



XXIII Workshop do PRH14/44 em Petróleo, Gás e Biocombustíveis

19 e 20 de fevereiro de 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE



# LIVRO DE RESUMOS

## Sumário

DETERMINAÇÃO DO EQUILÍBRIO DE FASES EM SISTEMAS SINTÉTICOS E AMOSTRAS DE PETRÓLEO, NA PRESENÇA DE CO <sub>2</sub> , USANDO UM MÉTODO SINTÉTICO NÃO VISUAL.....	3
TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA USANDO SISTEMAS DE MICROEMULSÃO PARA REMOÇÃO DE ÓLEO .....	5
DESENVOLVIMENTO DE UM DINAMÔMETRO HÍBRIDO APLICADO AO 4º EIXO DE UM CENTRO DE USINAGEM .....	7
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CALIBRAÇÃO DE DINAMÔMETROS APLICADOS AO SETOR DE PETRÓLEO E GÁS .....	9
ANÁLISE DE UM DINAMÔMETRO BASEADO EM CÉLULAS DE CARGA EXTENSOMÉTRICAS PARA MEDIÇÃO DAS COMPONENTES DA FORÇA DE USINAGEM NO TORNEAMENTO ORTOGONAL .....	11
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO SEM FIO PARA UM DINAMÔMETRO UNIAXIAL COM APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO .....	13
DESENVOLVIMENTO DE UMA GARRA MECÂNICA DE TRÊS DEDOS PARA ACOPLAMENTO EM MANIPULADORES MECÂNICOS.....	15
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO DESGASTE DA FERRAMENTA NA INDUÇÃO DE TENSÕES RESIDUAIS NO FRESAMENTO DO AÇO AISI 4340.....	17
ENSAIOS DE TRATABILIDADE DE SOLOS CONTAMINADOS COM CREOSOTO APLICANDO CATÁLISE HETEROGÊNEA EM PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO.....	19
REMOÇÃO DE REBOCO DE FLUIDO DE PERFURAÇÃO UTILIZANDO COLCHÃO LAVADOR A BASE DE ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO .....	21
INTERPOLAÇÃO DE FOURIER MULTIDIMENSIONAL APLICADA A DADOS SÍSMICOS.....	23
ESPARSOS E SINTÉTICOS 2D .....	23
DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR USANDO LINGUAGEM VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS (VBA) PARA O DIMENSIONAMENTO DE BOMBA POR CAVIDADE PROGRESSIVA .....	25
EQUILÍBRIO LÍQUIDO-LÍQUIDO PARA EXTRAÇÃO DE FURFURAL DA ÁGUA USANDO DIFERENTES SOLVENTES E TEMPERATURAS NO SOFTWARE ASPEN PLUS.....	27
DESCRIPTION OF PHASE EQUILIBRIUM AND VOLUMETRIC PROPERTIES FOR CO <sub>2</sub> +WATER AND CO <sub>2</sub> +ETHANOL USING THE CPA EoS.....	29
PROJETO DE UNIDADE PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM PETRÓLEO USANDO FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E PROCESSO DE OXIDAÇÃO AVANÇADA.....	31

## RESUMO EXPANDIDO

### DETERMINAÇÃO DO EQUILÍBRIO DE FASES EM SISTEMAS SINTÉTICOS E AMOSTRAS DE PETRÓLEO, NA PRESENÇA DE CO<sub>2</sub>, USANDO UM MÉTODO SINTÉTICO NÃO VISUAL

Fedra Alexandra Vaquero Ferreira\*; Humberto Neves Maia de Oliveira, Osvaldo Chiovone-Filho  
\*fedravaquero@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

As condições extremas de pressão, temperatura e composição de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presentes nas jazidas do pré-sal são um desafio relacionado à exploração e produção destes reservatórios. A aplicação de dióxido de carbono em composições elevadas, na recuperação terciária de petróleo vem também ganhando expressão e novas pesquisas nesta área fazem-se necessárias para maior conhecimento do processo e condições ideais para a sua injeção. A presente pesquisa teve como objetivo a análise da variação de temperatura no seio da mistura como indicador da transição de fases, num processo supostamente isotérmico, ao longo dos experimentos de equilíbrio de ponto de bolha, com amostras sintéticas (esqualano) e amostras reais de petróleo com dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

## METODOLOGIA

Usando uma célula de equilíbrio, foi usado um método sintético não visual para determinação do ponto de bolha que é também denominado de método da câmara de expansão. Este método consiste no registro, a um período de tempo pré-determinado, para cada valor de pressão, do volume correspondente da célula assinalado pela bomba seringa que corresponde ao volume ocupado pela amostra estudada durante o processo de depressurização a cada tempo determinado. A temperatura foi registrada pois a sua variação é também um indicativo da mudança de fase, dado que o sistema trabalha isotermicamente. Um gráfico de pressão versus volume da câmara, apresenta dois comportamentos diferentes. Este método é particularmente importante nas amostras de petróleo, uma vez que estas não são translúcidas.

## RESULTADOS

A figura 1 apresenta o comportamento da pressão na célula versus a expansão da câmara. O experimento foi efetuado para o sistema sintético nas composições de 50% de CO<sub>2</sub> e 50 % de esqualano e para a amostra real de petróleo nas composições de 50% de CO<sub>2</sub> e 50% de petróleo leve (PL). A Figura 2 apresenta a variação de temperatura ocorrida quando a mudança de fase do sistema. O abaixamento da temperatura no momento do aparecimento da primeira bolha de vapor é um fenômeno endotérmico, isto é, o sistema retira calor ao meio para que se dê a mudança de fase.

## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Os experimentos com amostras sintéticas translúcidas e amostras reais de petróleo permitiram-nos concluir que o método não visual é preciso e pode ser usado no caso de amostras não translúcidas, como é o caso de amostras de petróleo. A variação de temperatura durante o experimento, sendo este isotérmico, é um indicador da mudança de fase, a variação é de aproximadamente 1°C – 1,5 °C e demonstra a necessidade do sistema retirar calor ao meio para que se dê mudança de fase sendo, por isso, um processo endotérmico.

Figura 1. Aplicação do método sintético não-visual para determinação da mudança de fase via volume molar para os sistemas  $\text{CO}_2 + \text{C}_{30}\text{H}_{62}$  (esquerda) e  $\text{CO}_2 + \text{petróleo leve}$  (direita).

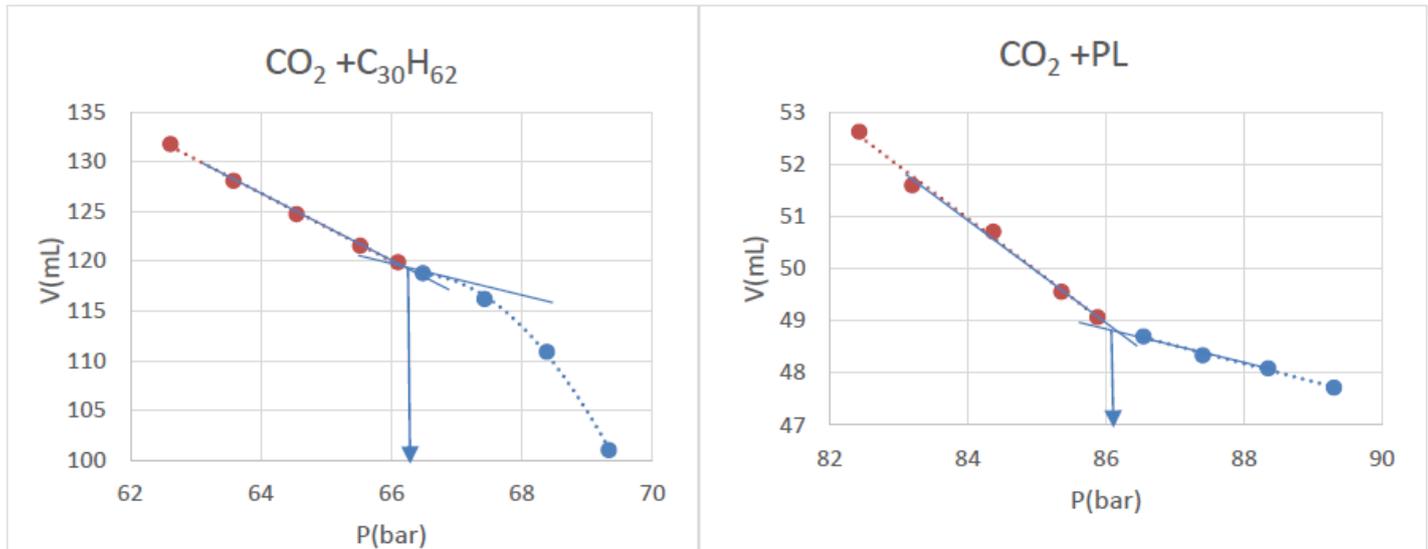
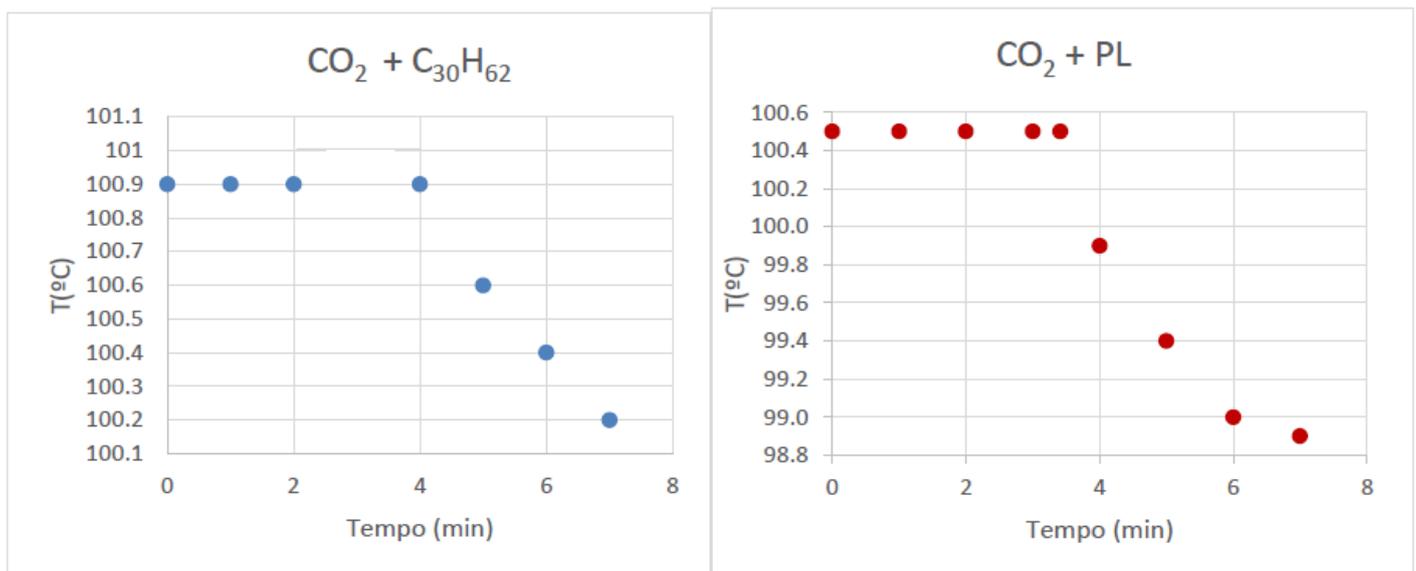


Figura 2. Análise da temperatura durante o experimento da mudança de fase para os sistemas  $\text{CO}_2 + \text{C}_{30}\text{H}_{62}$  (esquerda) e  $\text{CO}_2 + \text{PL}$  (direita).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DANESH, A. PVT and Phase Behaviour of Petroleum Reservoir Fluids. 1st. ed. Amsterdam: Elsevier, 1998.  
[2] DOHRN, R.; BRUNNER, G. High-pressure fluid-phase equilibria: Experimental methods and systems investigated (1988-1993). Fluid Phase Equilibria, v. 106, p. 213–282, 1995.

## RESUMO EXPANDIDO

### TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA USANDO SISTEMAS DE MICROEMULSÃO PARA REMOÇÃO DE ÓLEO

Dennys Correia da Silva\*; Carolina Rayanne Barbosa de Araújo; Afonso Avelino Dantas Neto; Tereza Neuma de Castro Dantas  
\*dennys.silva19@gmail.com

### INTRODUÇÃO

Durante a extração de petróleo do reservatório, um efluente aquoso, água produzida (AP), é formado. Seu volume excede a produção de hidrocarbonetos e compreende água conata, produtos químicos e água injetada [1]. Após o tratamento, aproximadamente 90% do volume da água produzida é injetado novamente no reservatório ou descartado em corpos d'água. No entanto, a injeção em reservatórios profundos é cara e pode levar a eventos sísmicos [2]. Embora o tratamento AP seja tecnicamente promissor e viável, as tecnologias de ponta têm altos custos operacionais ou capacidade limitada para remover elementos dispersos [3]. Nas últimas décadas, a indústria do petróleo deu grande ênfase ao estudo de tensoativos e sistemas de microemulsão (MES), especialmente no que se refere à sua utilização na produção de petróleo e tratamento de resíduos sólidos e líquidos.

Nesta pesquisa, novos sistemas de microemulsão (SME) foram desenvolvidos como um método alternativo para remover o óleo disperso da água produzida (AP). Sua principal vantagem, quando comparada ao método de flotação, é a ausência de geração de resíduos sólidos. Os tensoativos utilizados nos sistemas eram desemulsificantes comerciais não-iônicos empregados na indústria petrolífera. Um modelo de mistura de Scheffé foi utilizado para realizar os experimentos em diferentes proporções de massa.

