinentes ao ambiente em que estão inseridos. A etapa subsequente, de processamento, é o ponto em que o sistema analisa as informações adquiridas e toma decisões com base nos resultados obtidos. A terceira etapa envolve a apresentação das informações previamente processadas ao usuário, possibilitando interação com o sistema. Por fim, na etapa de aplicação, os atuadores executam tarefas conforme os comandos enviados pelo usuário ou com base nas informações recebidas na fase de processamento.

## Conclusão

Conclui-se que a aplicação da IoT no equipamento tribômetro proporcionará obtenção de dados mais precisa e em tempo real resultando em maior confiabilidade e eficiência no processo de análise. Isso permite a detecção precoce de problemas, a previsão do desgaste de materiais e a otimização dos parâmetros de teste. Além disso, os operadores podem tomar decisões com base nas informadas recebidas sobre o desgaste do material e a manutenção preventiva, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a produtividade da máquina. Com o acesso e controle remoto, é possível realizar ensaios de longa duração com segurança e eficiência, reproduzindo situações reais de uso. A IoT impulsiona a eficiência do tribômetro e traz benefícios significativos para a indústria.

## Referências Bibliográficas

- [1] C. Garrido-Hidalgo, T. Olivares, F.J. Ramirez, L. Roda-Sanchez An end-to-end internet of things solution for reverse supply chain management in industry 4.0 *Comput. Ind.*, 112 (2019), Article 103127
- [2] Shrouf, F.; Ordieres, J.; Miragliotta, G. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. In *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Selangor Darul Ehsan, Malaysia, 9–12 Dec. 2014, 697–701.
- [3] Bandyopadhyay, D.; Sen, J. Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization. *Wirel. Pers. Commun.* 2011, 58, 49–69.
- [4] Haseeb, K.; Almogren, A.; Islam, N.; Ud Din, I.; Jan, Z. An Energy-Efficient and Secure Routing Protocol for Intrusion Avoidance in IoT-Based WSN. *Energies* 2019, 12, 4174.
- [5] Zouinkhi, A.; Ayadi, H.; Val, T.; Boussaid, B.; Abdelkrim, M.N. Auto-management of energy in IoT networks. *Int. J. Commun. Syst.* 2019, 33, e4168.
- [6] Motlagh, N.H.; Bagaa, M.; Taleb, T. Energy and Delay Aware Task Assignment Mechanism for UAV-Based IoT Platform. *IEEE Internet Things J.* 2019, 6, 6523–6536.
- [7] Ramamurthy, A.; Jain, P. *The Internet of Things in the Power Sector: Opportunities in Asia and the Pacific*; Asian Development Bank: Mandaluyong, Philippines, 2017.
- [8] HOSSEIN MOTLAGH, Naser et al. Internet of Things (IoT) and the energy sector. *Energies*, v. 13, n. 2, p. 494, 2020.
- [9] Sigfox, Inc. *Utilities & Energy*. 2023. Available online: <https://www.sigfox.com/en/utilities-energy/>.
- [10] Immelt, J.R. *The Future of Electricity Is Digital*; Technical Report; General Electric: Boston, MA, USA, 2015
- [11] Al-Ali, A. Internet of things role in the renewable energy resources. *Energy Procedia* 2016, 100, 34–38.
- [12] SILVA, Lenine Marques de Castro. Projeto, fabricação, construção e testes de um tribômetro FZG reduzido com carregamento variável. 2021. Dissertação de Mestrado, PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

## *Desenvolvimento de Tratamentos Superficiais para Diminuir o Desgaste em Rolamentos de Aerogeradores em Turbinas Eólicas*

*Arthur Cid de Abreu\*; Salete M. Alves*

*Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*

*\* arthur.abreu.704@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

Muitos dos geradores usados nas usinas eólicas têm sofrido com falhas prematuras de rolamentos. Os eixos principais são suportados por rolamentos autocompensadores de rolos e rolamentos de rolos cônicos que sofreram falhas prematuras associadas a *microcutting* e fadiga iniciada na superfície. As caixas de engrenagem também usam, principalmente, rolamentos de rolos cilíndricos e de rolos cônicos que apresentam falhas infantis associadas à fadiga, microcorrosão e manchas (Tecnologia de Superfícies de Revestimento) [1]. A partir disso, a proposta desse projeto é desenvolver soluções para reduzir os danos que ocorrem nesses rolamentos, e em outros componentes mecânicos, desses geradores de turbinas eólicas como métodos de tratamento superficial ou por meio de lubrificantes mais eficientes.

### **Metodologia**

Foram utilizadas duas esferas de aço SAE 52100 e foram colocadas sobre uma superfície de alumínio para evitar a penetração para fora da plataforma de tratamento de equipamento. Em seguida, foi feita uma ambientação com os gases amônia e nitrogênio, na proporção 80x20, respectivamente, por 1 hora, em temperatura ambiente. Completado o tempo, acrescentou-se calor por resistência elétrica ao tambor onde localizadas as esferas, até atingir uma temperatura constante de 500 °C, fazendo com que realizasse a difusão da amônia e do nitrogênio nas superfícies das esferas, para obter um aumento nas duas propriedades mecânicas.

Para os ensaios de desgastes, as esferas foram inseridas em um furo não passante, de área transversal losangular, que existe quando a reserva de duas pequenas paredes de aço, tendo esse conjunto fixado em um equipamento usado para fixar todo o conjunto no equipamento. Com o disco já fixado na plataforma de movimento circular constante, todo o conjunto foi estabelecido no equipamento, de tal forma que a esfera fica em contato com a superfície do disco, para que ao ser rotacionada, a esfera possa ir desgastando o disco rodante.

### **Resultados e Discussão**

O comportamento dos coeficientes de atrito no ensaio de desgaste, tiveram um comportamento desigual, de forma que o ensaio com a esfera nitretada teve um coeficiente de atrito menor, quando comparado ao desgaste feito pela esfera não tratada, tendo uma redução de 50% no desgaste. Estes resultados obtidos são preliminares, e foi notado que a maior parte dos parâmetros comparados dos ensaios envolvendo as esferas nitretada, obtiveram desgastes menores, demonstrando que a nitretação a plasma realizado para tratar as esferas, produziu o efeito que se esperava, o aumento da resistência ao desgaste e diminuição do atrito.

### **Referências Bibliográficas**

[1] McKenna R, vd Leye PO, Fichtner W. Key challenges and prospects for large wind turbines. *Renew Sustain Energy Rev.* 2016; 53: 1212–21.

**Aplicação do Conceito de Gêmeo Digital para a Manipulação de Objetos na Indústria do Petróleo**

**Jállyson Levy de Queiroz Araújo\***; **José Adilson de Oliveira**

**Laboratório de Manufatura – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)**

**\*jallyson.queiroz@gmail.com**

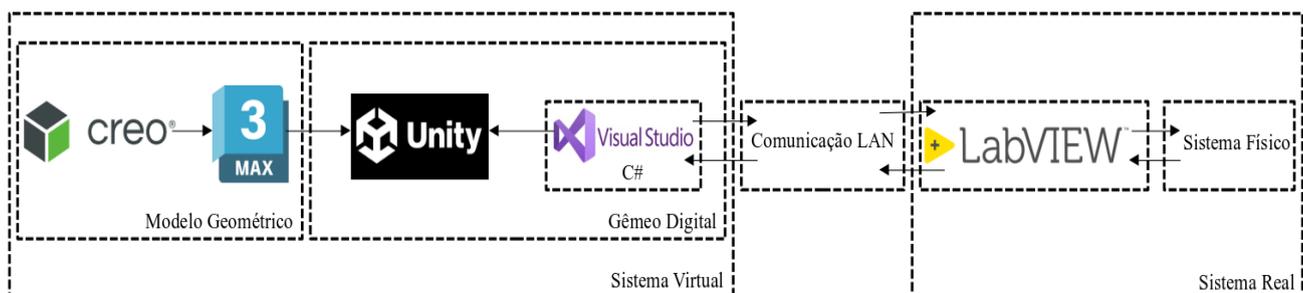
**Introdução**

O Gêmeo Digital (GD) é uma tecnologia recentemente desenvolvida e com forte potencial para ser utilizada pela Indústria 4.0 devido à possibilidade de acompanhar em tempo real os processos e promover uma melhor eficiência e redução nos custos. Na indústria do petróleo, esse tipo de tecnologia é utilizado principalmente para a detecção de falhas, acompanhamento do processo de perfuração, etc. Entretanto, também é possível utilizá-la na manipulação de objetos, como a movimentação de tubos de revestimentos ou de componentes produzidos em série. Whanasingue *et al.* (2020) relataram que as definições a respeito do GD remetem a um ativo físico, ativo virtual e a comunicação entre os ativos. O GD não é apenas uma representação virtual de um ativo físico, ele pode simular em tempo real o ativo físico com base nos dados enviados por transdutores (Knebel *et al.*, 2023). Na manufatura, os Sistemas de Manufatura Flexíveis (FMS) são grupos de equipamentos automatizados amplamente empregados na Indústria 4.0 e usam tecnologias facilitadoras como big data, internet das coisas, inteligência artificial, GD, etc., assim como o GD também usa. Dessa forma, Liang *et al.* (2023) propuseram um GD para detectar vazamentos em gasodutos e conseguiram uma precisão de 99,45% para vazamentos de grande porte. Fan *et al.* (2021) desenvolveram um protótipo de GD para um FMS e o aplicaram em um sistema de produção em série que produz eixo de comando automotivo. E como resultado, eles simularam a produção de 1000 peças e avaliaram o tempo necessário para produzir a totalidade das peças e a porcentagem de tempo que cada maquinário ficou operando. Portanto o objetivo geral desse projeto é aplicar o conceito de GD a um FMS composto por um manipulador robótico e uma esteira para a manipulação de objetos na indústria do petróleo. As principais atividades envolvidas são a virtualização do sistema físico e a criação de algoritmos para a manipulação de objetos e a integração entre os ambientes real e virtual.

**Metodologia**

De modo a realizar esse trabalho, primeiramente, é necessário realizar a virtualização do sistema físico. Em seguida, é preciso importar o modelo virtualizado em um software de modelagem e animação 3D para definir os graus de liberdade e, então, exportá-lo para o software que irá operar o GD e incorporar os algoritmos desenvolvidos de forma a executar a comunicação em tempo real e realizar as simulações necessárias. A Figura 1 apresenta os softwares utilizados no desenvolvimento do GD.

*Figura 1. Metodologia utilizada.*



Fonte: Autor (2023).

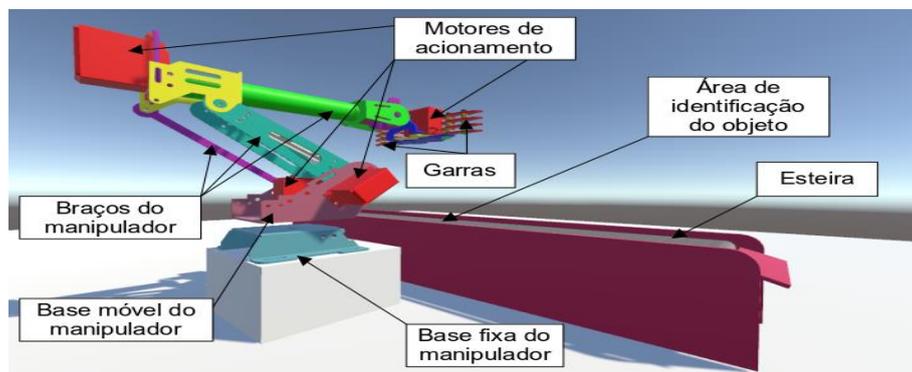
De acordo com a Figura 1, no modelo geométrico, é modelado o sistema físico no Cax Creo Parametric®. Em seguida, o arquivo gerado é exportado ao 3DS MAX® para a aplicação dos graus de liberdade no sistema. Após essa etapa, o

arquivo é exportado para Unity 3D® no formato Filmbox (.fbx). Só então os algoritmos criados Visual Studio® na linguagem de programação C# e são incorporados ao Unity 3D® de modo que haja a simulação do sistema virtual e a comunicação com o LABView®. Para a comunicação entre os ambientes é utilizado a Rede de Área Local (LAN).

## Resultados e Discussão

Após aplicar a metodologia proposta foi possível realizar a virtualização do sistema, e com o auxílio dos algoritmos desenvolvidos na linguagem de programação C#, simulações foram realizadas com os dados que foram coletados e armazenados em um arquivo “.txt”. O link “Simulação de Movimentação de um FMS” (JALLYSON LEVY, 2023) demonstra o sistema em funcionamento. E, a Figura 2 apresenta os modelos virtuais da esteira e do manipulador robótico.

Figura 2. Sistema virtualizado.



Fonte: Autor (2023).

## Conclusão

De acordo com os resultados obtidos e com a revisão bibliográfica realizada, pôde-se concluir que o GD é uma tecnologia extremamente útil para, dentre outros, realizar monitoramento em tempo real dos sistemas no qual seu conceito é aplicado e simular operações para averiguar as capacidades de operações dos FMS e de qualquer outro sistema, seja em tempo real ou não. As próximas etapas consistem: realizar simulações do sistema em tempo real.

## Referências Bibliográficas

- [1] WANASINGHE, T. R. et al. Digital Twin for the Oil and Gas Industry: Overview, Research Trends, Opportunities, and Challenges. IEEE Access, v. 8, p. 104175–104197, 2020.
  - [2] KNEBEL, F. P. et al. A study on cloud and edge computing for the implementation of digital twins in the Oil & Gas industries. Computers & Industrial Engineering, v. 182, p. 109363–109363, 1 ago. 2023.
  - [3] LIANG, J. et al. Data-driven digital twin method for leak detection in natural gas pipelines. Computers & Electrical Engineering, v. 110, p. 108833–108833, 1 set. 2023.
  - [4] FAN, Y. et al. A digital-twin visualized architecture for Flexible Manufacturing System. Journal of Manufacturing Systems, v. 60, p. 176–201, 1 jul. 2021.
  - [5] JALLYSON LEVY. Simulação de Movimentação de um FMS. YouTube, 27 de outubro de 2023. 1 vídeo (1:16 min). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_1spQHOMw\\_U&list=PLWHcyFhINhDXLGY2IFnvSuPRRYUD\\_4FjS](https://www.youtube.com/watch?v=_1spQHOMw_U&list=PLWHcyFhINhDXLGY2IFnvSuPRRYUD_4FjS).
- Acesso em: 27 de outubro de 2023.