### METODOLOGIA

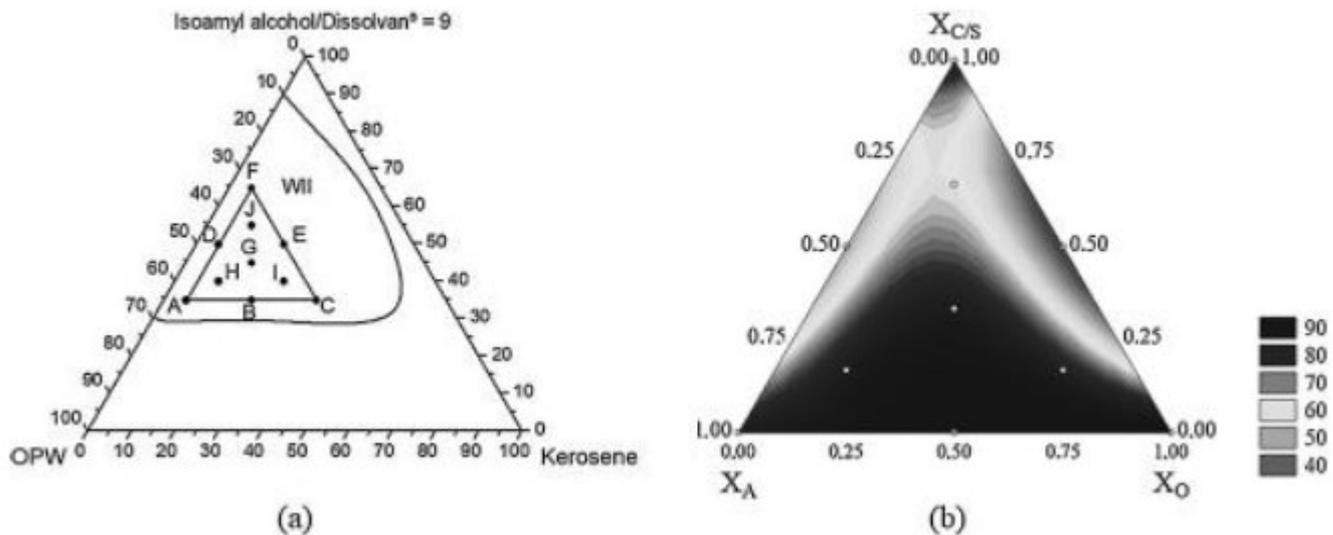
Um SME foi utilizado neste estudo e formulado com os seguintes componentes: fase aquosa (XFA): água produzida oleosa sintética (APO); fase oleosa (XFO): querosene de aviação; e fase da matéria ativa (XC/T) em uma relação constante de  $C / T = 9$ . Os autores usaram desemulsificante comerciais Lipesa 1393® (Clariant) como tensoativo (T) e o álcool isoamílico PA (2-Pentanol) (Vetec, 98,5%) foi utilizado como cotensoativo (C). A região Winsor II foi escolhida para remover o óleo da APO. Uma metodologia de titulação volumétrica foi usada para obter áreas Winsor II (WII) nos diagramas de fase pseudo-ternária. Para realizar a remoção de óleo de uma APO sintética, 10 pontos dentro da área de WII foram obtidos de acordo com um projeto experimental (modelo de mistura de Scheffé). As variáveis líquidas de Scheffé avaliadas em eficiência de remoção de óleo (%ER) foram: XFA (g), XFO (g) e XC/T (g). Os testes foram feitos em duplicata e as eficiências de remoção de óleo (%ER) foram calculadas.

O software StatSoft STATISTICA® 7.0 foi utilizado para o cálculo dos efeitos estimados, análise de variância e determinação das superfícies de resposta.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área WII dentro dos diagramas de fase pseudo-ternária é mostrada na Figura 1(a) e a superfície de resposta na Figura 1(b). Essas figuras também apresentam a rede de Scheffé (A – J) que foi colocada próxima ao lado rico em água do diagrama pseudo-ternário.

Figura 1. Diagramas de fases pseudo-ternária (a) e superfície de resposta (b) para o sistema: fase aquosa (XA): água produzida oleosa sintética (OPW); fase oleosa (XO): querosene de aviação; e fase da matéria ativa (XC/S) em uma relação constante de C/S = 9.



O ponto F apresentou o mais baixo %ER. O tensoativo utilizado tinha forte caráter hidrofílico, o que permitiu que o excesso de tensoativo migrasse para a fase aquosa. Com a migração do tensoativo para a fase aquosa, ocorreu a formação de agregados micelares (micelas diretas), aprisionando as gotículas de óleo no interior e impedindo a migração dessas gotículas para a fase de microemulsão. O ponto A (60% em peso de XFA, 5% em peso de XFO e 35% em peso de XC/T) é o sistema de microemulsão ideal devido ao alto conteúdo da fase aquosa em sua composição.

## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

A metodologia de tratamento por microemulsão (SME) desenvolvida neste trabalho é uma tecnologia promissora para o tratamento de resíduos de petróleo, uma vez que não gera resíduos sólidos.

A recuperação da fase oleosa do resíduo líquido é possível usando um sistema Winsor I. Ao reduzir a temperatura, a fase oleosa da microemulsão rica em óleo é liberada formando uma fase oleosa em excesso. Esta é uma etapa posterior do nosso estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Neff, J; Lee, K.; De Blois, E. M. Produced Water: overview of composition, fates, and effects. Produced Water, Springer: New York, p. 3-54, 2011.
- [2] Fakharian, H.; Ganji, H.; Naderifar, A. Saline produced water treatment using gas hydrates. J. Environ. Chem. Eng., 5, p. 4269-4273, 2017.
- [3] Fakhru'l-Razi, A.; Pendashteh, A.; Abdullah, L. C.; Biak, D. R. A.; Madaeni, S. S.; Abidin., Z. Z. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. J. Hazard. Mater., 170, p. 530-551, 2009.

## RESUMO EXPANDIDO

### DESENVOLVIMENTO DE UM DINAMÔMETRO HÍBRIDO APLICADO AO 4º EIXO DE UM CENTRO DE USINAGEM

Dávila Moreira Lopes Silva\*; Adilson José de Oliveira; Jefferson Igor Duarte Silva  
\*davilamlopes@ufrn.edu.br

### INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo dar continuidade ao desenvolvimento de um dinamômetro extensométrico híbrido, iniciado por Alves (2017), por meio da realização de otimizações do projeto conceitual; da construção; da montagem e da calibração deste dispositivo, capaz de medir força axial e torque e montado ao 4º eixo de um centro de usinagem. Essa tecnologia é aplicável à indústria do petróleo, tendo em vista a importância da compreensão dos carregamentos envolvidos na usinagem de componentes mecânicos complexos.

### METODOLOGIA

Este tópico descreve sucintamente os procedimentos, materiais e equipamentos utilizados nas principais etapas do desenvolvimento do dinamômetro extensométrico. Nesse sentido, para o desenvolvimento do projeto conceitual, para a realização análises de engenharia e para o planejamento de manufatura foi utilizado o software CREO *Parametric* 4.0 PTC (versão acadêmica) nas interfaces CAD, CAE e CAM, respectivamente, disponível no Laboratório de Manufatura da UFRN. A instrumentação dos elementos elásticos foi realizada conforme descrito pelo fabricante (HBM-*Instruction of Use*, 2018). Para avaliação das propriedades dinâmicas in loco foi utilizado um acelerômetro Brüel & Kjaer modelo 4520 conectado ao módulo NI 9234. Este montado no chassi NI Compact DAQ. A transmissão wireless será realizada por meio do uso de um microcontrolador arduino nano modelo ATmega 328P-AU associado ao módulo NRF-24L01. Este último módulo foi configurado para transmissão wireless. Em um computador, conectado via cabo USB a outro microcontrolador arduino nano ATmega 328P-AU e a outro módulo NRF-24L01 (configurado para recepção), os dados digitais dos carregamentos mecânicos são armazenados. Os programas de aquisição e processamento dos dados foram realizados utilizando-se do software *Labview* 2011, por meio da leitura da porta serial utilizando a função VISA do mesmo software.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1a é possível visualizar os principais componentes mecânicos do dispositivo e as principais entidades geométricas do projeto conceitual. Já na figura 1b são apresentados detalhes do sistema de fixação do material usinado; do sistema de proteção dos elementos elásticos; e do sistema de condicionamento, aquisição e transmissão de dados. As configurações de instrumentação são mostradas na figura 2a e 2b. Já as figuras 2c e 2d apresentam o modelo das posições em que os elementos elásticos foram montados na base inferior, sendo 1 e 2 regiões dos elementos elásticos instrumentados para medir força, já 3 e 4 para medir torque. Já a figura 2e apresenta o dispositivo montado ao 4º eixo do centro de usinagem ROMI D600.

Figura 1. a) Principais componentes mecânicos do dispositivo; b) Detalhes do sistema de fixação do material usinado; do sistema de proteção dos elementos elásticos; e do sistema de condicionamento, aquisição e transmissão de dados.

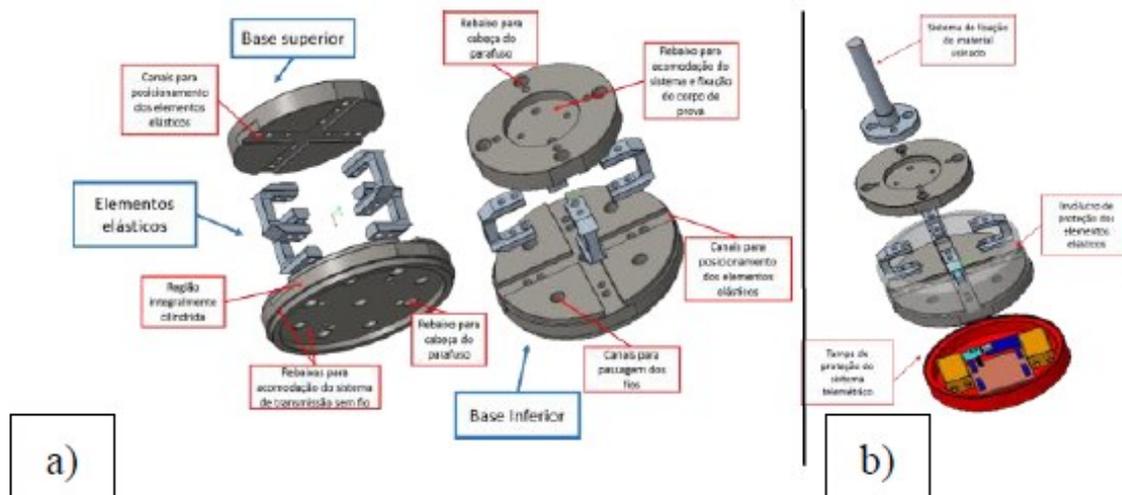
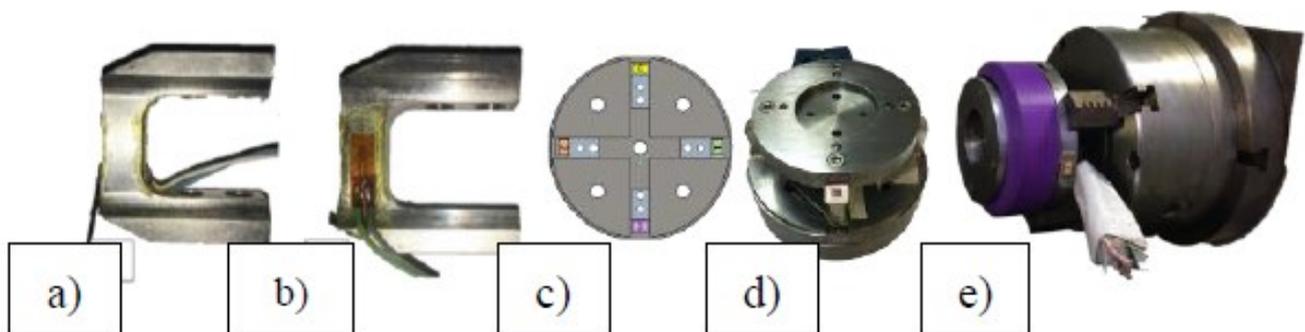


Figura 2. a) Resultado da instrumentação para força axial; b) Resultado para instrumentação para torque; c) Modelo das posições em que os elementos elásticos foram montados na base inferior; d) Montagem dos elementos elásticos; e) Dispositivo montado.



## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Uma revisão no projeto conceitual proposto foi realizada e otimizações geométricas foram implementadas nas bases; as análises de engenharia mostraram que o projeto conceitual desenvolvido é capaz suportar carregamentos de força axial até 1 kN e torque 30 Nm; a instrumentação dos elementos elásticos foi realizada adequadamente; o sistema de telemétrico proposto é capaz de transmitir a 400 Hz.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVES, C. Projeto de dinamômetro. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <Dávila Moreira Lopes Silva> em 09 de mar. 2018.  
[2] HBM. Instructions for Use - Rapid Adhesive Z70. Disponível em: <<http://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/hbmdoc/technical/a1653.pdf>>. Acesso em: 18 de abr. 2019

## RESUMO EXPANDIDO

### DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CALIBRAÇÃO DE DINAMÔMETROS APLICADOS AO SETOR DE PETRÓLEO E GÁS

Eloi Antonio Triaca\*; Adilson José de Oliveira  
\*eloiat3@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A extração e o processamento de petróleo e gás natural envolvem atividades nas quais é essencial que as estruturas e os componentes mecânicos empregados apliquem forças e, em consequência, também suportem carregamentos mecânicos. Assim, é necessário que transdutores sejam utilizados para medir essas cargas (BOWEN, 2005). Para isso, um dispositivo comumente utilizado é o dinamômetro, que pode ser empregado para medir carregamentos triaxiais e/ou torque. Os dinamômetros emitem uma resposta elétrica quando submetidos a um carregamento e, para que a correlação entre eles seja conhecida, eles devem passar por um procedimento de calibração. Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo o projeto e a construção de um dispositivo que permita a calibração nas duas componentes ortogonais horizontais de aplicação de força para dois dinamômetros desenvolvidos no Laboratório de Manufatura da UFRN (LOURENÇO, 2018; RIBEIRO, 2014). O projeto tem como foco a calibração dos carregamentos aplicados nas direções horizontais, pois, na direção vertical, a calibração é mais simplificada, já que, nela, as massas-padrão podem ser colocadas sobre o dinamômetro.

## METODOLOGIA

As atividades deste projeto são divididas em quatro etapas principais: a fundamentação teórica; o projeto conceitual do sistema mecânico; a criação de processos de manufatura, fabricação, análise dimensional e montagem do dispositivo; a aquisição e o processamento de dados.

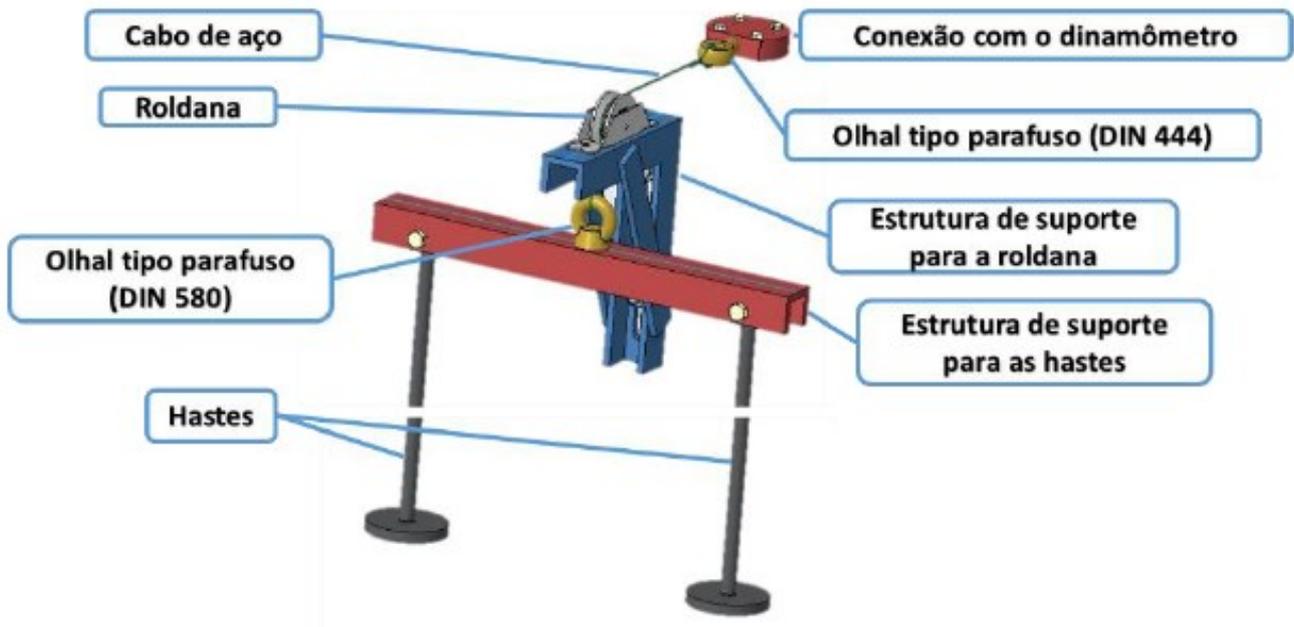
O projeto conceitual da estrutura foi desenvolvido utilizando o *software Creo Parametric 4.0*, de forma que três requisitos fossem atendidos: o sistema deve ter uma altura ajustável à dos dois dinamômetros que serão calibrados; o sistema de fixação deve ser compatível com ambos os dinamômetros; a estrutura deve conseguir suportar cargas de até 2 kN. Posteriormente, os componentes da estrutura serão fabricados e/ou comprados e, posteriormente, passarão por uma análise dimensional.

A caracterização e calibração dos dinamômetros será realizada de acordo com a norma ABNT NBR ISO 376:2012, que se refere à calibração de instrumentos de medição de força utilizados para verificação de máquinas de ensaio uniaxiais. Programas desenvolvidos na plataforma *LabView* serão utilizados nessa etapa. Em seguida, ensaios funcionais devem ser realizados com os dinamômetros a fim de validar os resultados obtidos com os procedimentos de caracterização e calibração.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura planejada para o sistema de calibração e os principais componentes que a constituem são mostrados na Figura 1. Além dos componentes apresentados na Figura 1, elementos de fixação como parafusos, porcas e abraçadeiras de cabo de aço também serão utilizados.

Figura 1. Dispositivo de calibração projetado.



Para a execução dos procedimentos de caracterização e calibração do dinamômetro, quatro programas foram desenvolvidos: um para o processamento de sinais da etapa de caracterização, um para o processamento desses sinais, um para a aquisição de dados da etapa de calibração, e um de processamento dos dados da calibração.

## COMENTÁRIOS FINAIS

Uma estrutura que permite a calibração de dinamômetros para carregamentos aplicados em sentidos horizontais, mediante a transmissão de um carregamento vertical produzido por massas-padrão, para um carregamento horizontal foi projetada baseada na fundamentação teórica realizada. Os procedimentos de caracterização e calibração dos dinamômetros, e de aquisição e processamento de dados já foram definidos de acordo com a norma ABNT NBR ISO 376:2012, e serão aplicados aos dinamômetros ao término da construção do dispositivo de calibração. Os programas que serão utilizados para a aquisição e processamento de dados já foram escritos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lourenço, M. A. M. “Projeto e construção de dinamômetro triaxial com múltiplos elementos elásticos”. Monografia de Graduação, UFRN, 2018. Disponível em: [http://www.nupeg.ufrn.br/teses\\_diss\\_g.html](http://www.nupeg.ufrn.br/teses_diss_g.html), acesso em 25 de outubro de 2019.
- [2] Ribeiro, K.S.B. “Construção de dinamômetro para avaliação de carregamentos na manufatura de componentes para a indústria do petróleo”. Monografia de Graduação, UFRN, 2014. Disponível em: [http://www.nupeg.ufrn.br/teses\\_diss\\_g.html](http://www.nupeg.ufrn.br/teses_diss_g.html), acesso em 25 de outubro de 2019.
- [3] ABNT. NBR ISO 376:2012: Materiais Metálicos – Calibração de máquinas de instrumentos de medição de força utilizados para a verificação de máquinas de ensaio uniaxiais. Rio de Janeiro. 2012.
- [4] Bowen, A. Load cell applications offshore. Measurement and Control, 38(6), p. 175–178, 2005.

## RESUMO EXPANDIDO

### ANÁLISE DE UM DINAMÔMETRO BASEADO EM CÉLULAS DE CARGA EXTENSOMÉTRICAS PARA MEDIÇÃO DAS COMPONENTES DA FORÇA DE USINAGEM NO TORNEAMENTO ORTOGONAL

Igor Maia Saraiva\*; Anderson Clayton Alves de Melo  
\*im.saraiva@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

A operação de usinagem consiste no processo de fabricação mais empregado atualmente na indústria metalmeccânica. Apresenta como intuito conferir à peça, dimensões e tolerâncias definidas, por meio da remoção de cavacos. Assim, o processo de torneamento ortogonal, em específico, é caracterizado pela interação entre a peça e a ferramenta, em que a aresta de corte é normal ao plano de trabalho e ao plano de referência. Quando há a interação, é produzida uma força de usinagem que pode ser decomposta em duas componentes: a força de corte, que age na direção do movimento de corte e a força de avanço, que age na direção do movimento de avanço. Dessa forma, o presente trabalho propõe o estudo dessas componentes a partir do uso de um dinamômetro baseado em células de carga extensométricas, instrumento capaz de acompanhar em tempo real as componentes. Uma vez comprovada a eficácia do equipamento, haveria o seu emprego em aulas de graduação e pós-graduação de Engenharia Mecânica para auxiliar no entendimento de como as forças de corte mudam à medida que alguns parâmetros são modificados, bem como aumentar a compreensão dos alunos sobre o processo de usinagem.

## METODOLOGIA

A simplificação empregada para o estudo (corte ortogonal) permite a avaliação e a análise de diversos fenômenos que ocorrem no processo de usinagem, a exemplo dos esforços envolvidos na remoção de material. Nessa abordagem, é perceptível que o desenvolvimento dessas forças tem influência em diversas variáveis associadas ao desempenho da operação, a exemplo do desgaste da ferramenta de corte e da rugosidade da superfície usinada. O presente trabalho prevê examinar e inspecionar como a interação entre ferramenta-peça-cavaco influencia nas componentes da força de usinagem, a partir da variação de parâmetros experimentais como a velocidade de avanço, condição de interface, profundidade de corte e o material a ser usinado. A captação dos sinais provenientes das células de carga ocorrerá através da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino. Trata-se de uma placa composta por um microcontrolador e circuitos de entrada/saída, que pode ser facilmente conectada a um computador através de ligação USB e programada via IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) utilizando uma linguagem baseada em C/C++. Ademais, o dinamômetro será calibrado estaticamente com o uso de massas-padrão e, para isso, o sistema será montado sobre uma base rígida. Finalmente, serão executados testes de usinagem em corpos de prova de polipropileno e alumínio, objetivando o estudo das componentes da força de usinagem com o uso do dinamômetro e a posterior utilização em aulas de graduação e pós-graduação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram realizados testes para avaliar a estabilidade do sistema. Para a realização dos testes foram utilizadas amostras similares de alumínio e polipropileno, sob baixas velocidades de rotação e avanço. Para ambos os casos, o dinamômetro apresentou instabilidades. Foi desenvolvido, então, um sistema de aperto a partir da inserção de parafusos laterais. Novamente testes foram realizados sob as mesmas condições e comprovou-se a estabilidade. Uma vez estável, era necessário testar o sinal enviado das células de carga. O sistema de aquisição de dados é composto por receptores dos terminais das células de carga, conectados ao módulo amplificador HX-711, que está conectado aos terminais de saída do microcontrolador. Todos os elementos foram soldados em

placa de circuito impresso, a fim de evitar interferências devido a ruídos, comuns em conexões pinadas. Em testes aplicando uma força na ferramenta de corte, em ambos as direções de corte e avanço, percebeu-se que o sinal é reconhecido, amplificado e traduzido em um valor de massa, que é apresentado em tempo real no Plotter Serial do IDE. É crucial analisar que devido ao fato de a etapa de calibração do equipamento ainda não ter sido finalizada, a confiabilidade desses valores é baixa, embora aparente tratar-se de valores coerentes com a força aplicada.

## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

O dinamômetro se encontra estável, bem como o sistema de aquisição de dados soldado em placa de circuito impressa opera com poucos ruídos, de maneira mais confiável do que caso estivesse pinada. Ademais, o código utilizado para a leitura e apresentação dos valores de medição da massa aplicada é funcional e, por fim, as leituras em tempo real já ocorrem e é possível acompanhar a variação de amplitude em função do tempo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Machado, A. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Da Silva, M. B. Teoria da Usinagem dos Materiais. 2a ed. São Paulo: Blucher, 2011. [2] Braga, I. I. S. Fabricação de um dinamômetro para medição de força no corte ortogonal. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Eng. Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, UFRN. Natal/RN, p. 40. 2019.

## RESUMO EXPANDIDO

### DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO SEM FIO PARA UM DINAMÔMETRO UNIAXIAL COM APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Lucas D. A. Batista\*; Adilson J. Oliveira; Jefferson I. D. Silva;  
\*lucasdabatista@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A medição de carregamento mecânico é utilizada para monitorar diversos aspectos na cadeia de produção de derivados do petróleo. As informações de forças advindas de bombas, tubulações, âncora de lama, dentre outros dispositivos utilizados pela indústria de petróleo, servem como diagnóstico do funcionamento adequado desses sistemas [1]. Desta forma, torna-se necessário monitorar esses sistemas em tempo real. Geralmente são utilizados cabos para a transmissão dos dados a partir dos transdutores, o que dificulta o uso em locais de medição em máquinas fechadas, como tubulações gasosas ou em ambientes insalubres. Este projeto objetiva o desenvolvimento de um sistema de transmissão de dados sem fio para um dinamômetro uniaxial, baseado em um modelo comercial para 100 N, que pode ser aplicado na indústria do petróleo. Os objetivos específicos são: projeto, manufatura e instrumentação do dinamômetro; definição de um sistema para transferência de dados sem fio; elaboração de programas e ensaios de caracterização e calibração; e testes funcionais.

## METODOLOGIA

Para a cumprir com o primeiro objetivo específico, um modelo de dinamômetro da HBM capaz de medir força axial de 10 a 100 N foi utilizado como referência. Em seguida, o dispositivo foi instrumentado com extensômetros, os quais foram associados em um circuito para o condicionamento do sinal. Tal associação foi feita baseada em uma Ponte de Wheatstone. Quanto ao sistema de transmissão de dados, dois módulos transmissores e dois microcontroladores foram utilizados. Como pré-requisitos, o sistema deve ser alimentado com corrente contínua e atender fenômenos com frequências inferiores a 80 Hz.

Utilizou-se o *LabVIEW* 2011 para a implementação dos programas empregados na caracterização e calibração do dispositivo. Eles são capazes de adquirir em tempo real e processar o sinal; gerar a curva de calibração; e comparar os valores reais e teóricos de carregamento aplicado.

Os ensaios de caracterização e calibração foram realizados utilizando uma haste de 6,67 N; 10 massas de 9,8 N; um computador com os programas; e o dispositivo com o sistema de transmissão. O sistema foi submetido a pré-cargas, conforme estabelecido pela norma ABNT NBR ISO 376:2012. As massas foram colocadas uma por vez, realizando ciclos de carregamento e descarregamento. Os programas foram utilizados e a caracterização e calibração foram efetuadas.