*Contribuição para o Desenvolvimento de um Veículo Leve Híbrido*  
*Janderson Guedes da Silva\**; *Anderson Clayton Alves de Melo*  
*Laboratório de Manufatura, Departamento de Engenharia Mecânica*  
*\*janderson.guedes.122@ufrn.edu.br*

## **Introdução**

A maioria dos meios de transporte atuais usam combustíveis fósseis como fonte de energia. A queima da gasolina, diesel ou querosene, geram subprodutos que são prejudiciais à nossa atmosfera, como é o caso do CO<sub>2</sub>. A emissão desses subprodutos influencia muito a sustentabilidade e a qualidade de vida nas cidades, principalmente em áreas urbanas [1]. Mais de 80% da população europeia, por exemplo, está exposta a concentrações de PM<sub>2,5</sub> (material particulado que tem 2,5 microns ou menos de diâmetro) acima das diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) [2]. Além disso, esses subprodutos, geralmente Gases do Efeito Estufa (GEE), têm levantado a discussão sobre o aquecimento do planeta. Isso acendeu um alerta em diversos países do mundo, o que fez com que boa parte deles se reunisse e assinasse o Acordo de Paris, que estabelece metas para a diminuição das emissões dos GEE, promovendo um esforço para o controle do aumento da temperatura do planeta. Nesse contexto, um setor que pode ajudar na redução das emissões de GEE é o da micromobilidade urbana, pois, segundo Mataix González [3], 40% das emissões de CO<sub>2</sub> provêm do tráfego urbano, e boa parte dos deslocamentos diários de pessoas são curtos. Nesse caso, se boa parte dos veículos movidos a motores de combustão interna forem substituídos por veículos leves, com emissão zero, como o Veemo [2], Pedillio [4] e ELF [5], pode-se promover um impacto positivo na sociedade. Embora esses veículos ainda não sejam usados com frequência no cenário atual, a tendência, com a crescente mobilização da sociedade na direção da descarbonização do transporte individual, é que brevemente esses tipos de veículos estejam presentes nas cidades [6]. Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo contribuir no projeto e construção de um Veículo Leve e Híbrido (VLH), ativo e auxiliado por um kit elétrico (motor de 350 W) energizado por bateria de íons de lítio, carregada por um painel solar fotovoltaico.

## **Metodologia**

A organização desse projeto se deu em 4 etapas: (i) Definição do projeto conceitual, (ii) Modelagem 3D do veículo, (iii) construção e (iv) testes de desempenho. Para a definição do projeto conceitual foram considerados alguns modelos já existentes no mercado internacional, como o Veemo [2], Pedillio [3], ELF [5] e Begorett [7], além de normas específicas do Conselho Nacional de Trânsito (Contran) para esse tipo de veículo. A partir disso, foram feitos alguns esboços e, no fim, definiu-se que o veículo teria um chassi com tubo central, três rodas, sendo duas dianteiras e uma traseira, *full suspension*, e uma gaiola que será coberta para que o condutor consiga trafegar com o veículo em dias de chuva, além de servir de apoio para o painel solar fotovoltaico que alimentará a bateria do motor elétrico. A segunda etapa foi dividida da seguinte forma: primeiramente foi modelado o chassi; a partir daí foram modelados e integrados ao projeto as demais peças, como rodas, suspensões e a gaiola. Como a carga referente ao peso do condutor e bagagens é mais incidente nesta região do chassi, foram usados tubos retangulares de alumínio 6061-T6 com as medidas 76,2 x 38,1 x 1,4 mm. Já para a gaiola foram usados tubos redondos de alumínio 6061-T6 com diâmetro de 19,3 mm e espessura de 1,25 mm.

A terceira etapa já foi iniciada, com a usinagem do chassi do veículo. Na sequência, os tubos serão soldados pelo método TIG.

## **Resultados e Discussão**

O desenho do chassi e da gaiola já está praticamente pronta, estando também já modelados outros componentes, tais

como motor, suporte da bateria e suspensões. A figura 1 mostra o desenho do veículo e algumas de suas partes que já foram cortadas e usinadas para soldagem. Ainda é possível que estas partes sofram alterações no decorrer do projeto para adequação. Também foi selecionado o local onde será instalado o painel solar que alimentará a bateria do veículo.

Figura 1: modelo 3D do VLH e algumas partes cortadas e usinadas.



Fonte: Autor (2023).

## Conclusões

O projeto em CAD está praticamente finalizado e a etapa de construção do veículo já está em andamento. A etapa de soldagem do chassi e da gaiola não se iniciou porque ainda não chegaram todos os insumos necessários. Espera-se estar com as principais partes do chassi e da gaiola soldadas até o início de 2024. Após a conclusão dessa etapa de soldagem, serão adicionados os demais componentes, muitos dos quais foram adquiridos prontos.

## Referências Bibliográficas

- [1] BRŮHOVÁ FOLTÝNOVÁ, H. et al. Sustainable urban mobility: One definition, different stakeholders' opinions. Transportation Research Part D. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102465>. 2020, v. 87, p. 102465
- [2] PISONI, E. et al. Evaluating the impact of "Sustainable Urban Mobility Plans" on urban background air quality. Journal of Environmental Management. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.039>. 2019, v. 231, p. 249-255.
- [3] GONZÁLEZ, Mataix. Movilidad Urbana Sostenible: un reto energético y ambiental. Madri, 2010. Disponível: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2010/05/movilidad-urbana-sostenible-un-reto-energetico-y-ambiental-2010.pdf>.
- [4] Veemo. Veemo. Disponível em: <https://veemo.ca/>. Acesso: 20 de jun. de 2023.
- [5] Pedilio. Pedilio. Disponível em: <https://www.pedilio.de/>. Acesso: 20 de jun. de 2023.
- [6] Organic Transit. ELF. Disponível em: <https://organictransit.com/>. Acesso: 20 de jun. de 2023.
- [7] WILHELM, Toni; DORSCH, Volker; GAUTERIN, Frank. Mass Data Measurement, Approximation and Influence on Vehicle Stability for Ultra-Light Human-Powered Vehicles. Applied Sciences. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app11125485>. 2021, v. 11, p. 5485.
- [8] Begorett supercomposites engineering. Begorett. Disponível em: <https://begorett.com/>. Acesso: 20 de jun. de 2023.

## *Desenvolvimento de um Sistema Digital para a Medição da Energia Específica de Riscamento em um Esclerômetro Pendular de Passe Único*

*Natally da S. Batista\*; Anderson C. A. de Melo*

*Laboratório de Manufatura, Departamento de Engenharia Mecânica*

*\*natallybatista5@gmail.com*

### **Introdução**

A esclerometria pendular de passe único é uma técnica utilizada em testes tribológicos em diversos materiais, sob diferentes condições. A técnica consiste no riscamento de uma amostra do material por um riscador, geralmente um penetrador usado em testes de dureza, que é fixado na extremidade de um pêndulo [1]. O método tem ampla aplicação na área de Petróleo, Gás e Energias Renováveis, pois permite simular, de forma controlada, a resistência à abrasão de diferentes materiais, a capacidade de lubrificação de fluidos, entre outros. Este trabalho tem como principal objetivo, o desenvolvimento de um sistema digital capaz de fornecer a energia consumida no riscamento a partir de sinais digitais provenientes de um *encoder* incremental posicionado no eixo de rotação do pêndulo do esclerômetro. Os sinais serão capturados por um circuito eletrônico baseado na plataforma Arduino e todo o sistema será calibrado para apresentar o valor da energia consumida em um display digital. Trata-se da continuação dos trabalhos de Silva (2022) e Nascimento (2022), que desenvolveram e construíram parte do sistema mecânico do esclerômetro.

### **Metodologia**

O desenvolvimento desse projeto foi dividido nas seguintes etapas: Etapa 1 - Análise física do sistema mecânico para conversão do sinal digital do *encoder* em energia, Etapa II - Estudo do princípio de funcionamento do *encoder*, Etapa III - Desenvolvimento do sistema de aquisição do sinal (em Arduino), Etapa IV - Calibração do sistema de medição da energia de riscamento, Etapa V - Pré-testes de riscamento, Etapa VI - Ajustes e testes em amostras diversas. A análise física do sistema mecânico para conversão do sinal digital do *encoder* em energia foi feita com base na variação da energia em um pêndulo simples, de acordo com os estudos de [2] e [3]. O *encoder* utilizado é o E40S6-2000-3-T-24, da Autonics, que possui as seguintes características: diâmetro externo do eixo de 6 mm, resolução de 2000 pulsos por revolução, alimentação de 12 - 24 VDC  $\pm$  5% e torque de partida máx. 40 gf.cm (ou 0,00392 Nm). Para análise da operação do *encoder* e do circuito eletrônico, estão sendo utilizados os seguintes instrumentos: osciloscópio Minipa, modelo MVBDSO, multímetro Hikari, modelo HM-1100 e fonte Wanptek, modelo DPS605U. Para a aquisição dos sinais do *encoder*, está sendo utilizada a plataforma Arduino Uno. Ademais, está-se utilizando uma protoboard de 830 furos, alguns componentes eletrônicos e *jumpers* para auxiliar na montagem do circuito de aquisição provisório que, posteriormente, será montado em uma placa de CI. O código de captura e tratamento dos sinais está sendo feito na IDE do Arduino.

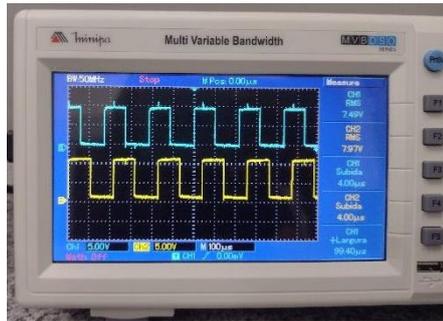
### **Resultados e Discussão**

Da análise física do sistema mecânico para conversão do sinal digital do *encoder* em energia, obteve-se a Eq. 1 para calcular a energia absorvida no riscamento, conforme a Fig. 2.

$$W_{absorvida} = M g \Delta l (\cos\varphi - \cos\varphi_0) \quad (1)$$

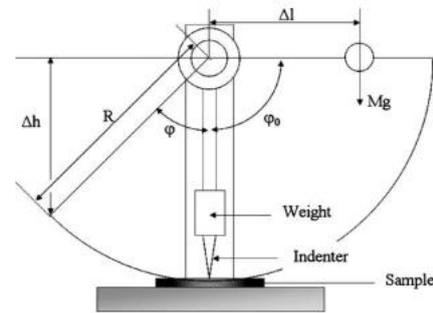
Dos testes iniciais do *encoder*, pode-se notar que ele apresentou bom funcionamento, como pode-se ver na Fig. 1, que mostra as ondas quadradas geradas pelo *encoder* quando seu eixo foi rotacionado.

Figura 1: Sinais gerados pelo encoder.



Fonte: Autor (2023)

Figura. 2: Esquema de um esclerômetro pendular.



Fonte: Maeda et al. [3]

Além disso, foi montado um circuito divisor de tensão para baixar o sinal proveniente do encoder de  $\sim 12$  V para 5 V, valor máximo admitido pelas portas do Arduino Uno.

### Conclusões

Com base no que foi realizado até o momento, pode-se concluir que a equação de transformação dos ângulos medidos através do circuito eletrônico em energia consumida, será capaz de fornecer valores confiáveis. Além disso, o circuito divisor de tensão montado foi capaz de reduzir a tensão de saída do encoder, de 12 V, para o valor de 5 V, permitido pelas portas digitais do Arduino.

### Referências Bibliográficas

- [1] FRANCO, S. D. Contribuição ao Estudo do Desgaste Abrasivo de Materiais Polifásicos. 1989. 115 p. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil, 1989.
- [2] IQBAL, T.; YASIN, S.; LUCKHAM, P. F.; RAMZAN, N.; MOHSIN, M. Scratch Deformations of poly (ether ether ketone) composites. *Fibers and polymers*, v. 15, n. 5, p. 1042–1050, mai. 2014.
- [3] MAEDA, K.; BISMARCK, A.; BRISCOE, B. J. Mechanisms of scratching frictions and damage maps for rubber compounds. *Wear*, v. 259, n. 1–6, p. 651–660, jul./ago. 2005.
- [4] NASCIMENTO, Gabriel Cirilo do. Uma contribuição para o desenvolvimento de um esclerômetro pendular instrumentado. 2022. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.
- [5] SILVA, Uellen Nicolete. Contribuição para o desenvolvimento de um esclerômetro pendular instrumentado para avaliação de lubrificadorrefrigerantes. 2022. 73 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

*Um Sistema de Visão Computacional Baseado em Redes Neurais Convolucionais Artificiais para o Reconhecimento de Objetos em um Protótipo de um Sistema Flexível de Manufatura*

*Rafael Serafim Nunes Freire\*; Adilson José de Oliveira*

*Laboratório de Manufatura – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*

*\*rafael.serafim.706@ufrn.edu.br*

## **Introdução**

A Visão Computacional (Computer Vision - CV) é uma tecnologia desenvolvida nos anos 1960, mas nos últimos 10 anos recebeu muita atenção devido à aplicabilidade em diversas áreas e potencial para modernizar e incrementar funções que dependem de operadores humanos (Davies e Turk, 2022). A partir de um algoritmo de processamento de imagens, obtidas por câmeras, é possível extrair informações para tomadas de decisões, automatizando processos e reduzindo equívocos de interpretação. Para extrair os dados desejados, é necessário um método de busca que reconheça características na imagem. Esta é uma área com demandas para as Redes Neurais Convolucionais Artificiais (CNN). A principal característica das CNN's é uma arquitetura de processamento, compostas por diversas camadas, que são um filtro multidimensional, o qual passa por um processo de convolução com a entrada dessa camada para filtrar as informações da imagem até formar os dados desejados (Khan et al., 2022).

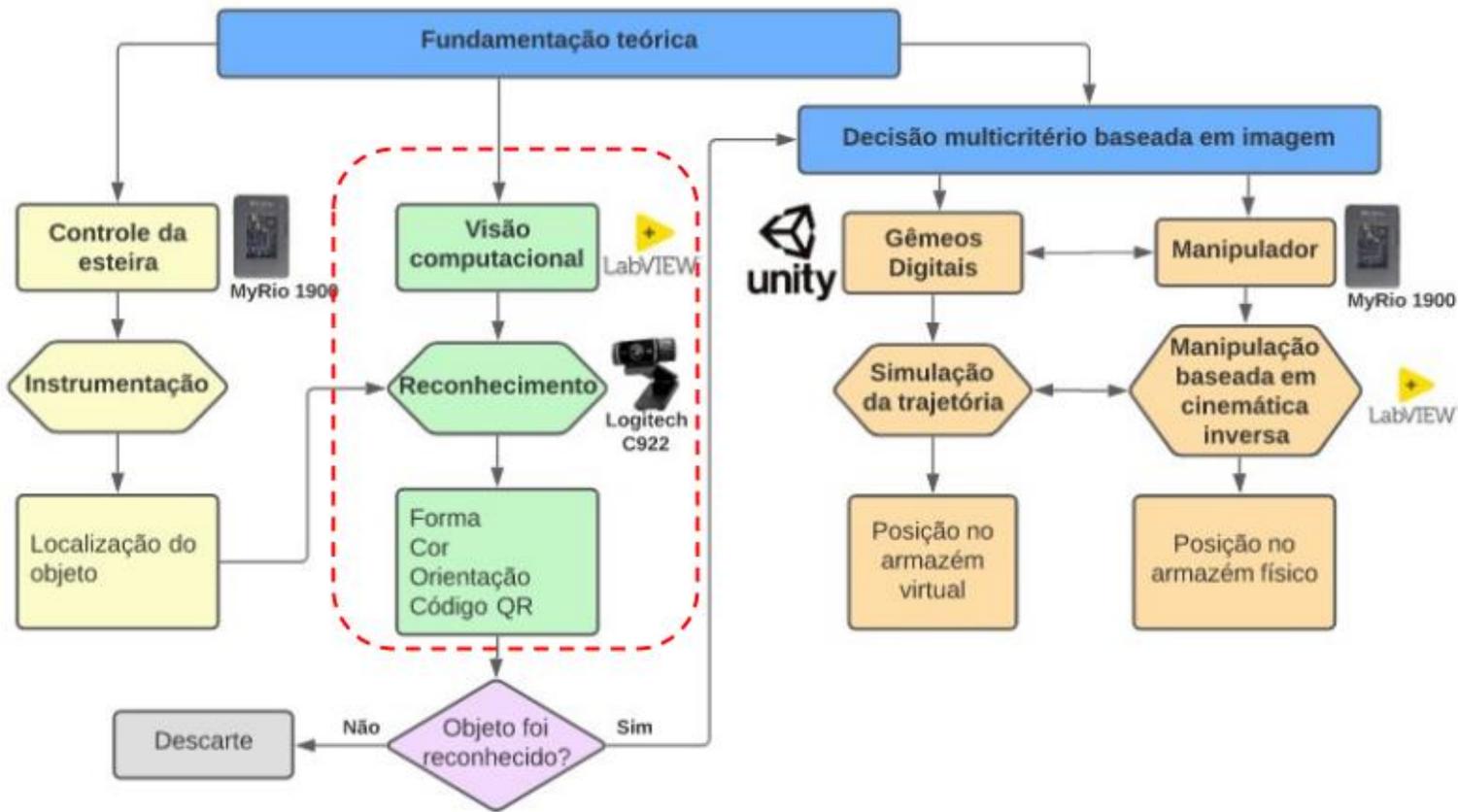
De acordo com Fan et al. (2023), as áreas de aplicação das CNN's são diversas, como reconhecimento de fala, diagnósticos baseados em imagens médicas, diagnósticos de defeitos mecânicos, análise de matrizes alimentares para segurança alimentar e até mesmo em sistemas para classificar e separar resíduos sólidos. Neste contexto, a área de petróleo e gás tem muitas oportunidades de aplicação, de forma dinâmica, tais como a detecção de falhas em equipamentos e a caracterização de substâncias por cor ou densidade. Com o objetivo de facilitar a aplicação do conceito CNN, um caminho simplificado é a utilização de um Sistema Flexível de Manufatura (Flexible Manufacturing System - FMS). Esse sistema promove uma vantagem tecnológica com a identificação de produtos a serem processados, pois reúne um conjunto de máquinas-ferramenta integradas - controladas por comandos numéricos -, e interconectadas por dispositivos para o transporte e manipulação de produtos. O referido sistema deve tomar decisões autônomas baseadas no reconhecimento de entidades, a partir de uma câmera, as imagens são processadas por uma CNN (Weckenborg et al., 2023). Portanto, esse projeto tem como objetivo integrar uma CNN a um protótipo de FMS, já existente no Laboratório de Manufatura da UFRN, para reconhecer produtos a serem processados. A principal demanda é o desenvolvimento de rotinas computacionais para o reconhecimento de cores e de formas para o treinamento da CNN.

## **Metodologia**

Este item descreve os detalhes da aplicação do conceito de CNN's aplicadas a um protótipo de um FMS. O FMS está disponível no Laboratório de Manufatura (LABMAN – UFRN) e tem como objetivo o reconhecimento e a manipulação de produtos. A Figura 1 mostra de forma ampla como esse plano de trabalho se insere no projeto de pesquisa.

Conforme a Figura 1, o plano de trabalho está situado no item de visão computacional e está dividido em cinco etapas: a) Fundamentação teórica; b) definição do modelo de CNN mais adequado para reconhecimento de produtos a partir de imagens de uma câmera; c) criação dos códigos computacionais para implementação da CNN ao FMS; d) treinamento da CNN para o reconhecimento de objetos pré-definidos baseado em características físicas; e) testes funcionais com o sistema FMS; f) elaboração de relatórios e artigos.

Figura 1. Projeto do sistema flexível de manufatura e as atividades do plano de trabalho proposto



Fonte: Autor (2023)

## Resultados e Discussão

Espera-se que as rotinas computacionais de uma CNN permitam o reconhecimento, de forma incremental, de geometrias diferentes de produtos a serem processados no FMS, baseado em cor, QR code ou produto. Deste modo, outros algoritmos de tomada de decisão podem realizar a manipulação adequada do produto na esteira. Além disso, pretende-se que as definições realizadas nessa pesquisa possam ser extrapoladas para as indústrias envolvidas com o processamento da área de petróleo e gás.

## Referências Bibliográficas

- [1] DAVIES, E. R.; TURK, M. (EDS.). Advanced methods and deep learning in computer vision. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2022.
- [2] KHAN, S. et al. A Guide to Convolutional Neural Networks for Computer Vision. Cham: Springer International Publishing, 2022.
- [3] FAN, M. et al. A lightweight multiscale convolutional neural network for garbage sorting. Systems and Soft Computing, v. 5, n. 200059, p. 200059, 2023.
- [4] WECKENBORG, C. et al. Flexibility in manufacturing system design: A review of recent approaches from Operations Research. European Journal of Operational Research, in press, 2023.

*Equilíbrio Líquido-Vapor de Misturas de Álcool e Óleo de Soja, visando o Processamento do Biodiesel*

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

*Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases (FOTEQ); Departamento de Engenharia Química (DEQ)*

*\*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. O biodiesel tornou-se mais atrativo, recentemente, devido aos seus benefícios ambientais e pelo fato de ser produzido a partir de recursos renováveis<sup>1</sup>. O biodiesel é convencionalmente produzido por processo de transesterificação e quimicamente conhecido como éster de ácido graxo, em que os álcoois mais utilizados na indústria para sua produção são o metanol seguido do etanol<sup>2</sup>. Considerando que, 40-80% do investimento, em uma planta típica, é dedicada aos processos de separação, dados de equilíbrio líquido-vapor (ELV) envolvendo estas espécies são cruciais para o projeto, operação e otimização de processos industriais<sup>2,3</sup>. A determinação experimental de dados de ELV é objetivo de estudo deste trabalho, a fim de contribuir na realização de projetos da produção de biodiesel, i.e., na separação entre o álcool e o éster de ácido graxo (produto de interesse) e na purificação deste último.

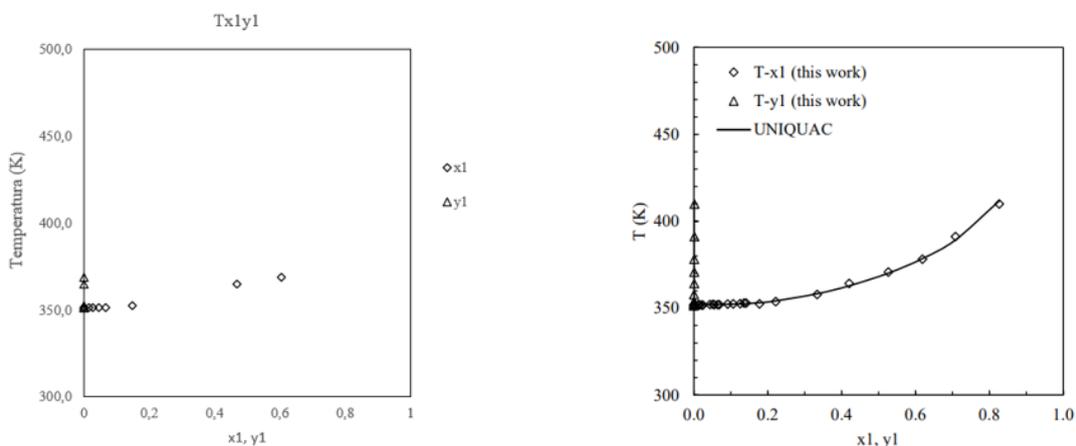
**Metodologia**

Os dados de ELV foram determinados para o sistema pseudo-binário óleo de soja comercial + álcool etílico 99%. O procedimento experimental é descrito por Oliveira (1999)<sup>4</sup> caracterizado como um método dinâmico com recirculação da fase vapor. Todo o experimento foi realizado à pressão atmosférica e é iniciado apenas com o etanol e posterior inserção do óleo. Para esse sistema binário em específico, foi utilizado heptano como solvente, na amostragem da fase líquida, visto que o óleo e o álcool contêm certa imiscibilidade, para poder, então, mensurar a densidade e determinar a composição das espécies, a partir das curvas de calibração de Belting (2013)<sup>1</sup> para o sistema óleo de soja + etanol.

**Resultados e Discussão**

Os dados de equilíbrio referentes ao sistema pseudobinário óleo de soja comercial + álcool etílico 99% determinados pelo ebuliômetro Othmer foram plotados em um diagrama de fases T-xy (temperatura-composição das fases líquida e vapor), conforme figuras 1 e 2.

Figura 1. Dados experimentais de ELV T-xy para o sistema óleo de soja (1) + etanol (2), à pressão atmosférica (101,3 kPa). 1(a) – este trabalho; 1(b) – Belting (2013)<sup>1</sup>.

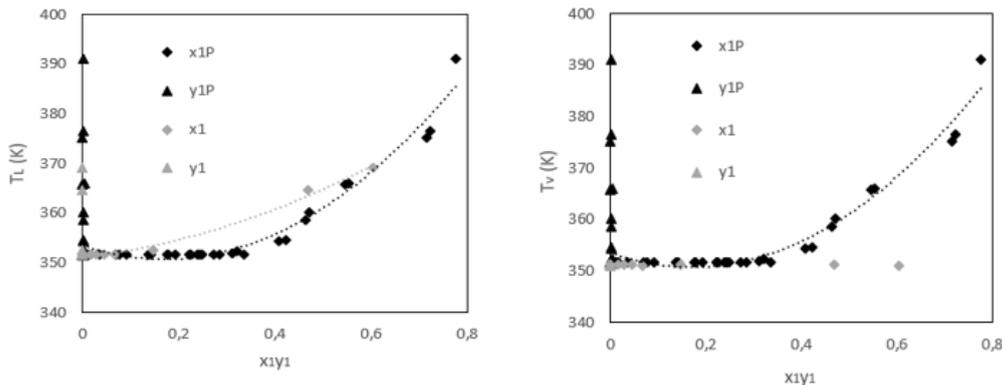


Fonte: Autor (2023)

O experimento ELV para o sistema pseudo-binário foi realizado à baixas concentrações de óleo, além de dois pontos, próximos à concentração equimolar. Estes dois pontos são resultados da tentativa de representar o experimento na concentração de 50% molar de óleo de soja em etanol. Entretanto, as leituras resultaram em, aproximadamente, 47 e 60% molar (figura 1a). Na figura 2, compara-se a temperatura de equilíbrio considerada de ambas as fases deste

trabalho, com a temperatura representativa do equilíbrio em Belting (2013)<sup>1</sup>, neste caso, a da fase vapor. Analisando as figuras 2a e 2b, foi observado uma melhor concordância da temperatura da fase líquida deste trabalho, com os resultados apresentados em Belting (2013)<sup>1</sup>, pois nitidamente nos nossos experimento a temperatura do vapor está representando o ponto de saturação do etanol puro, caracterizando uma coluna de destilação ao invés de um estágio de equilíbrio entre o boiler a região do termômetro superior.

Figura 2. Comparação entre a temperatura das fases líquida e vapor de equilíbrio deste trabalho ( $\blacktriangle$ ,  $\blacklozenge$ ) com a temperatura considerada na tese de doutorado ( $\blacktriangle$ B,  $\blacklozenge$ B) de Belting (2013)<sup>1</sup>.



Fonte: Autor (2023)

Com relação aos resultados de temperatura observa-se que, à uma composição de 47% molar de óleo, correspondeu à 91,7°C, enquanto, em Belting (2013)<sup>1</sup>, correspondeu à 86,92°C. Esta diferença de quase 5°C acima pode ser justificada pelas taxas de aquecimento e agitação impostas ao sistema, durante a realização do experimento, gerando espuma e até refluxo, evidências de sobreaquecimento do sistema em relação ao equilíbrio. Já para o para o último ponto experimental deste trabalho (60% molar de óleo), pode ser observado que com a redução das taxas de aquecimento e agitação ao longo da condução do experimento favoreceu a proximidade do equilíbrio, ou do estado estacionário. Outro aspecto que deve ser considerado está relacionado ao fato do sistema ter sido conduzido aberto para a atmosfera ambiente, o que ocasiona uma evaporação parcial do álcool promovendo, assim, uma maior concentração de óleo se soja com o tempo de experimento. Vale destacar, ainda, os valores da densidade da fase vapor cujo valor do último ponto (0,79674 g/cm<sup>3</sup>), mais concentrado em óleo, foi menor que a do penúltimo ponto (0,79820 gm/cm<sup>3</sup>), o que evidencia a maior vaporização e até possível perda de etanol no sistema, pelo sobreaquecimento. Apesar de tudo, o valor de composição e temperatura da fase líquida no equilíbrio, para o último ponto experimental, estão de acordo com os valores encontrados na literatura.

### Conclusões

A metodologia empregada demonstra concordância quantitativa na faixa de concentrações de óleo estudadas validando o procedimento empregado na determinação experimental do ELV. Esta metodologia no ebuliômetro será estendida para a fase leve (biodiesel+etanol), oriunda da transesterificação do óleo de soja.