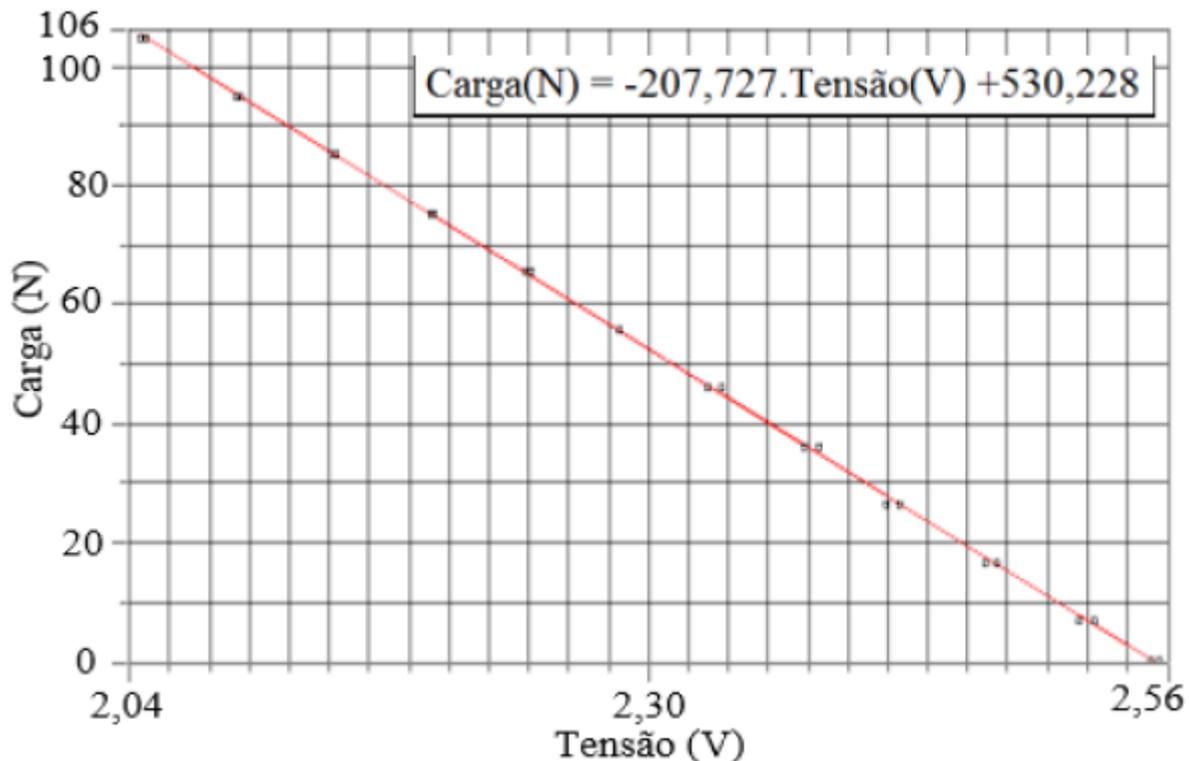
Para proteger os sistemas de condicionamento e transmissão do sinal, invólucros foram desenhados no *Creo Parametric 4.0 PTC* (versão estudante) e fabricados em seguida.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dispositivo foi fabricado, instrumentado e, o circuito de condicionamento do sinal foi implementado, sendo alimentado por duas baterias 9V de corrente contínua. Os microcontrolados (*Arduino nano ATmega328-AU*) foram associados aos módulos de transmissão (*NRF-24L01*) e foram devidamente programados para emitir e receber o sinal. O filamento utilizado na manufatura aditiva dos invólucros foi do tipo ABS (*Acrilonitrila Butadieno Estireno*). A curva de regressão linear obtida está ilustrada na Fig. 1. Nela, é possível perceber, no canto superior direito, a equação da regressão, que relaciona a tensão com a carga imposta. Conforme presente

na literatura, é perceptível ainda que a curva de calibração segue um padrão linear.

Figura 1. Curva de calibração obtida



## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Baseado nos resultados obtidos nesta pesquisa, pôde-se concluir que: o projeto conceitual, a manufatura e a instrumentação de um dinamômetro foram realizados conforme os requisitos estabelecidos neste trabalho; um sistema de transmissão sem fio foi desenvolvido e testado; programas de aquisição e processamento de rotinas de caracterização e de calibração do dinamômetro foram implementados; e ensaios foram realizados gerando a equação da curva de calibração desse dispositivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HUA, Liang; XUNMING, Li. Accurate extraction of valve opening and closing points based on the physical meaning of surface dynamometer card. Petroleum Exploration And Development. [S.l.], p. 109-115. fev. 2011.  
[2] ABNT NBR ISO 376:2012: Materiais Metálicos – Calibração de máquinas de instrumentos de medição de força utilizados para a verificação de máquinas de ensaios uniaxiais. Rio de Janeiro. 2012.

## RESUMO EXPANDIDO

### DESENVOLVIMENTO DE UMA GARRA MECÂNICA DE TRÊS DEDOS PARA ACOPLAMENTO EM MANIPULADORES MECÂNICOS

Luís Henrique Domingos do Nascimento\*; Adilson José de Oliveira;  
\*luisdomingos98@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A demanda por produtos derivados do petróleo necessita da exploração de novos campos para atendê-la, muitos dos quais estão em ambientes de condições extremas para o ser humano, como os campos offshore em águas ultra profundas. Nesse contexto, as operações subaquáticas requerem o uso de tecnologias que possibilitem a participação indireta do ser humano como os *Remotely Operated Vehicles* (ROV's) (SHUKLA, KARKI, 2016). Para a execução de operações como montagens, os ROV's precisam de um sistema de manipulação, comumente denominado braço robótico, em conjunto com uma garra mecânica. Esse primeiro promove a movimentação e orientação da garra mecânica. A garra mecânica é responsável pelo acoplamento entre objeto e manipulador durante a movimentação e, por vezes, necessita promover respostas ao sistema de controle com o auxílio de transdutores para um controle preciso e sensível na manipulação de objetos mais frágeis.

A eficiência de uma garra mecânica depende da força aplicada, do coeficiente de atrito entre as superfícies em contato e do tipo de contato: ponto, linha ou superfície. As garras são projetadas considerando a geometria a ser manuseada, para manusear objetos com formas irregulares são necessários, pelo menos, três pontos de contato e, em alguns casos, movimentos distintos entre as superfícies de contato da garra (denominada de “dedos”) e o objeto (KUTTA, 2010).

Este trabalho tem como objetivo o projeto e a manufatura de uma garra mecânica de três dedos para manipulação de objetos com formas irregulares utilizando um sistema de controle baseado em um *software* gráfico da plataforma *National Instruments* (NI). O acionamento da garra deverá prever a utilização de um sistema que permita o controle da força aplicada, o qual também será controlado pelo mesmo software.

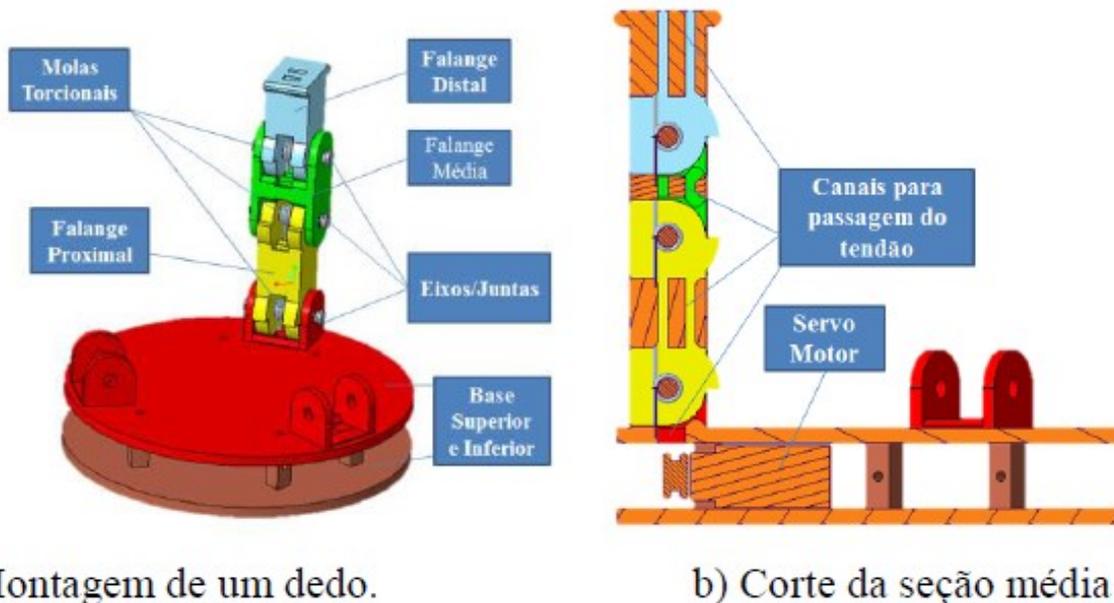
## METODOLOGIA

A primeira etapa envolverá o desenvolvimento do projeto conceitual com o dimensionamento mecânico adequado e análises de engenharia da garra mecânica com três dedos. Paralelamente a este desenvolvimento, serão definidas as especificações do sistema de acionamento que sejam compatíveis com o projeto conceitual. Ao finalizar essas duas etapas, a manufatura dos componentes será realizada com posterior inspeção do dimensionamento e montagem física. Com a montagem física finalizada, o processo de criação de algoritmos de programação para controle do sistema de movimentação dos dedos se iniciará e ensaios funcionais posteriores acompanharão a validação desses algoritmos de forma a aperfeiçoá-los através das análises de dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o projeto conceitual da garra mecânica. O sistema tem três dedos, que serão iguais e estarão posicionados a 120° entre eles na base circular. Todas as falanges possuem dois canais em seu interior, o mais interno será usado como superfície de interação com as molas torcionais montadas nos eixos e como passagem de fiações, o mais externo será usado para a passagem do tendão pelo interior das falanges, mostrado na Fig. (1b). O tendão terá uma extremidade fixada ao topo da falange distal, passando pelo canal guia e se fixando na roldana do servo motor.

Figura 1. Projeto conceitual da garra mecânica. Fonte: Autor.



O uso de um único atuador, nessa configuração, traz implicações como movimento livre dos dedos descrito por uma única trajetória, mas essa mudará quando houver um objeto de forma a envolvê-lo, tornando os dedos adaptativos à geometria do objeto. Uma importante característica da garra mecânica é que cada dedo será controlado por um servo motor independente, isso possibilitará diferentes adaptações dos dedos às variadas formas irregulares das superfícies dos objetos.

As dimensões máximas do objeto que permitirão o manuseio são limitadas pelas maneiras como o objeto entra no espaço de atuação dos dedos. Essas maneiras são: aproximação lateral e superior. Na primeira, tem-se a entrada do objeto na direção radial da base entre dois dedos, essa dimensão será restrita à distância entre eles. Na última, tem-se a entrada do objeto na direção normal à base e, dessa maneira, a restrição será dada pelo diâmetro interior entre os dedos. Assim, objetos com até 45 mm ou até 60 mm de diâmetro poderão ser manipulados a depender da entrada, lateral ou superior, desses na garra respectivamente.

## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

O projeto conceitual de uma garra mecânica para manusear objetos com formas irregulares foi desenvolvido e será capaz de manipular objetos com até 45 mm ou até 60 mm de diâmetro a depender da entrada, lateral ou superior, desses na garra respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kutta Appu K. K. Robotics, 1 ed. I. K. International Publisher, 2010, 336 p.  
[2] SHUKLA, Amit; KARKI, Hamad. Application of robotics in offshore oil and gas industry - A review Part II. Robotics and Autonomous Systems, v. 75, p. 508–524, 2016.

## RESUMO EXPANDIDO

### AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO DESGASTE DA FERRAMENTA NA INDUÇÃO DE TENSÕES RESIDUAIS NO FRESAMENTO DO AÇO AISI 4340

Pedro Augusto B.F. de Sousa\*; Adilson José de Oliveira

\*pedroasousa@ufrn.edu.br

## INTRODUÇÃO

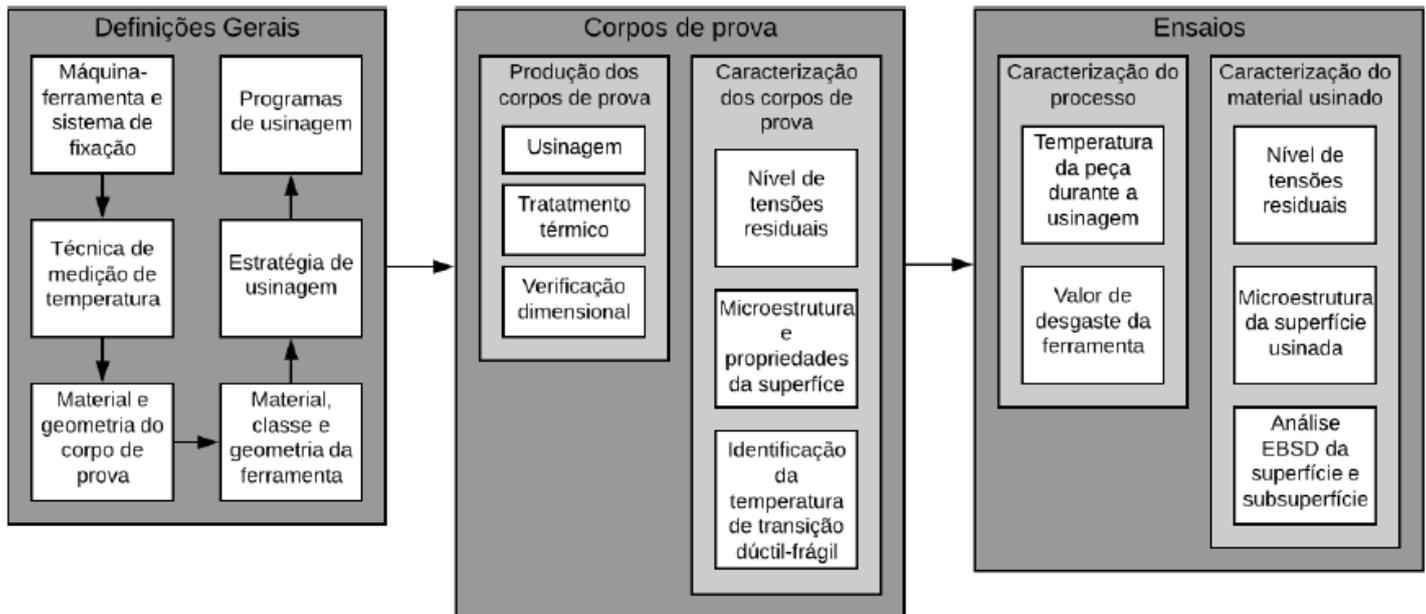
Materiais de elevado desempenho são necessários para permitir a segurança e a competitividade das operações na indústria do petróleo e gás. Nesse sentido, metais são amplamente empregados em estruturas e equipamentos, adequando-se às condições do setor. Contudo, além da exposição aos ambientes costeiros, marítimos e constituintes corrosivos do petróleo e gás, alguns equipamentos estão sujeitos à fadiga e ao impacto [1].