### Referências Bibliográficas

- [1] Belting, P. C. Equilíbrio líquido vapor na indústria de óleos vegetais. tese dr. UNICAMP, Campinas 2013.
- [2] Vieira, J. S. C.; Souza T. L.; Rosas, L. S.; Lima, A. L.; Ronconi, C. M.; Mota, C. J. A. Esterificação e transesterificação homogênea de óleos vegetais contendo alto teor de ácidos graxos livres. Quim. Nova, Vol. 41, No. 1, 10-16, 2018.
- [3] Prausnitz, J.M.; Lichtenthaler, R.N.; Azevedo, E.G. Termodinâmica molecular de los equilibrios de fases. Prentice Hall Iberia., Tercera edición, 728 f, Madrid, 2000.
- [4] Oliveira, H.N.M. Determinação de Dados de Equilíbrio para Sistemas Aquosos com Eletrólitos. Dissertação de Mestrado – UFRN, 149 f, Natal, 1999.

***Novas Tendências na Preparação de Biocatalisadores Heterogêneos para Aplicação na Produção de Biocombustíveis***

***Profa. Nathália Saraiva Rios\****

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

***\* nathalia.rios@ufrn.br***

Devido os efeitos prejudiciais dos combustíveis fósseis ao meio ambiente através da emissão de gases de efeito estufa, a busca por processos mais sustentáveis torna os bioprocessos uma alternativa importante para superar esses desafios. Neste contexto, a biocatálise usa enzimas para a catálise de reações de forma seletiva, diminuindo a formação de subprodutos e sob condições brandas de reação. Além disso, as enzimas são biodegradáveis, não tóxicas e são produzidas de fontes renováveis. Para tornar a biocatálise cada vez mais viável economicamente, a eficiência dos processos enzimáticos pode ser aumentada através da utilização de catalisadores imobilizados (biocatalisadores heterogêneos) usando estratégias de imobilização de enzimas. A imobilização permite o reuso da enzima e aumenta a sua estabilidade, facilitando assim a sua utilização em larga escala e a formulação econômica de indústrias biotecnológicas. Atualmente, a biotecnologia moderna vem aplicando esses biocatalisadores heterogêneos na produção de produtos de interesse industrial, como o biodiesel. Novas tendências mostram que a aplicação de sistemas multienzimáticos imobilizados pode ser uma alternativa para melhorar a eficiência de produção de biodiesel. Isso ocorre devido à natureza heterogênea dos óleos e gorduras (que são misturas de mono, di e triglicerídeos, sendo o último mais frequente), no qual necessita de uma mistura de lipases de diferentes especificidades e estabilidades para manter a taxa de reação em diferentes condições operacionais. O sistema multienzimático pode envolver o uso de uma mistura de lipases imobilizadas independentemente em cada partícula do suporte ou o uso de lipases co-imobilizadas. Neste último caso, dois ou mais tipos de lipases são imobilizadas em uma mesma partícula de suporte, permitindo um contato próximo entre as mesmas. Isso pode reduzir o tempo de difusão do produto da primeira reação para o sítio catalítico da outra enzima que catalisa a segunda reação, aumentando a taxa de reação.

## ***Imobilização da Lipase de *Thermomyces Lanuginosus* (TLL) em Fibra de Coco Pré-Tratada por Explosão a Vapor e Modificada com Periodato de Sódio***

***Marcos P. P. Alves; Tiago A. Paulino; Isabela O. Costa; Everaldo S. Santos; Nathalia S. Rios***  
***Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB), Departamento de Engenharia Química (UFRN)***  
***\*marcospauloukmp@gmail.com***

### **Introdução**

As lipases são bastante utilizadas em processos de biocatálise, principalmente, na esterificação de óleos e gorduras para produção de biodiesel (Ji et al., 2023). Para aplicação dessas enzimas se faz necessário o processo de imobilização para aumentar a resistência delas no processo industrial (Pinheiro et al., 2019). O principal objetivo desse estudo foi analisar a fibra de coco verde como suporte de imobilização da lipase de *Thermomyces Lanuginosus* (TLL), em que a fibra foi ativada com peróxido de sódio para formação de grupos aldeídos e o procedimento de imobilização foi realizado pelos métodos de adsorção e ligação covalente usando as condições de imobilização em pH 7,0 e 10,2, respectivamente (Rios et al., 2019).

### **Metodologia**

A fibra de coco foi pré-tratada por explosão a vapor (210°C, 20 bar, 10 minutos) para remover a hemicelulose. A biomassa foi ativada com diferentes concentrações de periodato de sódio e agitada por 5 horas a 24 rpm. No processo de imobilização, uma solução enzimática de TLL (2 mg/g) em tampão de fosfato de sódio (5mM, pH 7,0) a 0,05 mg/mL foi adicionada a biomassa, agitando por 24 horas a temperatura ambiente (24 rpm). Após a agitação, a amostra foi centrifugada para separar o sobrenadante da enzima imobilizada (iTLL). A enzima imobilizada (iTLL) foi lavada com tampão de fosfato de sódio (5mM, pH 7,0) e filtrada a vácuo. Os parâmetros de imobilização foram calculados seguindo o método de Silva et al. (2012).

O método de Bradford, M.M. (1976), foi utilizado para monitorar e quantificar as proteínas nas soluções antes e após o processo de imobilização. O substrato p-nitrofenil butirato (pNPB) foi usado para medida das atividades enzimáticas após a imobilização de acordo com Rios et al. (2019)

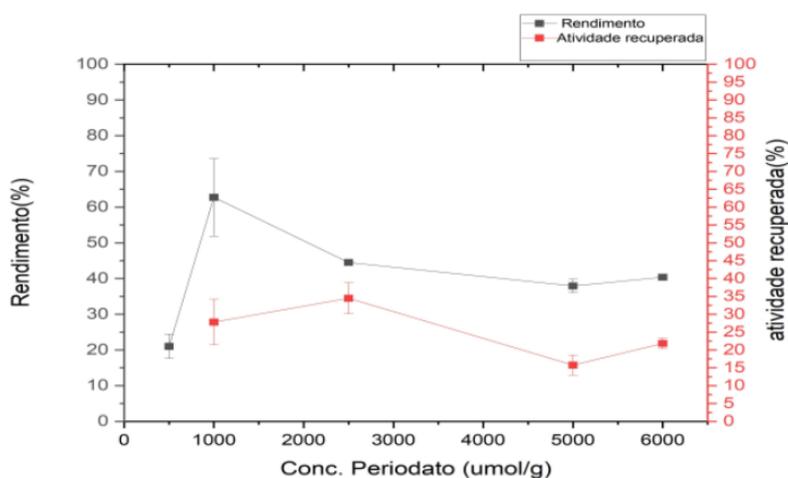
### **Resultados e Discussão**

A oxidação da celulose com periodato de sódio introduz dois grupos aldeído em uma unidade de carboidrato (NYPELÖ et al., 2021). A estabilização da adição de grupos aldeídos ocorre por volta de 2500  $\mu\text{mol/g}$  devido à oxidação dos grupos álcoois na biomassa, indicando que acima desse ponto, a conversão dos grupos álcoois em grupos aldeídos está completa (Guisan, 1987).

Ao ativar a biomassa com 1000  $\mu\text{mol/g}$  de periodato de sódio, obteve-se o maior rendimento de imobilização  $62 \pm 10\%$  a pH 7,0. Isso significa que a maior parte da enzima foi imobilizada, mantendo cerca de  $27,80\% \pm 6,39\%$  de sua atividade após a imobilização (Figura 1).

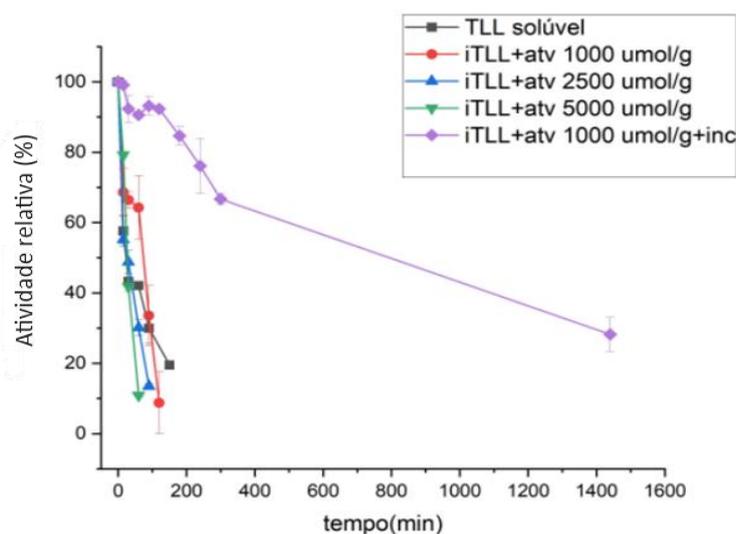
Ao analisarmos a Figura 2, podemos observar que enzimas imobilizadas a pH 7,0 apresentaram tempos de meia vida próximos ao da enzima solúvel, isso indica presença de interações apenas de caráter físico. Neste caso, iTLL imobilizada a pH 7,0 com 1000  $\mu\text{mol/g}$ , se observa um tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) 2,63x maior que o  $t_{1/2}$  da TLL solúvel. Já quando há a incubação da enzima a pH 10,2, a estabilidade térmica do biocatalisador aumenta para um  $t_{1/2}$  30,31 vezes maior em relação a enzima solúvel a 70°C. Isso pode ser explicado, pois no processo de incubação da iTLL temos a formação de ligações covalentes tornando o biocatalisador incubado mais termicamente resistente.

Figura 1. Rendimento de imobilização, atividade recuperada da enzima imobilizada com a concentração de periodato



Fonte: Autor (2023).

Figura 2. Estabilidade térmica da TLL solúvel e imobilizada. Desativação na presença de tampão fosfato de sódio 5 mM pH 7,0 a 70°C



Fonte: Autor (2023).

## Referências Bibliográficas

- BRADFORD, M. M. Analytical Biochemistry, 2. ed., Georgia: 1976. 248-254 p., v. 72.
- GUISAN, J. M. Enzyme and Microbial Technology, 6. ed., Georgia: 1988. 375-382 p., v. 10.
- JI, X.; XU, R.; WANG, F.; LI, X. Industrial Crops & Products, Fortaleza, CE, v. 196, 2023.
- NYPELÖ, Tiina.; BERKE, Barbara.; SPIRK, Stefan.; SIRVIÖ, Juho Antti. Carbohydrate Polymers, v. 252, p. 117105, jan. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117105>.
- RIOS, NATHALIA S.; MENDEZ-SANCHEZ, CARMEN.; ARANA-PEÑA, SARA.; RUEDA, NAZZOLY.; ORTIZ, CLAUDIA.; GONÇALVES, LUCIANA R.B. BIOCHIMICA ET BIOPHYSICA ACTA - PROTEINS AND PROTEOMICS, v. 1867, p. 741-747, 2019.
- SILVA, J. A.; MACEDO, G. P.; RODRIGUES, D. S.; GIORDANO, R. L. C.; GONÇALVES, L. R. B. Biochemical Engineering Journal, v. 60, p. 16-24, 2012.
- Pinheiro, Bruna B.; dos Santos, Kímberle P.; Rios, Nathalia S.; de Macedo, André Casimiro.; dos Santos, José C.S. and Gonçalves, Luciana R.B. (2019). In: Reedijk, J. (Ed.) Elsevier Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. Waltham, MA: Elsevier. 29-Nov-19. doi: 10.1016/B978-0-12-409547-2.14571-8.
- Vassilev, S. V.; Vassileva, C. G. (2019). Energy and Fuels, v. 33, n. 4, pp. 2763-2777. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00081>.

## *Captura de Carbono por Absorção Química em Microdispositivos*

*Antônio M. L. Bezerra\*; Carlos E. de A. Padilha; Domingos F. de S. Souza*

*Laboratório de Energia Alternativa e Fenômeno de Transporte (LEAFT) - Depto de Enga Química (UFRN)*

*\*antonio.bezerra.118@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

Considerando aumento da temperatura média global cuja causa refere-se, principalmente, a influências humanas e, também, à dependência do fornecimento de energia por recursos fósseis, torna-se crucial o estudo e implementação de medidas que contrariem a emissão de carbono. A chave para uma mudança precisa e segura atravessa um conjunto de novas tecnologias de CCUS. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC), o setor de petróleo e gás recebe destaque como um dos maiores emissores de CO<sub>2</sub> na indústria mundial durante o processo de extração de petróleo e gás natural [1,2] Visto que há a crescente necessidade de descarbonização, a indústria de petróleo e gás necessita de técnicas eficazes que atendam ao fim da descarbonização, a fim de alcançar a tão almejada neutralidade de carbono [2]. Existem 3 diferentes tipos principais de sistemas de captura de CO<sub>2</sub>: pós-combustão, pré-combustão e oxi-combustão [3]. A tecnologia de captura mais amplamente adotada e benéfica em comparação com outras é a pós-combustão. A absorção é a tecnologia mais usada para remoção de CO<sub>2</sub> de correntes gasosas. Em plantas industriais, soluções de alcanolaminas são usadas como absorventes de CO<sub>2</sub>. Os processos de separação de gases, com destaque para a captura de carbono por pós-combustão utilizando soluções aquosas de alcanolaminas para absorção, podem alcançar melhorias substanciais por meio da utilização de superfícies microestruturadas de alto desempenho. Essas superfícies aumentam significativamente a área disponível para a reação.

### **Metodologia**

O sistema de captura de CO<sub>2</sub> por meio dos micro sistemas se estabelece, para os estudos de absorção, por meio de conceitos de intensificação de processos. Os microdispositivos são unidades com canais submilimétricos, o que representa elevada razão área-volume. No fenômeno de absorção química, o soluto é transportado da fase gasosa à fase líquida, acompanhado de reação química na fase líquida. Minimizar a área de contato entre as duas fases promove maior envolvimento do CO<sub>2</sub> pela solução de amina e favorecerá o fenômeno de difusão.

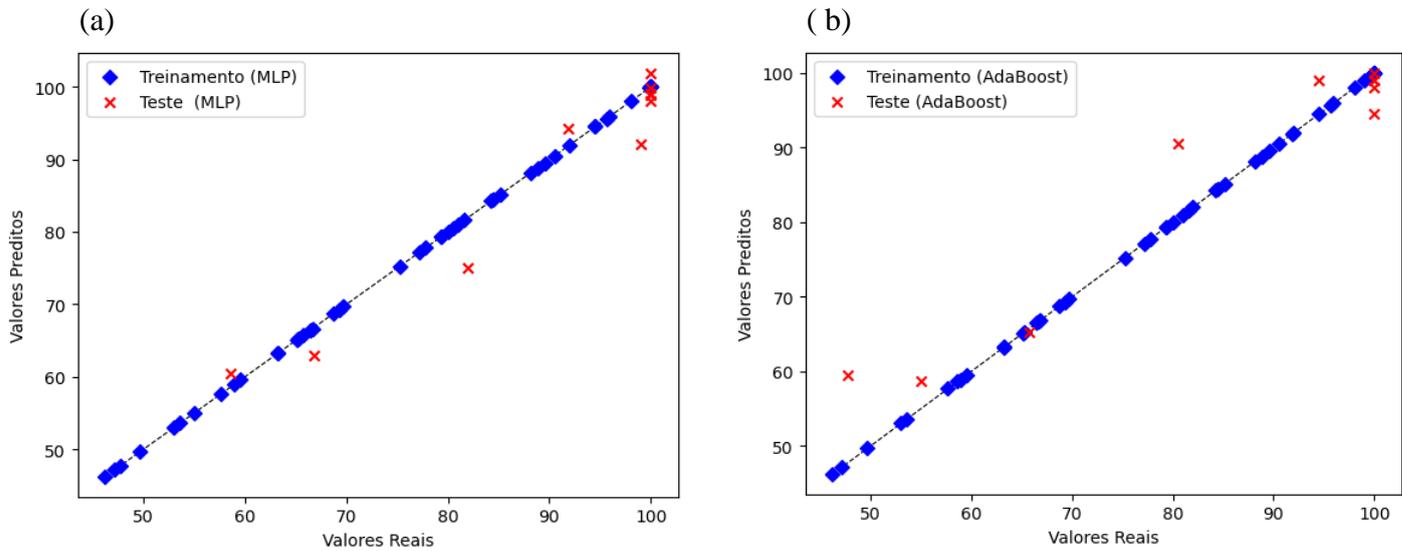
A análise dos efeitos das condições operacionais e a busca pela melhoria no desempenho da absorção geralmente demandam a condução de experimentos que utilizam técnicas estatísticas. Entretanto, esses procedimentos são dispendiosos em termos de tempo e recursos. Uma alternativa viável é o desenvolvimento de modelos de aprendizagem de máquina para compreender os processos químicos, como a absorção de dióxido de carbono em microrreatores.

Para projetar modelos usando as metodologias AdaBoost-DT e ANN capazes de prever a solubilidade de CO<sub>2</sub> em soluções aquosas de MEA, TEA e EtileA, utilizou-se o banco de dados coletado nos experimentos contidos na literatura [4].

### **Resultados e Discussão**

Foram estudados dois modelos de aprendizado de máquina, árvore de decisão e redes neurais, na intenção de obter um caminho de modelagem mais viável, uma vez que podem atuar como um preditor universal. Desta forma, os testes foram efetuados e foi-se possível comparar o comportamento dos dois modelos.

Figura 1. Representação do cruzamento das saídas do modelo apresentado em comparação com os valores experimentais: (a) para MLP-ANN e (b) para Adaboost-DT



Fonte: Autor (2023).

Tabela 1. Os resultados da análise de erro para os modelos propostos

Adaboost	Teste	AARD (%)	4.73
		RMSE	5.56
		R <sup>2</sup>	0.92
MLP-ANN	Teste	AARD (%)	3.09
		RMSE	3.57
		R <sup>2</sup>	0.94

Fonte: Autor, 2023.

### Conclusões

A partir das análises dos erros obtidos para os diferentes modelos de aprendizado de máquina e, com base na adequação dos dados de teste ao conjunto de treinamento, pode-se observar que o MLP-ANN obteve certas vantagens em detrimento do modelo de árvore de decisões.

### Referências Bibliográficas

- [1] IPCC, 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [2] IPCC, 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK e New York, NY, USA.
- [3] KIM, J. *et al.* Energy minimization of MEA-based CO<sub>2</sub> capture process. *Applied Energy*, v. 169, p. 353-362, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.046>
- [4] BAYER, M. M. Sistema de microfluidos aplicados na absorção de CO<sub>2</sub> usando soluções a base de aminas. 2017. Dissertação (Mestrado em Petróleo e Gás Natural) – Universidade Potiguar, Natal.

## *Utilização de Microalgas para Produção de Biocombustíveis por meio da Pirólise*

*Maria A.C. de Oliveira\**; *Francisca I.A. Franco*; *Joemil O.D. Junior*; *Karine F.S. Oliveira*; *Renata M. Braga*  
*Laboratório de Tecnologia Ambiental (LabTam), Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*mariaantoniao@ymail.com*

### **Introdução**

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) o planeta Terra atingiu 8 bilhões de pessoas em 2022 [1], com isso a demanda por recursos básicos para uma vida digna também apresenta um crescimento exponencial. Cerca de 80% da demanda energética primária mundial vem de recursos fósseis, os principais responsáveis pela emissão dos gases de efeito estufa (GEE) além de gerar outros impactos ambientais desde sua extração até sua utilização final [2].

Visando afetar o mínimo possível o meio ambiente, procura-se tecnologias para geração de energias de fontes renováveis, como por exemplo a energia hidrelétrica, solar e eólica. Mesmo sendo todas consideradas sustentáveis, no mercado ainda há a necessidade de um combustível líquido de fácil transporte, compatível com as infraestruturas e equipamentos já existentes em grande parte dos países, sendo o biocombustível uma excelente alternativa [3].

Os biocombustíveis são divididos em três classificações: Os de primeira geração são produzidos a partir de fontes alimentícias, que, apesar de apresentar bom rendimento, compete com o mercado alimentício gerando dúvidas sobre sua necessidade frente a fome mundial. Os de segunda geração são feitos a partir de materiais lignocelulósicos, geralmente resíduos agroindustriais, não obtendo um processo sustentável dado que necessitam de grandes áreas para produção de sua matéria base, além da aplicação de pesticidas e fertilizantes que contaminam o solo e recursos hídricos. Os de terceira geração vem sendo estudados mais frequentemente pois utilizam dos microrganismos para sua produção, aliado a biotecnologia não se faz necessário de grandes quantidades de área além da não utilização de componentes tóxicos em sua cultivo e não compete com o mercado alimentício [4].

As microalgas se tornaram uma matéria atrativa para a produção de biocombustível de terceira geração devido sua alta concentração de lipídeos, resistência, capacidade de biorremediação e possibilidades de geração de coprodutos com valor agregado. Estes microrganismos possuem uma alta capacidade de adaptação em diferentes pHs e temperaturas, além de absorver CO<sub>2</sub> e outros elementos, como o nitrato e o fósforo, para funcionamento de seu metabolismo. Assim, é possível que seu cultivo seja realizado em efluentes residuais de empresas fazendo com que a biorremediação para tratamento destes ocorra simultaneamente com a produção do biocombustível, reduzindo custos, diminuindo a quantidade de terras necessárias para seu cultivo e contribuindo para a captura de CO<sub>2</sub> [5].

A pirólise, um processo de conversão termoquímica por queima na ausência de oxigênio, surgiu como alternativa para a conversão de microalgas em biocombustíveis. Além disso, é um processo que apresenta muitas vantagens como uma planta que necessita de pouca área e de fácil instalação, além de possuir uma alta versatilidade tanto em sua aplicação como operação, podendo alterar suas condições afim de que favoreça a formação do produto de interesse.[6]

Neste processo, os produtos gerados são: a fase sólida que é um biocarvão de valor agregado, fase gasosa não condensável que pode ser utilizado para a geração de hidrogênio verde e a fase gasosa condensável que forma o bio-óleo, um composto complexo de alto poder calorífico. A priori, visando uma maior produção do bio-óleo, a pirólise rápida (*fast pyrolysis*) é comumente utilizada, que faz da utilização de altas taxas de temperatura em pouco tempo para que a produção dos gases condensáveis seja maior, com o resfriamento do equipamento estes gases se condensam e formam o bio-óleo. [7]

Portanto, o objetivo deste trabalho será analisar o potencial do uso das microalgas e seus derivados para produção de biocombustíveis via pirólise.

## Metodologia

O trabalho terá início com a pesquisa bibliográfica para fundamentação teórica que auxiliará no trabalho, como na escolha da espécie de microalga, entendimento do processo e determinação dos parâmetros experimentais, etc. Com a microalga escolhida será realizada etapas de caracterização do material e seus derivados através do teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico, TGA, FTIR, MEV, FRX, teor de lipídeos, sólidos e carboidratos. Após as caracterizações, será realizada a pirólise convencional da microalga para determinação dos melhores pontos de temperatura e tempo de permanência, posteriormente, aplicando os pontos mais adequados, no experimento da pirólise catalítica. Os dados de cada experimento serão tratados e discutidos com base na literatura estudada.

## Conclusão

De acordo com o conteúdo apresentado acima, ao completar a metodologia, espera-se avaliar a capacidade da microalga e seus derivados para a produção de biocombustíveis determinando se é uma alternativa de qualidade ou não. O presente trabalho tem como finalidade uma alternativa sustentável e de baixo custo, contribuindo para o meio ambiente e economia, diminuindo a dependência do mercado acerca de combustíveis fósseis.

## Referências Bibliográficas

- [1] Mundo chega a 8 bilhões de habitantes com população idosa crescendo. CNN, 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br>. Acesso em: 27 out 2023.
- [2] AHMAD, T.; ZHANG, D. A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far. *Energy Reports*, v. 6, p. 1973–1991, nov. 2020.
- [3] SABA, C. S.; NGEPAH, N. Convergence in renewable energy sources and the dynamics of their determinants: An insight from a club clustering algorithm. *Energy Reports*, v. 8, p. 3483–3506, nov. 2022.
- [4] MORAES, G. S. C. et al. Produção de biodiesel a partir das microalgas: revisão. *International Journal of Scientific Management and Tourism*, v. 9, n. 3, p. 1672–1689, 4 jul. 2023.
- [5] ALI, S. S. et al. Recent advances in wastewater microalgae-based biofuels production: A state-of-the-art review. *Energy Reports*, v. 8, p. 13253–13280, nov. 2022.
- [6] DELMIRO, T. M. et al. Renewable aromatic hydrocarbons from flash catalytic pyrolysis of *Monoraphidium* sp. lipid extract. *Biorsource Technology Reports*, v. 15, p. 100799-100799, 1 set.2021.
- [7] ARNEIRO, G. A.; SILVA, J. J. R.; OLIVEIRA, G. de A.; PIO, F. P. B. Use of Microalgae for Biodiesel Production. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 7, n. 5, p. e1075181, 2018.

## *Machine Learning Interpretável: Estudo da Dependência Parcial de um Modelo Preditor da Densidade de Misturas Aquosas de Eletrólitos*

*João Lucas H. Detogni\*<sup>†</sup>; Mateus F. Monteiro; Osvaldo Chivovone-Filho*

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

*\*lucas.detogni.017@ufrn.edu.br*

### Introdução

A modelagem com algoritmos de *Machine Learning* (ML) tem ganhado destaque devido a sua alta capacidade preditiva. Esses algoritmos podem ser utilizados para prever propriedades físico-químicas de sistemas como a densidade de misturas aquosas de eletrólitos. ML interpretável é um ramo da modelagem com esses algoritmos que buscam tornar-se suas previsões interpretáveis, tornando-os assim mais confiáveis e auxiliando na validação do modelo. Uma das técnicas de estudo é a dependência parcial que reflete o comportamento aprendido para cada variável do algoritmo. Os resultados do estudo de dependência parcial em um algoritmo já treinado e com boa performance mostraram-se satisfatórios, com o modelo estudado refletindo padrões esperados pela literatura.

ML é um ramo da modelagem desenvolvido desde a década de 1950 e tem ganhado destaque devido a sua alta capacidade de realizar previsões precisas. Apesar disso, a maioria dos algoritmos de ML funcionam como uma caixa preta onde os resultados não são acompanhados de explicações e considerações feitas pelo algoritmo, isso reduz a confiabilidade da modelagem e aumenta a incerteza quanto aos resultados obtidos sem base experimental comparativa. Devido a isso, entender os padrões aprendidos pelo modelo, o impacto e a dependência parcial de cada variável independente com a variável de saída são fundamentais tanto para validá-lo quanto para compreender sua natureza estatística, isso constitui o estudo para tornar o ML interpretável (*Explainable AI*). Misturas aquosas de eletrólitos são sistemas de interesse em certas operações industriais. Essas misturas causam incrustações, alteram o comportamento volumétrico dos sistemas, e influenciam na regeneração de Monoetilenoglicol (Moura-Neto et al., 2021). Constituída a necessidade de modelar com alto grau de confiabilidade as propriedades físico-químicas de misturas aquosas de eletrólitos, por exemplo a densidade, em função de propriedades mensuráveis como concentração, temperatura e eletrólitos presentes no meio, é desejável um algoritmo que seja não só preciso como também interpretável. O objetivo do trabalho será realizar a análise de dependência parcial de um modelo baseado em árvores de decisões (*Gradient Boosting*) já treinado que forneceu boa precisão com o conjunto de validação, as métricas do modelo estudado consistem em um coeficiente de determinação de 0.998, desvio médio de 2,5 kg/m<sup>3</sup>, desvio médio relativo de 0,2 % e desvio máximo de 58,87 kg/m<sup>3</sup>.

### Metodologia

Gráficos de dependência parcial (GDP) permitem entender as relações de proporção aprendida entre uma variável independente  $X$  e a variável de resposta do algoritmo, retratando a variação média. Considerando  $C$  o conjunto de variáveis complementares,  $X$  a variável a qual se quer determinar a dependência parcial e  $J$  um conjunto de valores ( $v_1, v_2, \dots, v_m$ ), um GDP é construído por meio da Equação 1 (LOFTUS et al., 2023).