Algumas técnicas de pós-processamento podem ser utilizadas para o aumento da vida útil e durabilidade de componentes sujeitos aos carregamentos cíclicos. Essas técnicas visam a indução de tensões residuais compressivas na superfície e subsuperfície do material, objetivando dificultar o surgimento e a propagação de trincas causadoras de falhas. Shaw et al. [2] demonstraram que o jateamento de partículas na superfície de um aço SAE 5120 proporcionou tensões de compressão no material, o que levou a aumentos de até 76% na resistência à fadiga. Contudo, Oliveira [3], estudando o fresamento do ferro fundido branco alto cromo (FFBAC), mostrou que a tensão residual pode ser introduzida ainda durante a usinagem. Os resultados indicaram que a condição da aresta da ferramenta de corte e o método de lubrificação influenciam nos valores de tensão residual do componente usinado. Assim, visando expandir o entendimento sobre a indução de tensões residuais em materiais utilizados sob condições severas, como os existentes nos processos e estruturas de perfuração de poços de petróleo e gás, faz-se necessária a investigação das temperaturas de usinagem que resultarão em componentes com maior vida útil, sem a necessidade de pós-processamento. Portanto, o objetivo geral deste trabalho é a análise da influência de diferentes temperaturas nas características superficiais durante o fresamento do aço AISI 4340, de maneira que seja possível a) avaliar, para o corpo de prova, a influência da sua temperatura inicial no nível de tensões residuais após a sua usinagem; b) relacionar as temperaturas do processo com as alterações superficiais, subsuperficiais e no sistema cristalino do material usinado; c) avaliar se existe interação entre temperatura e valor do desgaste de flanco da aresta de corte no nível de tensões residuais do corpo de prova; d) avaliar o nível de deformação na superfície usinada com a técnica de difração de elétrons retro-espalhados (EBSD).

## METODOLOGIA

As atividades para a realização deste trabalho serão desenvolvidas na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, utilizando a infraestrutura disponível no Laboratório de Manufatura (LABMAN), Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais e Núcleo de Processamento Primário e Reuso de Água Produzida e Resíduo (NUPPRAR). A figura 1 apresenta a metodologia que será adotada para esta pesquisa.

Figura 1. Representação esquemática da metodologia a ser desenvolvida



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espera-se que, após cumpridas as etapas anteriormente descritas, seja possível identificar a influência da temperatura de fresamento do aço AISI 4340 nos valores de tensão residual do material, de maneira que através do monitoramento da temperatura do processo, seja possível estimar o nível de tensão residual na superfície do componente e relacionar esse valor com a resistência à fadiga do componente mecânico. Além disso, também é esperada a identificação das faixas de temperatura que impliquem em valores de tensões residuais superiores ou equivalentes àqueles produzidos pelos métodos de pós-processamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lyons, W.; Plisga, G. Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering. 2. ed. [s.l.] Elsevier, 2004.
- [2] Shaw, B. A.; Aylott, C; O'Hara, P; Brimble, K. International Journal of Fatigue, Vol.25, 2003, pp. 1279-1283.
- [3] Oliveira, M.V.A. “Efeitos do material de ferramenta e das técnicas de lubrificação na vida da ferramenta e na superfície usinada por fresamento do ferro fundido branco alto cromo”. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.

## RESUMO EXPANDIDO

### ENSAIOS DE TRATABILIDADE DE SOLOS CONTAMINADOS COM CREOSOTO APLICANDO CATÁLISE HETEROGÊNEA EM PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO

Vivian M. A. Magalhães\*; Rayanne M. Aranha; Gabriela P. Mendes; Lélia C. R. Soares; Marilda M. G. R. Vianna; Osvaldo Chiavone-Filho  
\*vivianmagalhaes12@hotmail.com

O creosoto é uma mistura complexa de constituintes orgânicos, contendo principalmente hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), que são poluentes orgânicos tóxicos e persistentes. Estudos de tratabilidade de oxidação química foram realizados para avaliar a remoção de HPAs do solo, usando persulfato de sódio ativado por catalisador heterogêneo. Os testes foram realizados em batelada variando a concentração de oxidante e a massa de catalisador. Uma remoção significativa de 96% dos HPAs mais representativos do creosoto no solo contaminado foi alcançada nas condições aplicadas.

## INTRODUÇÃO

Solos e águas subterrâneas contaminados por fase oleosa densa (DNAPLs, do inglês *dense nonaqueous phase liquid*) têm sido um sério problema ambiental há muitos anos, pois podem migrar para profundidades significativas, até atingir uma camada impermeável, adsorvendo nas partículas do solo, sendo liberados nas fases vapor e dissolvida, além das fases separadas. Esse comportamento depende da interação das espécies com o meio subterrâneo e da quantidade de volume derramado. O creosoto é um DNAPL formado pela destilação do alcatrão comumente usado como preservativo de madeiras. Contém muitos hidrocarbonetos, especialmente hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e compostos fenólicos [1]. Os HPAs são poluentes orgânicos persistentes altamente tóxicos que tendem a adsorver em partículas sólidas devido à sua alta hidrofobicidade e baixa solubilidade em água [2]. A oxidação química in situ (ISCO) é uma tecnologia potencialmente viável para a remediação de áreas contaminadas com creosoto [3]. O persulfato é um agente oxidante muito utilizado, que ao ser ativado gera os radicais sulfato ( $\text{SO}_4^{\bullet-}$ ) com alto poder oxidativo (2,6 V). A catálise heterogênea é um método alternativo de ativação que permite reações em condições neutras de pH. O ferro estabilizado dentro de uma estrutura porosa de um suporte adequado é um exemplo eficaz de catalisador heterogêneo, podendo ser aplicado em barreira reativa permeável (PRB), por exemplo [4]. A PRB gera um meio reativo em subsuperfície, sendo projetada para interceptar a pluma de contaminação. Portanto, a ISCO pode ser combinada com PRBs para gerar um processo de degradação eficiente para poluentes subterrâneos. Este trabalho tem como objetivo a remediação de um solo contaminado com creosoto com foco na avaliação dos HPAs. Foram aplicados conceitos de oxidação química in situ e persulfato de sódio ativado por catálise heterogênea foi empregado para degradação dos contaminantes.

## METODOLOGIA

O creosoto foi recuperado de um local contaminado na cidade de São Paulo e analisado por cromatografia gasosa acoplada a um espectrômetro de massa (GC-MS) com diluição em diclorometano (DCM, 1:1000 v/v). O catalisador de ferro à base de argila foi produzido em estudos anteriores pelo grupo de pesquisa. O solo arenoso foi contaminado artificialmente pelo creosoto para atingir uma concentração alvo de 4500 mg/kg, usando DCM como solvente orgânico. Inicialmente, foram realizados ensaios para avaliação do comportamento individual dos contaminantes nas diferentes fases. Foram adicionados 3,75 g de solo contaminado e 7,5 mL de água ou solução oxidante em cada vial de 20 mL mantendo espaço para fase vapor. Nos ensaios oxidativos, a massa do catalisador e o volume da solução oxidante foram adicionados de acordo com o planejamento fatorial completo 2<sup>2</sup>. O objetivo

do planejamento foi avaliar a remoção de poluentes, com foco nos HPAs selecionados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os HPAs mais representativos na caracterização do creosoto foram: naftaleno, 2-metil-naftaleno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno e benzo[a]antraceno. A partir das análises das diferentes fases, foi possível observar que os compostos permaneceram principalmente na fase sólida, como esperado. A porcentagem de remoção geral mostrada na Tabela 1, foi calculada com base na soma da remoção de compostos individuais. Em termos gerais, os ensaios oxidativos alcançaram eficiências de remoção de até 96%.

Tabela 1. Matriz de planejamento com percentuais de remoção da mistura para cada ensaio oxidativo.

Ensaio	x1	[PS] (g/L)	x2	Catalisador (g)	Remoção (%)
1	-1	30	-1	0,5	55,19
2	+1	200	-1	0,5	73,81
3	-1	30	+1	3,0	94,36
4	+1	200	+1	3,0	96,74
5	0	115	0	1,75	93,19
6	0	115	0	1,75	92,11
7	0	115	0	1,75	82,26

## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Pode-se concluir que a remediação de solo contaminado com creosoto por oxidação química com ativação por catálise heterogênea é possível. A técnica de PRB acoplada à ISCO torna-se um processo interessante para a aplicação real, onde a barreira tem a possibilidade de ser avaliada e atuar na retenção de plumas de contaminação, além de adsorção e degradação de contaminantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lerner, D. N., Kueper, B. H., Wealthall, G. P., Smith, J. W. N., & Leharne, S. A. Handbook ilustrado sobre transporte e destino de DNAPL no subsolo, v. 133, 2003.
- [2] Peluffo, M., Pardo, F., Santos, A. Science of the Total Environment, 563-564, 649-656, 2016.
- [3] Forsey, S. Oxidação química in situ de resíduos de creosoto/alcatrão de carvão. Thesis, 2004.
- [4] Petri, B. G.; Watts, R. J.; Tsitonaki, A.; Crimi, M.; Thomson, N. R.; Teel, A. L. Fundamentos de ISCO usando persulfato. Springer, New York, NY, 2011.

## RESUMO EXPANDIDO

### REMOÇÃO DE REBOCO DE FLUIDO DE PERFURAÇÃO UTILIZANDO COLCHÃO LAVADOR A BASE DE ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO

Carolina Rayanne Barbosa de Araújo\*; Dennys Correia da Silva; Marcos Alysso Felipe Rodrigues; Alcides de Oliveira Wanderley Neto  
\*carolrayanne@gmail.com

## INTRODUÇÃO

No processo de criação de poços de petróleo, fluidos de perfuração podem gerar uma fina película nas paredes do poço chamada de reboco. Sua remoção é essencial para que a cimentação entre o revestimento e a formação rochosa seja feita de maneira adequada evitando assim problemas futuros durante a extração do petróleo. Diante disso, utilizam-se métodos para a limpeza do poço antes da cimentação, entre eles o colchão lavador. O colchão lavador pode ser um sistema microemulsionado composto de tensoativo, cotensoativo, fase aquosa e fase oleosa. Essa microemulsão, além de remover o fluido de perfuração, inverte a molhabilidade da rocha, tornando-a molhável a água e consequentemente ao cimento.

Este trabalho utilizou um sistema de microemulsão a base de um efluente da indústria de petróleo (água produzida, AP) como fase aquosa do colchão lavador para remover o reboco formado pelo fluido de perfuração a base de olefina.