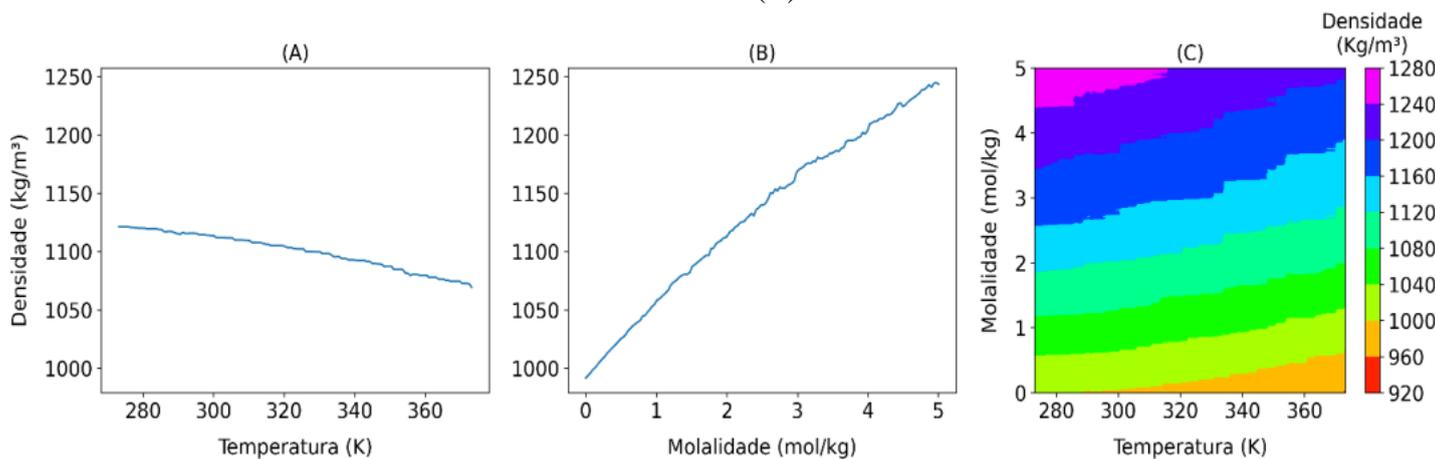
$$GDP_X(v) = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n pred(X_i = v, C_i); \quad \forall v \in J \quad (1)$$

$GDP_X(v)$  denota o cálculo de um único ponto do gráfico,  $n$  denota o número de amostras no conjunto e  $pred$  denota a função de previsão do algoritmo.

## Resultados e Discussão

Foram estudadas as dependências parciais do modelo preditor da densidade de misturas aquosas de eletrólitos com a temperatura e a molalidade da solução, os resultados estão apresentados na Figura 1. Analisando a dependência parcial da densidade com a temperatura (Figura A) foi possível observar que o modelo aprendeu corretamente a natureza inversamente proporcional entre ambas as variáveis. A Figura (B) apresenta a dependência parcial da densidade dos sistemas com a molalidade e pode-se observar que o algoritmo atribuiu corretamente a relação de proporção entre ambas as variantes estudadas. Comparativamente, é possível visualizar que a intensidade de aumento da densidade com a molalidade é superior ao decréscimo da densidade com o aumento da temperatura, uma premissa aprendida corretamente pelo modelo. A Figura (C) apresenta um mapa de calor que permite ver a distribuição média de densidade com a variação de ambas as variáveis, temperatura e molalidade. Observou-se que para molalidades altas e temperaturas mais baixas o algoritmo calculou, as maiores densidade médias e para temperaturas maiores e menores molalidades as menores densidade foram estimadas, outra premissa correta aprendida pelo modelo.

Figura 1. Dependência parcial aprendida pelo modelo estimador da densidade com a temperatura (A) e molalidade (B) dos sistemas; o gradiente de cores indica a densidade calculada no mapa de dependência parcial com ambas as variáveis (C).



Fonte: Autor (2023).

## Conclusão

A análise de dependência parcial do modelo de ML estudado foi realizada. Foi possível observar que o algoritmo aprendeu corretamente as relações e intensidade de proporção entre as variáveis mais relevantes (temperatura e molalidade). Além disso, um mapeamento de cores apresentou as regiões de maiores e menores densidade médias estudadas com um comportamento esperado pela literatura. Por fim, o modelo não só fornece métricas avaliativas satisfatórias como aprendeu os padrões corretos entre as variáveis que influenciam suas previsões e isso o torna mais confiável para aplicações.

## Referências Bibliográficas

- Moura-Neto, M.H., Monteiro, M.F., Ferreira, F.A.V., Silva, D.J., Figueiredo, C.S., Ciambelli, J.R.P., Pereira, L. S., Nascimento, J.F., Chiavone-Filho, O. Density and Electrical Conductivity for Aqueous Mixtures of Monoethylene Glycol and Sodium Chloride: Experimental Data and Data-Driven Modeling for Composition Determination. *Journal of Chemical & Engineering Data* 2021, v. 66, p. 1914-1928.
- LOFTUS, J.R.; BYNUM, L.E.J.; HANSEN, S. Causal Dependence Plots. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2303.04209>>. Acesso em: 8 ago. 2023.

***Estudo do Comportamento do Carbonato de Cálcio a Diferentes Pressões Utilizando a Célula de Equilíbrio PVT para o Sistema  $CO_2 + H_2O + MEG + CaCO_3$***

***Gabriel de Oliveira Lima Almeida; Éntony D. Dantas; Fedra A. de S. V. M. Ferreira; Osvaldo Chivavone-Filho***  
***Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases (FOTEQ), Departamento de Engenharia Química (UFRN)***

***\*gabriel.almeida.700@ufrn.br***

**Introdução**

O estudo do comportamento do carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ) em diferentes condições de processo é de suma importância para a indústria petrolífera, principalmente em condições do pré-sal, onde há uma grande concentração desse sal dissolvido, Sobolewski et. al (2022). Dependendo das condições de temperatura e pressão, o  $CaCO_3$  pode precipitar e formar incrustações nas tubulações e equipamentos causando prejuízos financeiros, Santana et. al (2016). O carbonato de cálcio se encontra mais solubilizado em temperaturas mais baixas, em maiores pressões e quando há mais  $CO_2$  dissolvido, Figueiredo et al. (2014). Além disso, na produção de gás natural, é utilizado o monoetilenoglicol (MEG) para inibir a formação de hidratos (Sandengen, 2006). Posteriormente, o MEG é regenerado e reinjetado a fim de reduzir custos. No entanto, no processo de regeneração de MEG, ocorrem incrustações de sais inorgânicos como o  $CaCO_3$  devido ao efeito *salting-out* causado pelo MEG. Sendo assim, fica evidente que o estudo da solubilidade do carbonato de cálcio em diferentes condições operacionais e diferentes composições de MEG é importante para a indústria. Com o auxílio da célula PVT, é possível simular as condições operacionais como temperatura e pressão e assim determinar dados de equilíbrio que servem para desenvolver métodos de prevenção de incrustações.

**Metodologia**

Para a aquisição desses dados de equilíbrio será utilizada a metodologia de Ferreira et. al (2017) com célula PVT mostrada na figura 1.

Figura 1. Célula PVT de Equilíbrio



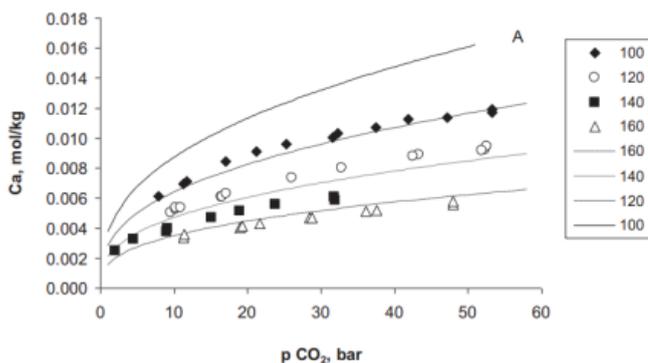
Fonte: Ferreira, et al. (2017)

Os materiais e reagentes necessários para a realização desse experimento são: Bomba seringa, Célula de equilíbrio PVT, densímetro, cilindro de  $CO_2$ ,  $CaCO_3$ , agitadores magnéticos, banho termostático, balança, água e MEG. O carbonato de cálcio é adicionado em excesso na solução livre de sal contendo MEG e água destilada, e posteriormente adicionado à célula PVT. O  $CO_2$  em quantidades conhecidas, é adicionado na parte frontal da célula PVT com o auxílio da bomba seringa. Dessa forma, a amostra terá contato com o  $CO_2$  a uma dada pressão e será possível determinar dados de equilíbrio a diferentes temperaturas, pressões parciais de  $CO_2$  e composição de MEG. Para as medidas de densidades, é necessário esperar duas horas para que o sistema atinja o equilíbrio e assim ser realizada a primeira leitura no densímetro, depois, é necessário esperar mais uma hora para a outra leitura. Dessa forma, o valor da densidade será a média aritmética dos valores obtidos.

## Resultados e Discussão

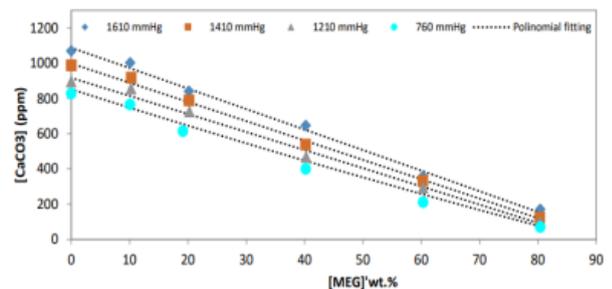
Devido a presença do  $\text{CO}_2$  no sistema a ser estudado, é esperado que o carbonato de cálcio esteja mais dissolvido em amostras onde a pressão parcial de  $\text{CO}_2$  é maior. Além disso, no sistema com o MEG, é também esperado o mesmo comportamento quando a concentração de MEG é menor, devido a sua menor capacidade de solubilização do carbonato de cálcio. Esse comportamento já foi evidenciado em alguns trabalhos nos seguintes sistemas ( $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) como é o caso do trabalho de Bychkov et. al (2019) representado na figura 2 e para o sistema ( $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{MEG} + \text{H}_2\text{O}$ ) que está representado na figura 3, Figueiredo et al. (2014).

Figura 2. Isotermas de solubilidade do  $\text{CaCO}_3$  em água, em célsius (100-160)



Fonte: Bychkov et. al (2019)

Figura 3. Isobáricas de solubilidade do  $\text{CaCO}_3$  em misturas de água e MEG a 25 °C



Fonte: Figueiredo et al. (2014)

Ficou evidenciado que em maiores pressões parciais de  $\text{CO}_2$  e em menores temperaturas para ambos os sistemas, a solubilidade do carbonato de cálcio aumentou, devido ao fato de que o  $\text{CO}_2$  está mais dissolvido. Dessa forma a presença de  $\text{CO}_2$  intensifica a concentração de íons de bicarbonato e, seguindo o princípio de Le Chatelier, o equilíbrio é deslocado de modo a solubilizar o carbonato de cálcio. Não foram encontrados dados na literatura no sistema contendo MEG para pressões acima de 2 bar.

## Referências Bibliográficas

- [1] Moura-Neto MH, Monteiro MF, Mota ALN, et al. Isobaric Vapor–Liquid Equilibrium Measurements and Modeling of Water + Monoethylene Glycol + NaCl Mixtures. *J. Chem. Eng. Data* 2020; 65(10): 4827–4836.
- [2] Sandengen, K. Prediction of Mineral Scale Formation in Wet Gas Condensate Pipelines and in MEG (monoethylene glycol) Regeneration Plants. Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, 2006.
- [3] CHIAVONE-FILHO, O. AND RASMUSSEN, P. Solubilities of Salts in Mixed Solvents. *J. Chem. Eng. Data*, v.38, p. 367- 369, 1993
- [4] Bychkov, A.Yu et. al. Experimental determination of calcite solubility and the stability of aqueous Ca– and Na–carbonate and –bicarbonate complexes at 100–160 C and 1–50 bar  $p\text{CO}_2$  using in situ pH measurement. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 290 (2020) p. 352-365.
- [5] Figueiredo, C. S., Ferreira, F. A. V., Nascimento, J. F., Ciambelli, J. R., Santana, R. O., Silva, A. P. N., Dantas, Z. S., Chiavone-Filho, O. Estudos Termodinâmicos de Carbonatos em Solução Aquosa e Atmosfera de  $\text{CO}_2$ . Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2014.
- [6] SANTANA-CAROLINA. Incrustações Inorgânicas em Campos do Pré-Sal. *Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana* n. 4 (2016) p.22-31.
- [7] Ferreira, Fedra A.V.; Barbalho, T.C.S.; Oliveira, H.N.M.; Chiavone-Filho, Osvaldo. Vapor–Liquid Equilibrium Measurements for Carbon Dioxide + Cyclohexene + Squalane at High Pressures Using a Synthetic Method, *J. Chem. Eng. Data*, v.62, p.1456-1463, 2017.

## *Revisão Bibliográfica sobre o Tratamento de Água Produzida com Adsorventes Comerciais*

*Letícia P. de Araújo\**; *Joyce A.B. Souza*; *Oswaldo Chiavone-Filho*

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

*\*joyceabsouza@gmail.com*

### **Introdução**

A presença de contaminantes solúveis em águas residuais é um problema pertinente em diversos setores industriais. Na indústria de petróleo e gás, a água residual nos processos de extração, injeção de poços e refinarias é denominada de água produzida. A água produzida é composta por diversos elementos, como os ácidos orgânicos, sais e íons inorgânicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), hidrocarbonetos do petróleo, fenol e metais, de acordo com o relatado na literatura [1]. Estima-se que, mundialmente, são produzidos aproximadamente 250 milhões de barris de água para cerca de 80 milhões de barris de óleo por dia [2]. Dessa maneira, o tratamento da água produzida para reuso ou descarte é fundamental. Dentre várias metodologias físicas e químicas para tratamento de águas residuais, o método da adsorção se destaca na remoção de contaminantes dissolvidos por necessitar baixas quantidades de adsorvente e pelo seu baixo custo operacional [3]. Com isso, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica dos principais adsorventes e processos para o tratamento de água produzida, no propósito de formular uma base teórica para desenvolvimento de plano de trabalho nesta área.

### **Metodologia**

A metodologia da pesquisa bibliográfica consistiu numa busca em plataformas de indexação de artigos – Google Scholar, Scopus, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Periódicos Capes. A pesquisa nessas plataformas utilizou as seguintes palavras-chaves: “produced water”, “treatment”, “adsorption”, “process”. Para melhor discussão do material encontrado, foi construída uma tabela contendo as principais informações a respeito das condições de processo, quantidade de adsorvente, concentração de contaminante, percentual de remoção e outros.