## METODOLOGIA

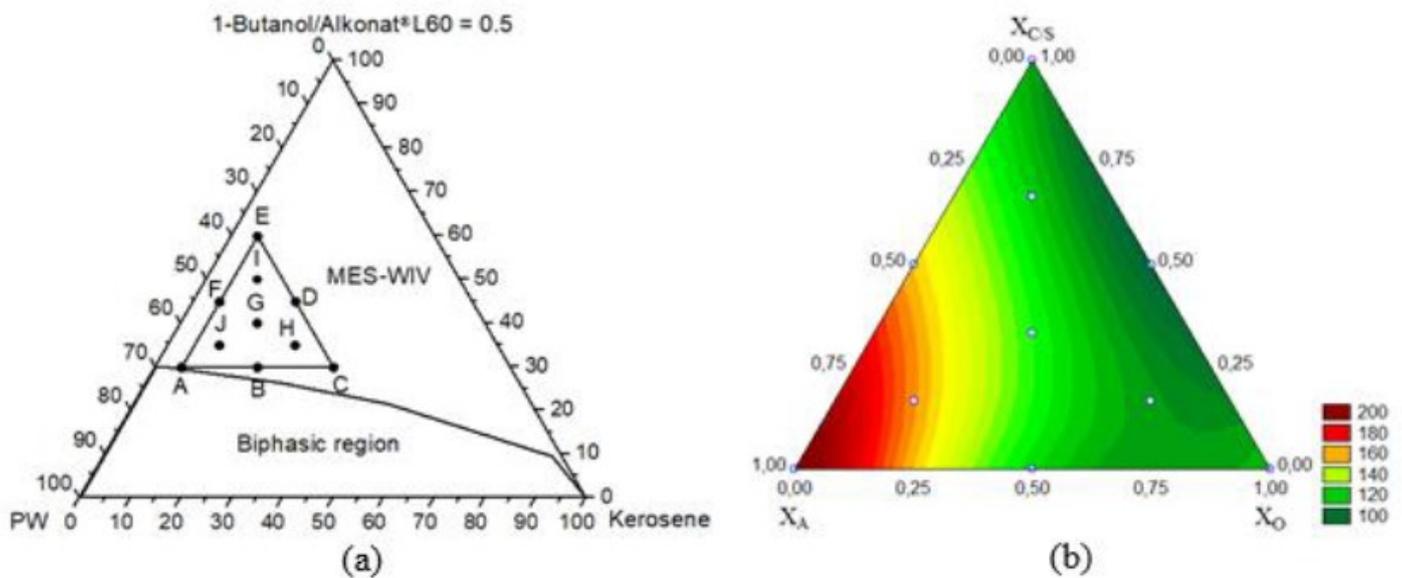
Uma microemulsão foi utilizada neste estudo e formulada com os seguintes componentes: fase aquosa (XFA): água produzida oleosa sintética (APO); fase oleosa (XFO): querosene de aviação; e fase da matéria ativa (XC/T) em uma relação constante de  $C/T = 0,5$ . Utilizou-se o Alkonat® L60 (Oxiten) como tensoativo (T) e o álcool 1-butanol foi utilizado como cotensoativo (C). A região de Winsor IV (WIV) – sistema de microemulsão sem fases orgânicas ou aquosas livres [1] – foi escolhida para ser utilizada como colchão lavador. Uma metodologia de titulação volumétrica foi usada delimitar a área de WIV no diagrama de fase pseudo-ternário [2], onde em um frasco de vidro, uma mistura de matéria ativa e fase aquosa ( $XC/T + XA = 4$  g) foi titulada gota a gota com a fase oleosa até atingir a transição da aparência clara para turva. O frasco foi pesado e a quantidade de solução oleosa adicionada ao sistema foi determinada. O ponto final da titulação foi centrifugado e determinado pelo aparecimento de duas fases, de modo a delimitar a região de WIV.

Foi proposto um planejamento estatístico para gerar um modelo matemático de previsão de rapidez de remoção de reboco (tempo de limpeza total), de modo a averiguar a influência dos constituintes dos sistemas microemulsionados nos resultados finais. Para esta finalidade, 10 sistemas de microemulsões para cada tipo de tensoativo foram utilizados como colchão lavador e o estudo foi conduzido por um planejamento experimental de Scheffé [3]. As variáveis estudadas foram: composição de fase aquosa (XA) (%), composição de fase oleosa (XO) (%) e composição de matéria ativa (XC/T) (%) e a resposta foi o tempo total de remoção de reboco (TTRR) (s). O software StatSoft STATISTICA® 7.0 foi utilizado para o cálculo dos efeitos estimados, análise de variância e determinação das superfícies de resposta.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área WIV dentro dos diagramas de fase pseudo-ternário é mostrada na Figura 1(a) e a superfície de resposta na Figura 1(b). Essas figuras também apresentam a rede de Scheffé (A – J) que foi colocada próxima ao lado rico em água do diagrama pseudo-ternário.

Figura 1. Diagramas de fase pseudo-ternário (a) e superfície de resposta (b) para o sistema: fase aquosa (XA): água produzida oleosa sintética (PW); fase oleosa (XO): querosene de aviação; e fase da matéria ativa (XCS) em uma relação constante de C/S = 0,5; Alkonat® L60 (Oxiten) foi utilizado como tensoativo (S) e o álcool 1-butanol foi utilizado como cotensoativo (C).



Para os sistemas com Alkonat® L60 (Figura 1 (a)), o ponto D removeu o reboco em menor tempo (86.5 s), seguido do ponto C (101.5 s).

## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

O sistema microemulsionado desenvolvido neste trabalho conseguiu remover 100% do reboco e é uma tecnologia promissora, uma vez que reutiliza a água produzida de petróleo.

A estabilidade das formulações se manteve constante após as suas reutilizações na remoção do reboco, atingindo oito e cinco lavagens mantendo 100% de remoção do reboco.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Winsor, P.A., 1948. Hydrotrophy, solubilisation and related emulsification processes. Trans. Faraday Soc. 44, 376.
- [2] da Silva, D.C., dos Santos Lucas, C.R., de Moraes Juviniiano, H.B., de Alencar Moura, M.C.P., Dantas Neto, A.A., de Castro Dantas, T.N., 2020. Novel produced water treatment using microemulsion systems to remove oil contents. J. Water Process Eng. 33.
- [3] Scheffe, H., 1963. The Simplex-Centroid Design for Experiments with Mixtures. J. R. Stat. Soc. Ser. B.

## RESUMO EXPANDIDO

### INTERPOLAÇÃO DE FOURIER MULTIDIMENSIONAL APLICADA A DADOS SÍSMICOS ESPARSOS E SINTÉTICOS 2D

Yuri S. F. Bezerra\*; German Garabito  
\*yurishalom@ufrn.edu.br

#### INTRODUÇÃO

A regularização e interpolação multidimensional é essencial para muitas etapas do processamento de dados sísmicos, por exemplo migração pré-empilhamento e inversão [1]. Os algoritmos de reconstrução de Fourier são eficientes e simples de implementar, por exemplo *Minimum Weighted Norm Interpolation* (MWNI) [2], *Matching Pursuit Fourier Interpolation* (MPFI) [3] e *Anti-Leakage Fourier Transform* (ALFT) [4]. O MWNI estima os coeficientes de Fourier que sintetizam o dado espacial por inversão regularizada a partir de uma geometria com amostragem regular. Os algoritmos MPFI e ALFT usam um procedimento iterativo para calcular o espectro do dado amostrado irregularmente, interpolando para qualquer geometria de aquisição desejada. Existem poucos estudos comparando esses algoritmos em relação à precisão e desempenho. Aplicamos reconstrução 3D no dado sísmico sintético 2D Marmousi pré-empilhamento, o qual foi drasticamente dizimado. Este teste mostra a capacidade dos algoritmos de reconstruir dados sísmicos muito esparsos e melhorar significativamente a continuidade dos eventos nas seções migrada em tempo préempilhamento (PSTM).

#### METODOLOGIA

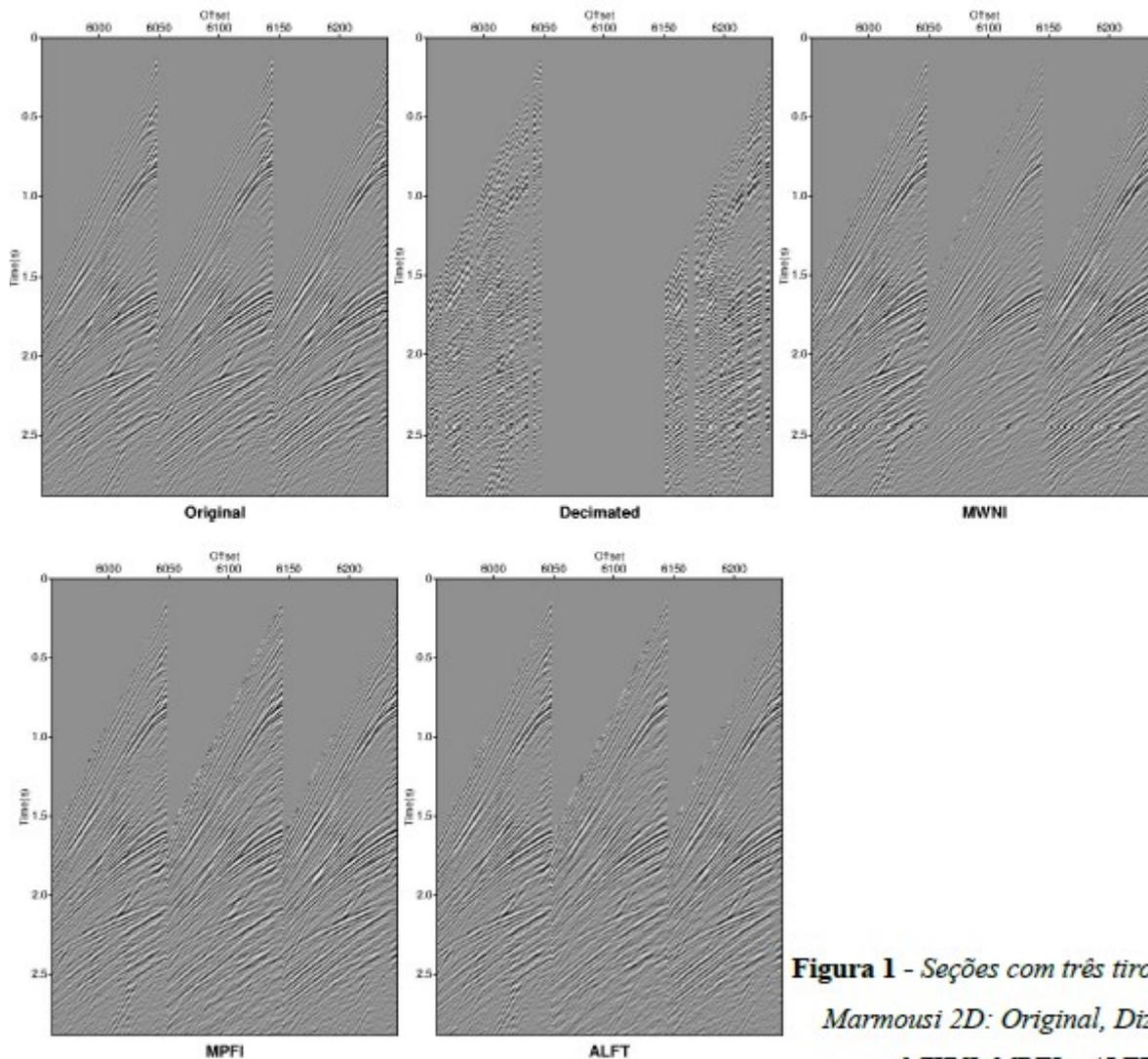
**Tabela 1 - Parametros do Dado Marmousi.**

Dado	Dizimado	Reconstrução
Nº de Tiros	115	240
Traços por Tiro	47 (média)	96
Traços Total	5458	23040
Percentual (%)	23.7	100

**Tabela 2 - Iterações e tempo de CPU.**

Algoritmos	Iterações	Tempo de CPU
MWNI	IRLS = 3(5) CG = 10	0.60 min
MPFI	128 (512)	4.56 min
ALFT	128 (512)	35 min

## RESULTADOS E DISCUSSÃO



**Figura 1** - Seções com três tiros do dado Marmousi 2D: Original, Dizimado, MWNI, MPFI e ALFT.

## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Os algoritmos MWNI, ALFT e MPFI são capazes de reconstruir conjuntos de dados sísmicos esparsos e lidam bem com eventos de mergulho íngreme. A reconstrução 3D do dado sintético 2D Marmousi, mostrou que o mais eficiente é o algoritmo MWNI, que obteve um resultado ligeiramente melhor do que os algoritmos MPFI e ALFT, que apresentam resultados semelhantes. Isso se deve ao fato do dado do Marmousi dizimado ser muito esparsos, cenário em que o MWNI apresenta melhores resultados. O algoritmo MPFI é uma alternativa prática e imediata, porque não requer ponderação a priori e seu resultado é equivalente ao ALFT, exigindo muito menos tempo de CPU.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Trad, D.. CSEG Recorder, 39(3), p.40-46, 2014.
- [2] Liu, B.; Sacchi, M.D.. Geophysics, 69(6): p.1560-1568, 2004.
- [3] Nguyen, T.; Winnett, R.. 81th Annual International Meeting, SEG, Expand Abstracts, p.3085-3089, 2011.
- [4] Xu, S.; Zhang, Y.; Pham, D.; Lambaré, G.. Geophysics, 70(4), p.V78-V95, 2005.

## RESUMO EXPANDIDO

### DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR USANDO LINGUAGEM VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS (VBA) PARA O DIMENSIONAMENTO DE BOMBA POR CAVIDADE PROGRESSIVA

Carlos Eduardo Arruda Júnior\*; Paulo Cesar Vieira de Souza; Herbert Senzano Lopes

\*c.eduardojunior@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

Os métodos de elevação artificial de petróleo são utilizados durante a fase de produção, caracterizadas por atingirem somente a área do poço, sendo responsáveis por proporcionar o deslocamento do petróleo contido no reservatório até a superfície e com a finalidade de conseguir alcançar um maior índice de produtividade (Leonez, 2011). Com o desenvolvimento tecnológico, o sistema de elevação artificial por bombeio de cavidades progressivas está sendo cada vez mais empregado na indústria do petróleo, pois tem se mostrado muito eficiente na elevação de óleos com alta viscosidade ou com alta produção de areia. É desempenhado por uma bomba de cavidades progressivas localizada no fundo do poço e composta, basicamente, por um rotor dentro do estator, componentes que proporcionam uma elevação progressiva do fluido através das cavidades formadas no interior da bomba (Alves, 2011). A simulação pode ser definida como um processo de projetar um modelo de um sistema real e submeter esse modelo a várias estratégias de operação do mesmo, o comportamento do sistema ao longo do tempo é estudado através do desenvolvimento de um modelo que, por sua vez, é baseado em um conjunto de suposições pertinentes à operação do sistema (Shannon, 1992 apud Vidal, 2005, p 913). A proposta desse trabalho é desenvolver um simulador no Excel utilizando a plataforma VBA (VISUAL BASIC APPLICATIONS) para o dimensionamento de bombas por método de cavidade progressiva, demonstrando qual o tamanho necessário da bomba para que o petróleo seja elevado até a superfície, levando em consideração todas as perdas de cargas que ocorrem durante a extração dos hidrocarbonetos.

## METODOLOGIA

Para desenvolver o simulador no VBA, foram utilizadas equações como o coeficiente de Reynolds, fator de atrito (relacionado ao tipo de escoamento, se laminar ou turbulento) e, perda de carga localizada e distribuída. Por fim, calcula-se a equação de Bernoulli (Equação 01), onde obtém-se o tamanho necessário da bomba para que haja a elevação dos hidrocarbonetos.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_1 \cdot H_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_2 + (H_f + k) \quad (1)$$

Com tais informações e equações aplicadas na linguagem VBA através do Microsoft Excel, as perdas de carga e a capacidade da bomba para elevar o fluido até o local desejado são determinadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Adequando as situações problemas descritas por Cremasco [4] às situações reais, foi possível realizar o cálculo das perdas de carga (de forma rápida, logo após a seleção do diâmetro e singularidades) e o tamanho da bomba, proporcionando uma otimização do tempo de cálculo e facilitando o trabalho em campo. Na Figura 1 há a resolução de uma situação problema descrita na literatura supracitada.

Figura 1. Visão no Simulador do Tamanho da Bomba Bcp. Fonte: Autor.

**BOMBA BCP**

**INFORME OS DADOS BASE**

Total da Perda de Carga Localizada  m Total da Perda de Carga  m

Digite a Pressão Considerada  psi

**Calcule o Dimensionamento da BCP**

O Tamanho da Bomba a ser Utilizada é  MCA

CV

WATTS

**Fechar**

Observando os resultados, estes mostram-se satisfatórios por se aproximarem dos descritos na literatura. Desse modo, o simulador mostra-se capaz de realizar um cálculo complexo de forma rápida.

## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Através da linguagem de programação VBA, foi possível desenvolver um simulador de baixo custo tanto para criar quanto para manter um sistema. Este, por sua vez, mostrou-se altamente eficiente para calcular a potência de uma Bomba de Cavidade Progressiva (BCP) necessária para elevar um fluido até a superfície, reduzindo o tempo de cálculos, diminuindo o percentual de erros e garantindo exatidão aos dados do processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LEONEZ, 2011 e do Shannon, 1992 apud Vidal, 2005, p 913.
- [2] Alves, Jorge Salgado Gomes; Fernando Barata. O Universo da Indústria Petrolífera - da Pesquisa à Refinação. 2011. Disponível em: 9789723113983. Acesso em: 10 dez. 2019.
- [3] Law, Victo J. Numerical Methods for Chemical Engineers Using Excel, VBA, and MATLAB. Flórida: Taylor & Francis Group, 2013. 226 p. ISBN 978-1-4665-7535-6. Disponível em: <http://docshare04.docshare.tips/files/25072/250720594.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2019.
- [4] Cremasco, Marco Aurélio. Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos. 2014. Disponível em: 9788521208556. Acesso em: 11 dez. 2019.

## RESUMO EXPANDIDO

### EQUILÍBRIO LÍQUIDO-LÍQUIDO PARA EXTRAÇÃO DE FURFURAL DA ÁGUA USANDO DIFERENTES SOLVENTES E TEMPERATURAS NO SOFTWARE ASPEN PLUS

Leonete Cristina de A. Ferreira Medeiros Silva\*; Talita Kênya Oliveira Costa; Osvaldo Chivone-Filho  
\*leonetecristina@ufrn.edu.br

## INTRODUÇÃO

Os processos industriais de forma geral devem ser projetados para alcançar a melhor eficiência do sistema proposto. As biorefinarias são plantas desenvolvidas para a extração de biocombustíveis e componentes químicos de alto valor agregado a partir da biomassa. A biomassa é composta por frações de celulose, lignina e hemicelulose, além das cinzas. Um dos produtos químicos base que pode ser obtido de uma biorefinaria é o furfural. É um derivado altamente versátil e chave para fabricação de uma gama de químicos industriais de interesse comercial. O furfural possui solubilidade limitada na água, cerca de 8,3% em peso a uma temperatura de 293,15K. Esse aspecto favorece a escolha do processo de extração líquido-líquido já que o soluto tende a ir para o solvente facilmente [1].

O presente trabalho tem como objetivo realizar o estudo do ELL para sete sistemas água (1) + furfural (2) + solvente (3) a partir de dados experimentais, aplicando em sistemas de biorefinarias com a simulação do processo industrial de separação no *AspenPlus*®.

## METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido a pressão atmosférica e em níveis de temperaturas diferentes, com os seguintes sistemas: (1) Furfural + Água + p-Xileno (298,15K); (02) Furfural + Água + Tolueno (298,15K); (03) Furfural + Água + P-Xileno (323,15K), (04) Furfural + Água + Tolueno (323,15K); (05) Furfural + Água + Álcool Benzílico (323,15K) + (06) Furfural + Água + Acetofenona (323,15K); (07) Furfural + Água + Metil isobutil carbinol (298,15 K).

A primeira parte do trabalho foi verificação a predição de dados do ELL através da modelagem NRTL, empregando o *software ChemCad 7.0*®. Ambos os resultados foram comparados sobre a ótica da eficiência do processo em relação aos parâmetros eficiência (D) e Fator de Separação (S).

Para a simulação do processo, as condições operacionais para o extrator foram retiradas do trabalho de Pokki et al. (2018) [2] e, os dados de temperatura e os solventes de extração foram retirados do trabalho de Xin et al. (2016) [1].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diagramas ternários dos dados experimentais foram elaborados, percebendo-se que a região de interesse é diferenciada para cada solvente. Os diagramas obtidos a partir da predição dos dados aplicando-se o modelo NRTL confirmaram a capacidade preditiva do modelo, incluindo o fato de previsão da curva de ELL completa do processo, ampliando a faixa de informação além dos dados experimentais. A eficiência da extração foi comparada entre os dados experimentais e simulados. Os maiores índices de eficiência e fator de extração obtidos foram do p-Xileno e Tolueno em ambas as temperaturas estudadas. De forma ilustrada na Figura 1 temos os resultados obtidos para sistema com Tolueno a 298,15 e 323,15 K com o modelo NRTL.

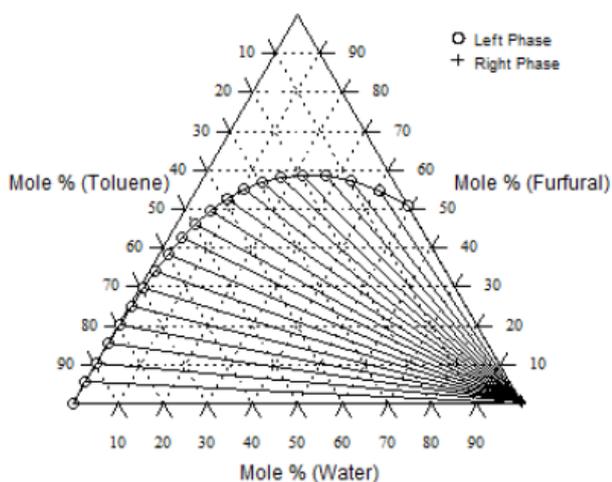
As porcentagens de furfural extraídas pelos solventes foram: P-xileno (298,15 K) - 56,11%; P-xileno (323,15 K) - 96,99%; Tolueno (298,15 K) - 72,49%; Tolueno (323,15 K) - 99,68%; e Metil Iso-butyl carbinol (298,15 K) - 99,86%. O metil iso-butyl carbinol obteve maior porcentagem de extração, mas teve seu valor muito similar ao

tolueno a 323,15 K e por isso deve-se fazer uma análise econômica prévia do processo para saber qual será o solvente mais adequado. Essa análise preliminar identificou um lucro máximo do processo empregando o tolueno, chegando a um lucro de Lucro estimado de 752 mi \$/ano.

Figura 1. Diagrama ternário obtido a partir da correlação dos dados com o modelo NRTL do sistema água(1) + furfural(2) + tolueno(3) a 298,15 (a) e 323,15 (b) K

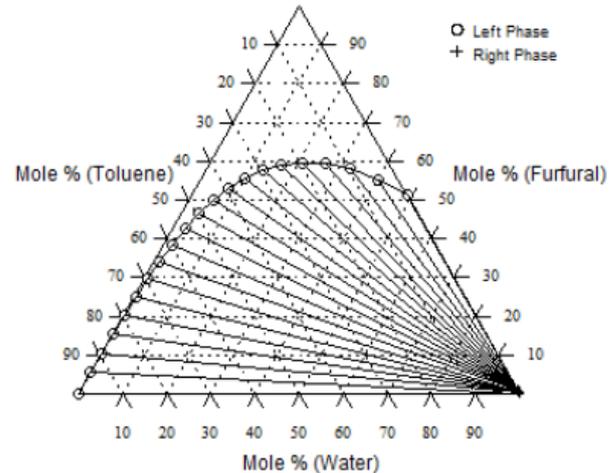
(a) água (1)+furfural(2)+tolueno(3) a

298,15K



(b) água (1)+furfural(2)+tolueno(3) a

323,15K



## CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Os parâmetros do modelo termodinâmico NRTL foram ajustados aos dados de equilíbrio líquido-líquido experimentais, conseguindo representar bem o sistema estudado. A simulação realizada retratou uma visão geral sobre a coluna de extração, sendo possível avaliar algumas variáveis de operação e sua importância no processo. Mesmo que com essa simulação tenha se obtido um processo economicamente viável, ainda se torna necessário avaliar outros parâmetros, para que se alcance conclusões mais fiéis a respeito do processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. Xin, Y. Song, F. Dai, Y. Yu, and Q. Li, "Liquid-liquid equilibria for the extraction of furfural from aqueous solution using different solvents," *Fluid Phase Equilib.*, vol. 425, pp. 393–401, 2016, doi: 10.1016/j.fluid.2016.06.040.
- [2] J. P. Pokki, M. Männistö, and V. Alopaeus, "Separation of furfural and acetic acid with liquid-liquid-extraction and distillation in biorefinery systems: Simulations and laboratory experiments," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 69, pp. 19–24, 2018, doi: 10.3303/CET1869004.

## RESUMO EXPANDIDO

### DESCRIPTION OF PHASE EQUILIBRIUM AND VOLUMETRIC PROPERTIES FOR CO<sub>2</sub>+WATER AND CO<sub>2</sub>+ETHANOL USING THE CPA EoS

Mateus F. Monteiro\*; Mario H. de M. Neto; Camila G. Pereira; Osvaldo Chivone-Filho

\*mateus@nupeg.ufrn.br

## INTRODUCTION

Nowadays, studies involving solvents and mixtures of solvents at high pressures have important industrial applications. Many separation processes e.g. distillation and absorption are conducted at high pressure to ensure economic feasibility. Thereby, understanding phase behavior of this system is important for design of oil and gas exploitation process [1]. CO<sub>2</sub> sequestration and geological storage is another operation that justifies the study in a wide pressure range. And not only in these sectors, in the food and pharmaceutical, it is observed alcohols as co-solvents for CO<sub>2</sub> in high pressure extraction of biomaterials from herbs. The same process is also highly used in the extraction of ingredients, such as flavor and colorants, from plants and fruits by the food and cosmetics industry.

## METHODOLOGY

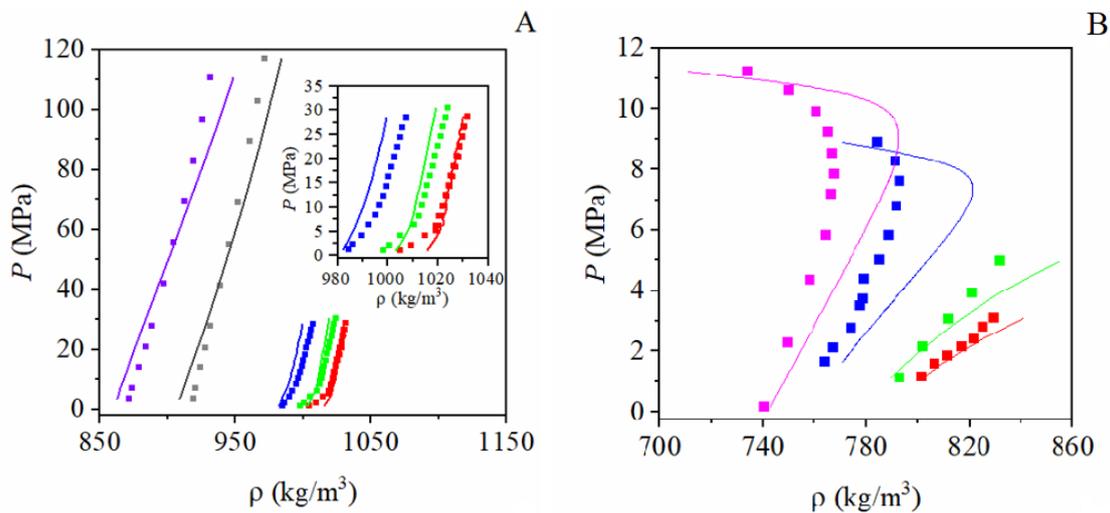
A literature survey was conducted on experimental vapor-liquid equilibrium (VLE) and density for CO<sub>2</sub>+water and CO<sub>2</sub>+ethanol. Phase equilibrium and density of pure water, ethanol and CO<sub>2</sub> were evaluated considering 1868 data points. VLE and saturated liquid density data were collected: 544 data points for CO<sub>2</sub>+water and 859 data points for CO<sub>2</sub>+ethanol. Soave Redlich-Kwong (SRK) equation of state (EoS) with Cubic Plus Association (CPA) [2] was applied for calculation of these properties. Peng-Robinson EoS was evaluated to demonstrate CPA improvement in systems description. The binary interaction parameters were estimated from VLE.