### **Resultados e Discussão**

Na Tabela 1 estão dispostos os dados coletados a partir da revisão bibliográfica realizada. Foi encontrada uma quantidade satisfatória de trabalhos utilizando adsorventes disponíveis comercialmente. Alguns tratavam de materiais comerciais acrescentados de aditivos em laboratório, principalmente em estudos comparativos [4-6]. Em outros casos, os estudos consistiram em avaliar o desempenho de diferentes adsorventes comerciais nas mesmas condições operacionais [7-9]. Destaca-se que a dosagem de adsorvente foi relativamente baixa na maioria dos casos, confirmando a vantagem de utilizar este tipo de material.

Quanto aos contaminantes utilizados, se observa uma variedade de composições. Desde emulsões óleo-água [4,5,7], soluções contendo sais inorgânicos [8-12] e também um caso avaliando o tratamento de água produzida real coletada na região do Delta do Níger, na Nigéria [6]. A concentração de contaminante de cada trabalho está descrita na Tabela 1. Outro ponto relevante é a faixa de pH, registrou-se situações em meios ácido e básico, como também em meio neutro. De acordo com o tipo de processo, é notável o grande número de trabalhos em batelada. Na pesquisa realizada foram encontrados poucos trabalhos com processos contínuos, das referências encontradas poucos estudos utilizam o adsorvente em leito fixo [4,10]. Baseado nas informações da Tabela 1, é possível observar que os percentuais de remoção alcançados (70% - 98%), o tempo de residência (mínimo de 30 minutos) e as temperaturas amenas de operação são pontos vantajosos no uso dos adsorventes disponíveis atualmente, ou seja, há uma viabilidade em aplicar esses materiais no tratamento de água produzida.

Tabela 1. Resultado obtido da pesquisa bibliográfica contendo os dados experimentais de cada procedimento.

Autor	Referência	Adsorvente	Contaminante	Concentração	Dosagem de adsorvente	Processo	pH	Temperatura	Tempo	%Remoção
Chacra <i>et al.</i> (2018)	[4]	Graphene nanoplatelets	Emulsão petróleo pes ado-água	45 ppm	3,0 g/L	Batelada e leito fixo	10,0	25°C	30 min	90,0%
		Graphene magnetite			4,0 g/L		3,5			72,2%
Fard <i>et al.</i> (2016)	[5]	Comercial Carbon nanotube (C-CNT)	Emulsão gasolina-água	841 mg/L	1,25 g/L	Batelada	7,0	27°C	120 min	87,0%
		Carbon nanotube/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			1,5 g/L		> 90,0%			
Albatrni <i>et al.</i> (2019)	[7]	Amberlite XAD7	Emulsão gasolina - água	28 mg/L gasolina	5 g/L	Batelada	6,7	25°C	24h	> 98,0%
		Optipore L493			30 g/L					> 98,0%
Albatrni <i>et al.</i> (2019)	[7]	Lewatit AF5	Emulsão gasolina - água	28 mg/L gasolina	15 g/L	Batelada	6,7	25°C	24h	> 98,0%
Khaeder <i>et al.</i> (2022)	[8]	Natural Zeolite	Água Produzida Sintética	4g/L argila 0,1 g/L petróleo leve 100 g/L NaCl	3 g/L	Batelada	2,0	25°C	60 min	84,8% óleo 63,74% COD 85,06% TPH 99,91% Turbidez
Khaeder <i>et al.</i> (2022)	[8]	Powdered activated carbon	Água Produzida Sintética	4g/L argila 0,1 g/L petróleo leve 100 g/L NaCl	3 g/L	Batelada	2,0	25°C	60 min	99,58% óleo 95,87% COD 99,84% TPH 99,63% Turbidez
Khaeder <i>et al.</i> (2022)	[8]	Synthetic zeolite type X	Água Produzida Sintética	4g/L argila 0,1 g/L petróleo leve 100 g/L NaCl	3 g/L	Batelada	2,0	25°C	60 min	91,08% óleo 80,32% COD 93,57% TPH 99,97% Turbidez
Diraki <i>et al.</i> (2019)	[10]	Graphene oxid	Água Produzida Sintética	200 mg/L Diesel 100 g/L NaCl	25 mg/L	Leito Fixo		23°C	60 min	1,135 g/g
Adewoye <i>et al.</i> (2021)	[6]	Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNT)	Água Produzida Real	Coletada em Delta do Niger (Nigéria)	0,2 mg/L	Batelada	6,5 - 8,5	30°C	90 min	93,30%
Jang & Chung (2019)	[11]	H <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub>	Água Produzida Sintética	N-hexano, N-undecano, N-cetano, NaCl e CaCl <sub>2</sub>	3 mg/L	Batelada	6,5	30°C	24h	2,14 mmol/g
Hendges <i>et al.</i> (2021)	[9]	Macronet MN 202	Água Produzida Sintética	500 mg/L ácido naftênico 100 g/L de sal	4 mg/L	Batelada	4,0	50°C	2h	85,0%
	DowexL493	80,0%								
Fallah & Roberts (2019)	[12]	Bisulphate graphite intercalation compound (GIC)	Água Produzida Sintética	276 mg/L n-heptano 0,3% NaCl 103 mg/L n-heptano 0,3% NaCl	133 g/L	Batelada	4,5	22°C	30 min	96,0%

Dessa forma, observa-se que os adsorventes comerciais possuem um papel relevante na remoção de contaminantes solúveis da água produzida. No entanto, carecem trabalhos referentes a aplicação da adsorção em processos contínuos para aplicação em larga escala no tratamento da água produzida. Portanto, para construção do plano de trabalho será fundamental incluir o estudo da otimização do processo de tratamento com adsorção visando melhorar sua aplicabilidade em escala industrial.

## Referências Bibliográficas

- [1] Alomar, T.S.; Hameed, B.H.; Usman, M.; Almomani, F.A.; Ba-Abbad, M.M.; Khraisheh, M. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103034>.
- [2] Hedar, Y.; Budiyo. *E3S Web Conf.*, 31, 2018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183103004>.
- [3] Yousef, R.; Qiblawey, H.; El-Naas, M.H. *Processes*, 8, 2020. <https://doi.org/10.3390/pr8121657>.
- [4] Chacra, L.A.; Sabri, M.A. Ibrahim, T.H.; Khamis, M.I.; Hamdan, N.M.; Al-Asheh, S.; AlRefai, M.; Fernandez, C. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, 3018-3033, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.060>.
- [5] Fard, A.K.; Rhadfi, T.; McKay, G.; Al-marri, M.; Abdala, A.; Hilal, N.; Hussien, M.A. *Chemical Engineering Journal*, 293, 90-101, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.02.040>.
- [6] Adewoye, T.L.; Ogunleye, O.O.; Abdulkareem, A.S.; Salawudeen, T.O.; Tijani, J.O. *Heliyon*, 7, 2021.
- [7] Albatrni, H.; Qiblawey, H.; Almomani, F.; Adham, S. *Chemosphere*, 233, 809-817, 2019.
- [8] Khader, E.H.; Mohammed, T.J.; Mirghaffari, N.; Salman, A.D.; Juzsakova, T.; Abdullah, T.A. *Clean Tec. Env. Policy*, 24, 713–720, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02159-z>.
- [9] Hendges, L.T.; Costa, T.C.; Temochko, B.; González, S.Y.G.; Mazur, L.P.; Marinho, B.A.; Silva, A.; Weschenfelder, S.E.; Souza, A.A.U.; Souza, S.M.A.G.U. *Process Safety and Environ. Protection*, 145, 262-272, 2021.
- [10] Diraki, A.; Mackey, H.R.; McKay, G.; Abdala, A. *Journal of Env. Chem. Eng.*, 7, 2019.
- [11] Jang, Y.; Chung, E. *Chemosphere*, 221, 75-80, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.032>.
- [12] Fallah, Z.; Roberts, E.P.L. *Chemosphere*, 230, 596-605, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.224>.

## *Recuperação Contínua de Óleos Derramados em Água do Mar através de Membranas de Poliuretano Pós-Consumo Hidrofobizadas*

*Isadora C. B. Nascimento\**; *Keslei R. Rocha*; *Oswaldo Chiavone-Filho*; *Humberto N. M. Oliveira*  
*Laboratório Tecnologia Supercrítica Aplicada a Produtos Naturais e Produção de Biodiesel - Departamento de Engenharia Química (UFRN)*  
*\*isadoracrisbnascimento@gmail.com*

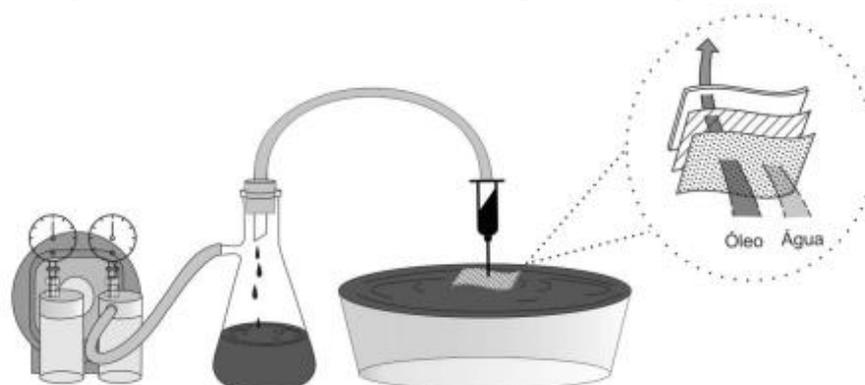
### **Introdução**

Óleos derramados no mar devem ser contidos e removidos com a maior agilidade e eficiência possível para evitar que sejam dispersos pelas ondas e cheguem a recifes, corais e aos litorais. Pesquisas diversas<sup>1,2,3</sup> vêm sendo conduzidas propondo diferentes métodos de remoção de óleos derramados em água do mar. Dentre elas está a sorção em polímeros altamente porosos como o poliuretano, por exemplo<sup>3</sup>. Um bom adsorvente deve apresentar seletividade para o adsorvato, ou seja, deve preferencialmente recuperar o fluido que se quer remover da mistura de fluidos. Em um derramamento de óleo no mar, o adsorvente deverá remover o máximo de óleo (adsorvato) e o mínimo possível de água. Espumas de poliuretano flexíveis e semiflexíveis são altamente 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. Após o findar da sua vida útil, espumas de poliuretano proveniente principalmente de colchões podem ser vistas descartadas ao longo das cidades assim como em aterros sanitários. É fundamental a condução de pesquisas que possam dar valor às espumas pós-consumo como forma de reduzir seu impacto ambiental e colaborar com uma política ESG (*Environmental, Social and Governance*). Neste estudo, modificações superficiais em espumas de poliuretano pós-consumo foram realizadas para aumentar sua seletividade por óleos em detrimento da água do mar. As espumas hidrofobizadas foram utilizadas como membrana filtrante em um sistema contínuo para promover a recuperação de óleos derramados em água.

### **Metodologia**

Espumas de poliuretano pós-consumo de densidade  $23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  obtidas a partir de descarte irregular foram lavadas com etanol 70% e cortadas em cubos com aproximadamente  $1 \text{ cm}^3$ . Enxerto com óxido de zinco (ZnO) foi realizado seguindo o trabalho de Li et al. (2015)<sup>3</sup>. O teste de sorção consistiu no uso da espuma modificada como membrana filtrante no sistema água do mar:diesel utilizando o aparato ilustrado na Figura 1. O volume inicial do teste foi 280 mL de água do mar e 20 mL de diesel (viscosidade  $\sim 5 \text{ cSt}$  a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  no teste ASTM 445). A influência do funcionamento da bomba (ligada/desligada) e a exposição da membrana (suspensa/submersa) foram os fatores avaliados na eficiência de remoção do óleo. Todos os dados foram obtidos a partir de triplicata.

Figura 1. Aparato de sorção contínua usando membrana de poliuretano pós-consumo enxertada com ZnO



Fonte: Autor (2023).

## Resultados e Discussão

Três condições foram avaliadas para remoção de diesel derramado em água do mar por meio do aparato da Figura 1. Na primeira delas, a sucção promovida pela bomba foi mantida operante durante todo o processo. Ademais, a membrana de poliuretano pós-consumo hidrofobizada com óxido de zinco (ZnO-PC) foi mantida parcialmente submersa ( $\frac{1}{2}$ ) na interface água do mar:diesel durante todo o processo. A pressão máxima de vácuo foi de 490 mmHg, a temperatura 23 °C e a viscosidade do óleo diesel  $3,6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . A capacidade de recuperação dos fluidos sorvidos na membrana por meio da bomba (vazão) foi de  $0,3 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  para uma membrana de  $1 \text{ cm}^3$ . Na segunda condição, a temperatura, pressão máxima de vácuo e densidade do diesel foram idênticas à primeira condição. A membrana ZnO-PC foi mantida parcialmente submersa ( $\frac{1}{2}$ ) durante todo o processo, mas a bomba foi ligada apenas após a saturação da membrana com óleo diesel. A capacidade de recuperação dos fluidos sorvidos na membrana por meio da bomba (vazão) foi de  $0,1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  para uma membrana de  $1 \text{ cm}^3$ . Na terceira condição (assim como na primeira e segunda), a pressão máxima de vácuo foi de 490 mmHg, a temperatura do sistema 23 °C e a viscosidade do óleo diesel  $3,6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . A membrana ZnO-PC foi mantida submersa até saturação com diesel. Em seguida, esta foi suspensa fora da interface água do mar:diesel. Durante a submersão e saturação da membrana, a bomba foi mantida desligada. Após suspensão da membrana, a bomba foi ligada para succionar os fluidos sorvidos nos poros e superfícies da membrana e sua capacidade de recuperação (vazão) foi de  $0,05 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  para uma membrana de  $1 \text{ cm}^3$ . A capacidade de recuperação de óleo decaiu com a mudança no funcionamento da bomba de sucção. Enquanto na primeira condição a bomba funcionou de forma constante, na segunda condição a sucção foi iniciada apenas após saturação da membrana (ainda em contato com a interface líquida). Já na terceira condição, a bomba succionou apenas os fluidos sorvidos na membrana, pois esta não mantinha mais contato com a interface líquida do sistema. Desta forma, embora a capacidade de recuperação dos fluidos (*i.e.* vazão da bomba) tenha sido reduzida devido à queda no tempo de uso da sucção, houve um expressivo aumento na seletividade da membrana com relação à separação do diesel da água do mar. As proporções de água do mar e diesel sorvidos para a 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> condições foram 60% e 40%, 40% e 60%, 20% e 80%, respectivamente. As forças intermoleculares hidrofobizantes que o enxerto com as hastes de ZnO proporcionam às membranas de poliuretano pós-consumo são mais fracas que a força de sucção da bomba. Ao ligar a bomba com a membrana ainda parcialmente submersa, a força de arraste da bomba sobrepõe as forças intermoleculares na membrana praticamente anulando-as. Ao permitir que tais forças atuem sem a oposição da bomba, como ocorreu na terceira condição, a seletividade se sobressai e alcança resultados em eficiência similares ao observados para métodos tradicionalmente utilizados nos *oil spills* atualmente<sup>1,2</sup>.