## RESULTS AND DISCUSSION

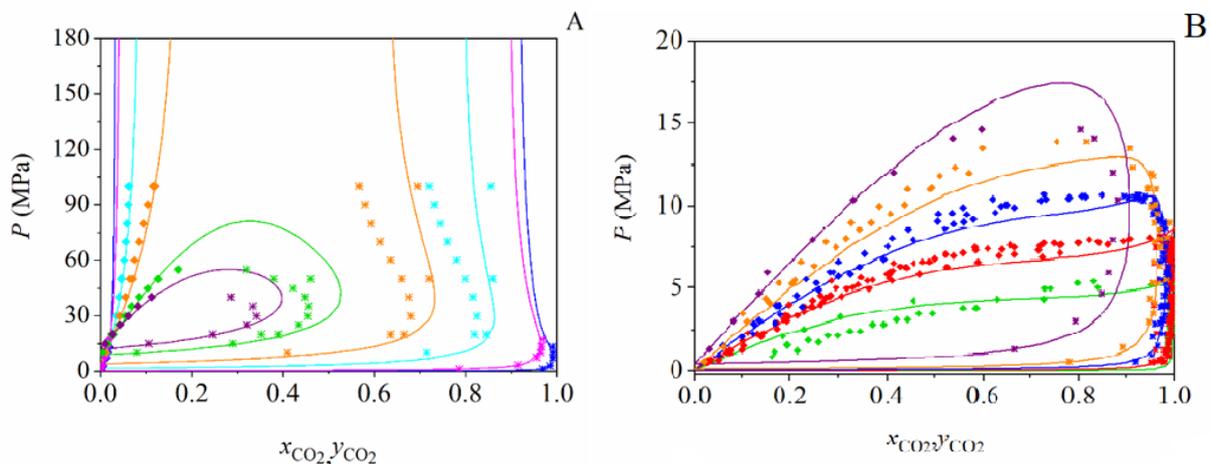
For pure compounds, the results indicated suitable description for both phase behavior and density. For CO<sub>2</sub>+water, density calculations were accurate ( $\Delta\rho=0.5\%$ ) as depicted in Figure 1A and VLE was adequately described ( $\Delta x_{H_2O}=0.49\%$  and  $\Delta y_{CO_2}=4.63\%$ ) as presented in Figure 2A. CO<sub>2</sub>+ethanol volumetric behavior and VLE were also satisfactorily described in CO<sub>2</sub> concentrations up to 30% ( $\Delta\rho=2.92\%$ ,  $\Delta x_{EtOH}=1.37\%$  and  $\Delta y_{CO_2}=5.86\%$ , respectively), as demonstrated by Figures 1B and 2B.

## CONCLUSIONS

The CPA EoS applicability was demonstrated for the description of phase behavior and volumetric properties of CO<sub>2</sub>+water and CO<sub>2</sub>+ethanol and pure compounds over an extensive range of temperature and pressure.



**Figure 1. (A)** CO<sub>2</sub>+water density. (A) Prediction of five isothermal curves (solid line;  $k_{CO_2,water}$ ) and experimental data points (■) at  $T_1 = 284$  K (red),  $T_2 = 302$  K (green),  $T_3 = 332$  K (blue),  $T_4 = 423$  K (grey),  $T_5 = 468$  K (violet). **(B)** CO<sub>2</sub>+ethanol density. (A) Prediction of four isothermal curves (solid line;  $k_{CO_2,ethanol} = 0.157$ ) and experimental data points (■) at  $T_1 = 291$  K (red),  $T_2 = 303$  K (green),  $T_3 = 328$  K (blue),  $T_4 = 343$  K (pink).



**Figure 2: (A)** Prediction of isothermal curves for the CO<sub>2</sub>+water system. (♦) experimental bubble points, (\*) experimental dew points. Solid line: predicted curves with the CPA EoS.  $P$ - $xy$  diagram at six different temperatures:  $T_1 = 348$  K (blue,  $k_{ij} = 0.2471$ ),  $T_2 = 398$  K (pink,  $k_{ij} = 0.2935$ ),  $T_3 = 473$  K (cyan,  $k_{ij} = 0.3195$ ),  $T_4 = 523$  K (orange,  $k_{ij} = 0.3089$ ),  $T_5 = 573$  K (green,  $k_{ij} = 0.2424$ ) and  $T_6 = 598$  K (purple,  $k_{ij} = 0.1628$ ). **(B)** Prediction of isothermal curves for the CO<sub>2</sub>+ethanol system ( $k_{CO_2,ethanol} = 0.157$ ). (♦) experimental bubble points, (\*) experimental dew points. Solid line: predicted curves with the CPA EoS.  $P$ - $xy$  diagram at five different temperatures:  $T_1 = 291$  K (green),  $T_2 = 313$  K (red),  $T_3 = 333$  K (blue),  $T_4 = 353$  K (orange),  $T_5 = 391$  K (purple).

## REFERENCES

- [1] F. A. V. Ferreira, T. C. S. Barbalho, H. N. M. Oliveira, O. Chivone-Filho, Vapor–Liquid Equilibrium Measurements for Carbon Dioxide + Cyclohexene + Squalane at High Pressures Using a Synthetic Method, *J. Chem. Eng. Data.* 62 (2017) 1456-1463. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.6b01018>.
- [2] Kontogeorgis, E.C. Voutsas, I. V. Yakoumis, D. P. Tassios, An Equation of State for Associating Fluids, *Ind. Eng. Chem. Res.* 35 (1996) 4310-4318. <https://doi.org/10.1021/ie9600203>.

PROJETO DE UNIDADE PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM PETRÓLEO  
USANDO FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E PROCESSO DE OXIDAÇÃO AVANÇADA

Vanessa Natalia de Lima\*; Osvaldo Chiavone-Filho  
\*vanessa.nlima@gmail.com

## INTRODUÇÃO

As complexas e elevadas cargas de contaminantes, que incluem óleos, compostos aromáticos (tais como compostos fenólicos e hidrocarbonetos) e metais, que constituem as correntes de águas produzidas nas indústrias petroquímicas são uma das grandes problemáticas ambientais do setor petrolífero. Por conta disto, os sistemas de tratamentos tornaram-se extremamente robustos, incluindo uma vasta gama de processos, que passam por estágios primários de remoção de óleo, por exemplo com sistemas de flotação por ar dissolvido – FAD ou separadores de óleo, seguidos por processos secundários os quais incluem sistemas de filtração por membranas e lodos ativados [1]. Embora complexo, por vezes estes sistemas não conseguem atingir remoções adequadas das chamadas substâncias prioritárias, que incluem poluentes altamente tóxicos, assim torna-se indispensável projetar e otimizar processos de tratamento.

Em se tratando do tratamento de poluentes tóxicos, os processos químicos, tais como os processos de oxidação avançada (POAs), têm bastante interesse, uma vez que são adequados para tratar elevadas cargas orgânicas e compostos recalcitrantes. Nestes processos, a degradação dos poluentes, que realiza-se in situ, ocorre em reações químicas destrutivas que envolvem a formação/aplicação de oxidantes fortes, por exemplo, o radical hidroxila ( $\text{HO}\cdot$  – 2,80 V) ou o ozônio ( $\text{O}_3$  – 2,07 V), de modo a realizar a degradação dos contaminantes através da formação de espécies químicas menos poluentes. O tratamento de águas produzidas via POAs incluem aplicações de processos como Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ), ozonização, oxidação eletroquímica, e também processos foto-assistidos [2]. Relativamente a estes últimos, sua importância cresce devido sua capacidade de intensificar a oxidação e, em muitos casos, de reduzir o tempo de tratamento, destacando-se aqueles que se faz uso de radiação ultravioleta (UV), tais como UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  e foto-Fenton (UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) [2]. E neste sentido, a pesquisa tem expandido na busca por projetar instalações experimentais aptas a operar usando fontes alternativas de radiação, tais como a solar, o que tem particular interesse para o Nordeste brasileiro, devido a localização e alta incidência solar.

Este trabalho apresenta uma proposta para o desenvolvimento de um sistema de tratamento de águas produzidas contaminadas com óleo aplicando um sistema clássico de pré-tratamento, nomeadamente o FAD, acoplado a um POA assistido por radiação solar (foto-Fenton).

## PROPOSTA METODOLOGICA

A unidade experimental para o tratamento de águas produzidas contaminadas por óleo será composta de dois sistemas de tratamento: 1º) unidade FAD; e 2º) foto-reator solar (FRS), conforme ilustrado na Figura 1.

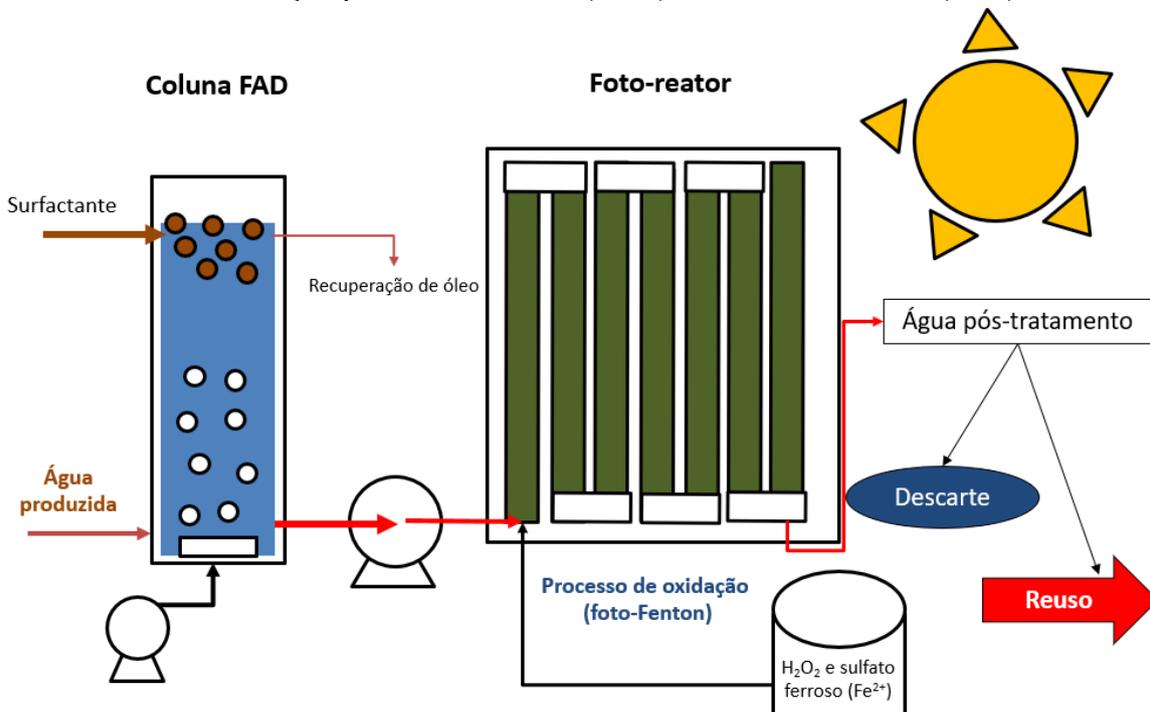
Numa fase preliminar, o tratamento ocorrerá na coluna de FAD (baseada no estudo de da Silva et al. [3]), com operação em descontínuo. A instalação é composta por uma coluna cilíndrica com 0.9 L de capacidade acoplada à uma placa porosa dispersora de ar ( $< 50 \mu\text{m}$ ) – de modo a promover a formação de microbolhas de gás, conectada a um compressor de ar. O sistema será alimentado com água produzida contendo óleo, e o processo de remoção ocorrerá por flotação com auxílio de tensoativos (surfactantes comerciais) adicionados ao efluente. O contato entre óleo, surfactante e bolhas de gás promovem a formação partículas (flocos), e estes serão removidos pelo topo da coluna.

Na segunda etapa do tratamento, um foto-reator tubular de vidro borossilicato transparente será utilizado para a oxidação. O foto-reator deverá ser do formato CPC (*Compound Parabolic Concentrators*) de modo a permitir a máxima incidência de radiação solar sobre o reator. O FRS será alimentado com o efluente pós-FAD com auxílio

de uma bomba peristáltica para recirculação da fase líquida, e adicionalmente uma bomba auxiliar alimentará os reagentes de Fenton (peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso) ao sistema, de modo a permitir a contínua formação dos radicais HO• durante a oxidação.

A eficiência do FAD deve considerar os efeitos dos surfactantes nas remoções de óleos e graxas, enquanto no processo de foto-Fenton deve ser avaliada a remoção de carga orgânica e toxicidade, aumento de biodegradabilidade, e também a degradação de substâncias prioritárias, tais como compostos fenólicos.

Figura 1. Unidade experimental proposta para o tratamento de águas produzidas contaminadas por petróleo de dois sistemas de tratamento: Flotação por Ar Dissolvido (FAD) e Foto-Reator Solar (FRS)



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para executar esta proposta alguns fatores deverão ser considerados tais como:

- Avaliar e selecionar o surfactante ideal, e avaliar a sua capacidade de regeneração, de modo a reduzir custos do tratamento;
- Avaliar a incidência de radiação solar, e considerar fatores que afetam o processo tais como horário, condições climáticas, estações do ano, e local de operação do foto-reator solar;
- E, por fim, otimizar concentrações de reagentes, pH e temperatura da reação, aplicando ferramentas de planejamento de experimentos e modelos cinéticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Jafarinejad, S., Jiang, S. C. (2019). Journal of Environmental Chemical Engineering, 7 (5), 103326, 2019.
- [2] Mota, A. L. N.; Albuquerque; L. F., Beltrame; L. C., Chiavone-Filho; O., Machulek Jr, A.; Nascimento, C. A. O. Brazilian Journal of Petroleum and Gas, 2(3), 2009.
- [3] da Silva, S. S.; Chiavone-Filho, O.; de Barros Neto, E. L.; Foletto, E. L. Journal of environmental management, 147, 257-263, 2015.