## Conclusão

As membranas produzidas a partir de espumas de poliuretano pós-consumo e modificadas com hastes de ZnO se mostraram eficientes na separação de diesel em sistemas água do mar:diesel. Para separação contínua de diesel derramado em água do mar através de sucção/bombeamento utilizando esta membrana filtrante, o adequado balanço entre a força de sucção e as forças intermoleculares é crucial para evitar que se contraponham.

## Referências Bibliográficas

- [1] AN, W., ZHANG, Q., ZHAO, J., QU, L., LIU, S. YANG, M., XU, J. Mechanism Investigation on a Novel Oil Recovery Skimmer Coupling Free Surface Vortex and Cyclone Separation. ACS Omega, v. 6, n. 31, p. 20483-20491, 2021.
- [2] MCKINNEY, K., CAPLIS, J., DEVITIS, D., DYKE, K. V. Evaluation of oleophilic skimmer performance in diminishing oil slick thicknesses. International Oil Spill Conference Proceedings. v. 1, n. 1, p. 1366–1381, 2017.
- [3] 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.

## *Argilas Organofílicas para Remoção de Ácidos Naftênicos, Fenol e Naftaleno Visando a Remediação de Águas Subterrâneas por Barreiras Reativas Permeáveis*

*Matheus H. P. Souza\*<sup>†</sup>; Rayanne M. A. Viegas; Osvaldo Chivovone-Filho*

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

*\*matheushenrps@gmail.com*

### **Introdução**

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) constituem uma classe de micropoluentes orgânicos que possuem dois ou mais anéis aromáticos em sua estrutura, sendo formados sobretudo pela atividade antropogênica, em especial associada à indústria petrolífera, contribuindo para a contaminação de águas subterrâneas [1]. Paralelamente, os ácidos naftênicos e o fenol são um dos poluentes orgânicos provenientes do petróleo mais comuns destes corpos hídricos, sendo detectados em diversas matrizes ao redor do mundo [2]. Esses contaminantes, quando encontrados em concentrações aquosas muito acima dos níveis seguros estabelecidos, oferecem grandes riscos para o meio ambiente e para a saúde humana, uma vez que são altamente tóxicos, carcinogênicos e mutagênicos. Além dos impactos adversos, sua alta estabilidade química os faz compostos extremamente persistentes [3], dificultando sua remoção pelos meios convencionais, e assim tornando-se necessário substituí-los por vias alternativas, como a adsorção. Atualmente, uma das técnicas de tratamento *in-situ* de águas subterrâneas contaminadas por meio de processos de adsorção são instalações de barreiras reativas permeáveis (BRPs), que atuam na retenção de plumas de contaminação. Estudos indicam que as BRPs são bem eficientes na remoção de uma ampla variedade de contaminantes (incluindo compostos aromáticos), além de ser uma tecnologia de baixo custo de manutenção e alta longevidade [4, 5]. Entre a variedade de adsorventes implementados nessas barreiras destacam-se o carvão ativado, o biochar, zeólitas e argilas organofílicas. Dessa forma, esse trabalho tem como foco a utilização de argilas modificadas a partir de reações de surfactantes catiônicos com a bentonita natural, tendo em vista sua grande disponibilidade na natureza, aliada ao seu baixo custo [6], em especial a argila organofílica comercial *Spectrogel*® tipo-C. Diferentes estudos realizados com esta argila organofílica comercial demonstram o seu potencial de adsorção em soluções aquosas de hidrocarbonetos e poluentes orgânicos persistentes [7-9], indicando que ela possa ser utilizada para remoção de contaminantes do petróleo. Portanto, o objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho do adsorvente comercial (*Spectrogel*® tipo-C) em comparação com argilas organofílicas sintetizadas, propondo a remoção de ácidos naftênicos, fenol e naftaleno como contaminantes de águas subterrâneas, por meio da adsorção.

### **Metodologia**

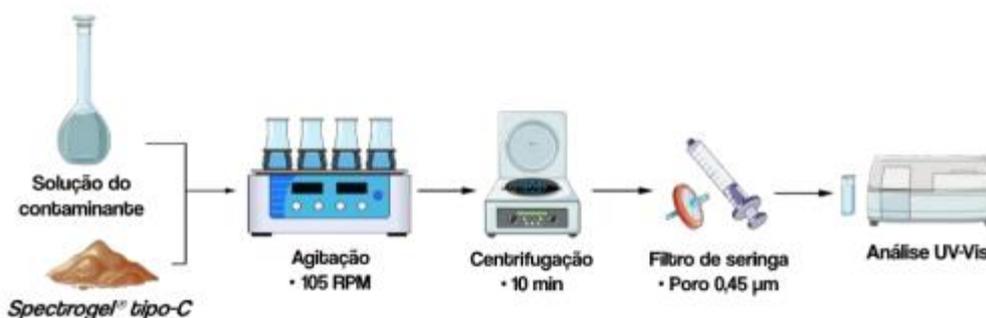
As atividades a serem realizadas por esse estudo devem seguir um cronograma dividido nas etapas de: i) revisão bibliográfica: estudo da literatura nos principais tópicos; ii) caracterização da *Spectrogel*® tipo-C: antes e após a sorção dos contaminantes; iii) experimentos de adsorção em batelada: avaliação individual da sorção de cada contaminante; iv) experimentos de adsorção em coluna: dimensionamento de testes em coluna com bomba peristáltica e coletora automática para obtenção das curvas de ruptura e avaliação da sorção dos contaminantes em sistema dinâmico (simulação do tratamento por BRP). Os métodos de análise que serão utilizados serão o TOC (carbono orgânico total), cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), e espectrofotometria no ultravioleta visível (UV-Vis).

### **Resultados e Discussão**

Com base nos resultados de estudos anteriores realizados com argilas modificadas, especialmente a *Spectrogel*® tipo-C, espera-se que o seguinte trabalho forneça resultados favoráveis para a remoção de fenol e naftaleno em soluções aquosas por meio da adsorção por argilas organofílicas, e que os resultados obtidos possam ser perpetuados para

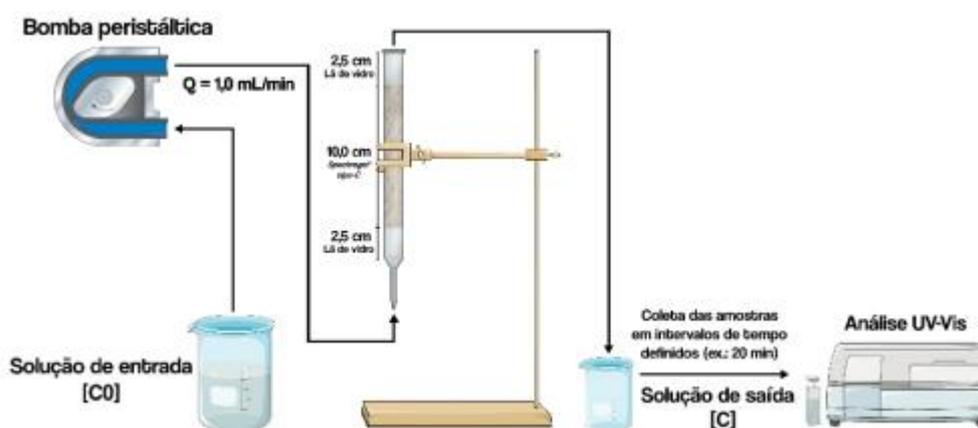
simulações e/ou aplicações em barreiras reativas permeáveis (BRPs), contribuindo, dessa forma, para um maior controle desses contaminantes em águas subterrâneas.

Figura 1. Ensaio genérico de adsorção em batelada



Fonte: Autor (2023).

Figura 2. Ensaio genérico de adsorção em coluna



Fonte: Autor (2023).

## Referências Bibliográficas

- [1] VARJANI, Sunita J et al. Energy, Environment, And Sustainability, [S.L.], p. 185-199, 2 dez. 2017. Springer Singapore. [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-7413-4\\_9](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-7413-4_9)
- [2] DUAN, Weiyan et al. Ecotoxicology And Environmental Safety, [S.L.], v. 157, p. 441-456, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.089>
- [3] PATEL, Avani Bharatkumar et al. Frontiers In Microbiology, [S.L.], v. 11, p. 1-23, 5 nov. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2020.562813>
- [4] THAKUR, Alok Kumar et al. Environmental Technology & Innovation, [S.L.], v. 19, p. 100917, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2020.100917>
- [5] LIU, Cuicui et al. Journal Of Hazardous Materials, [S.L.], v. 368, p. 444-451, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.01.069>
- [6] FERNANDES, Elaine Ferreira dos Santos et al. Research, Society And Development, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 1-16, 21 jan. 2023. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i2.39917>
- [7] SPERIDIÃO, D.D.C.A. et al. Materials Science Forum, [S.L.], v. 798-799, p. 558-563, jun. 2014. Trans Tech Publications, Ltd.. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.798-799.558>
- [8] LIMA, Letícia F et al. Industrial & Engineering Chemistry Research, [S.L.], v. 56, n. 21, p. 6326-6336, 17 maio 2017. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.7b00173>
- [9] FARIAS, M.B. de et al. Powder Technology, [S.L.], v. 395, p. 695-707, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2021.10.021>

***Solubilidade do Carbonato de Cálcio em Meio Aquoso na Ausência de Dióxido de Carbono***

***Ednoelma da S. Sousa\*; Éntony D. Dantas; Fedra A.V. Ferreira; Osvaldo Chiavone-Filho***

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

***\*ednoelma.sousa.098@ufrn.edu.br***

**Introdução**

Compreender a solubilidade do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) é de extrema importância para a indústria de petróleo, pois contribui para a redução de problemas e melhoria no desempenho operacional relacionados à produção. O carbonato de cálcio é um sal com baixa solubilidade que pode causar incrustações nas tubulações, assim como os hidratos de gás, que são sólidos cristalinos formados em condições favoráveis, como as baixas temperaturas e altas pressões encontradas nos poços de petróleo. O monoetilenoglicol (MEG) atua como um inibidor termodinâmico, impedindo a formação de hidratos de gás, o que favorece a produção e garante a viabilidade operacional do sistema. No entanto, quando o MEG entra em contato com os íons presentes na água de formação, ocorre uma diminuição na solubilidade dos sais, como o  $\text{CaCO}_3$ , o que facilita o processo de precipitação e resulta em incrustações nas tubulações.

**Metodologia**

O procedimento experimental consiste em adicionar a quatro células de equilíbrio sal de carbonato em excesso e água deionizada, previamente aquecida até a fervura e borbulhada com nitrogênio para remoção do dióxido de carbono presente. O banho termostático é ligado antecipadamente para estabilização. Após as pesagens das amostras de carbonato de cálcio e água nitrogenada para cada célula, a solução  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  é homogeneizada e adicionada as células de equilíbrio. A temperatura é predefinida no banho termostático de acordo com as condições operacionais requeridas (5, 15, 25 e 50 °C), e as amostras são mantidas sob agitação durante 24 horas para garantir a solubilização do carbonato.

Figura 1. Sistema de células de equilíbrio ligadas ao banho termostático.



Fonte: Autor (2023).

Em cada ensaio, foram coletadas alíquotas de 30 mL de cada célula de equilíbrio com o uso de uma seringa, agulha cirúrgica e filtro de 0,46  $\mu\text{m}$  para análises de pH, densidade e solubilidade do carbonato de cálcio por volumetria de complexação com solução padrão de EDTA.

## Resultados e Discussão

A solubilidade do carbonato de cálcio foi analisada sob os parâmetros de temperatura, densidade e pH. É possível notar na Tabela 1 a diminuição da solubilidade do  $\text{CaCO}_3$  à medida que a temperatura aumenta, esse era um resultado esperado conforme os dados de referência da literatura. Analisando a densidade, nota-se também uma diminuição da solubilidade do carbonato de cálcio. Em relação ao pH, observa-se uma pequena dispersão dos dados para as mesmas concentrações de  $\text{CaCO}_3$ , isso pode ter acontecido em consequência da entrada de  $\text{CO}_2$  no sistema, diminuindo a solubilização do carbonato, ou devido incertezas relacionadas a calibração do instrumento de medição.

Tabela 1. Dados de equilíbrio para o sistema  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Temperatura (K)	Solubilidade (ppm)	pH	Densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
323,15	33,12	9,40	0,9971
298,15	37,22	9,80	0,9972
288,15	42,26	10,01	0,9971
278,15	42,89	9,52	0,9971

Fonte: Autor (2023).

## Conclusão

Os resultados obtidos são consistentes com os dados encontrados na literatura, que afirmam que a dissolução do carbonato de cálcio é impulsionada pela formação de íons bicarbonato e carbonato na presença de dióxido de carbono. Na ausência desse gás, a reação de dissolução se torna menos favorecida e a solubilidade diminui. Essas descobertas são relevantes para a compreensão dos processos de dissolução e precipitação do carbonato de cálcio em diferentes ambientes, como em águas subterrâneas, oceanos e sistemas aquáticos. Além disso, essas informações podem ter aplicações práticas em setores como a indústria de petróleo e tratamento de águas, onde o controle da solubilidade do carbonato de cálcio é de grande importância.

## Referências Bibliográficas

- [1] SANTOS, O. L. A. Segurança de poço em lâminas de água ultraprofundas. I Encontro Nacional de Hidráulica de Perfuração e Completação de Poços de Petróleo e Gás, Anais. Domingos Martins-ES, 2006.
- [2] TOHIDI, Bahaman. Advances in avoiding gas hydrate problems – Institute of Petroleum Engineering. Heriot Watt University, USA, 2014.
- [3] AMARAL FILHO, J. H. B.; FAÇANHA, F.; MATA, L. D.; LEÃO CRAIG, A. P.; SARDENHA, C.; SANTANA, A.P. S. C. A utilização do monoetilenoglicol como agente inibidor da formação de hidratos aplicados na indústria do petróleo. Engenharia de Petróleo – Universidade Tiradentes, Aracaju, 2016.
- [4] ANDRADE, D. C. Solubilidades dos carbonatos de cálcio, estrôncio e ferro em condições de interesse do processo de regeneração do monoetilenoglicol. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018.