DESENVOLVIMENTO DE UM HIDROCICLONE PARA SEPARAÇÃO DE ÁGUA DISPERSA EM ÓLEO

J. P. S. de Oliveira, R. A. Medronho e T. S. Klein

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química
E-mail para contato: joaopedrooliveira@eq.ufrj.br

RESUMO – Neste trabalho, desenvolveu-se um hidrociclone para a separação de gotas de água dispersas em óleo. Para tanto, realizaram-se simulações de CFD em conjunto com a técnica de DCCR. No estudo realizado, simulações CFD de nove modelos relativos a combinações de diâmetros de *overflow* e *underflow* foram conduzidas, fixando-se a concentração de água em 10%, em volume, e gotas com 50 μm . As medidas de 1,56 cm e 1,28 cm para *underflow* e *overflow*, respectivamente, retornaram os melhores resultados, com eficiência granulométrica de 63% e razão de fluido de 37%. Para determinação do desempenho, realizaram-se simulações com vários diâmetros de gota, mantendo a concentração, obtendo-se a curva de eficiência granulométrica reduzida e o diâmetro de corte reduzido como sendo igual a 57 μm .

1. INTRODUÇÃO

Hidrociclones consistem em equipamentos ciclônicos que promovem a separação de uma fase dispersa de outra contínua, de densidades diferentes, pelo princípio da sedimentação em campo centrífugo. No presente trabalho, desenvolveu-se um hidrociclone para separar água dispersa em óleo, no sentido de contribuir para a investigação de tecnologias a serem aplicadas em sistemas submarinos (subsea) de processamento de óleo e gás. A metodologia utilizada é similar à de Araújo (2015) e Braga (2015), que desenvolveram hidrociclones destinados ao condicionamento de águas oleosas. Porém, a separação de gotas de água dispersas em óleo apresenta um maior grau de dificuldade devido, principalmente, aos altos valores de viscosidade dos óleos.

2. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho consistiu em se partir de uma geometria base e utilizar uma técnica de planejamento experimental para definir as demais geometrias a serem estudadas de modo que, através de simulações com Fluidodinâmica Computacional (CFD), se possa identificar aquela que retorna o melhor desempenho.

A geometria básica escolhida foi semelhante à de um hidrociclone de Bradley com 10 cm de diâmetro, empregando-se, porém, duas entradas retangulares com razão largura/altura de $\frac{1}{2}$, mantendo-se a mesma área de entrada. Cálculos preliminares indicaram que, para tal geometria, gotas de água de 50 μm de diâmetro retornariam eficiências granulométricas na faixa

de 50%, que são adequadas para avaliar a sensibilidade desse parâmetro a mudanças na geometria do hidrociclone.

2.1 Planejamento Experimental

As variáveis independentes do planejamento experimental foram os diâmetros dos tubos de saída de *overflow* e de *underflow*, empregando-se as faixas de 0,7-2,3 cm e 0,5-1,5 cm, respectivamente. Tomou-se como respostas a eficiência granulométrica (G) e a razão de fluido (R_f), que são parâmetros de performance em hidrociclones.

A aplicação da técnica de delineamento composto central rotacional, que admite a obtenção de modelos quadráticos, levou a uma composição da matriz de experimentos abrangendo 4 casos fatoriais, 4 pontos axiais e 1 ponto central, totalizando 9 simulações a serem conduzidas com CFD. Em sendo um tratamento do tipo rotacional, os níveis axiais com $\alpha = \sqrt{2}$, além de permitirem correlações não lineares, expandem a área de estudo de maneira a expressar o comportamento das respostas em uma maior extensão. A seleção dos níveis para dimensionamento do hidrociclone decorreu da metodologia de otimização simultânea *desirability*. Para processar os dados resultantes, utilizou-se o software comercial Statistica®.

As condições de operação adotadas para os tratamentos do planejamento incluem: densidades das fases contínua (óleo) e discreta (água) iguais a $0,9 \text{ g.cm}^{-3}$ e $1,03 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente, viscosidade do óleo de 2 cP e vazão processada dada por $924 \text{ cm}^3.\text{s}^{-1}$ (correspondendo à velocidade superficial de 6 m s^{-1}).

A Tabela 1 resume a geometria de cada um dos nove hidrociclones simulados e já inclui os valores de eficiência granulométrica para gotas de água de $50 \mu\text{m}$ e a razão de fluido encontrados para cada configuração geométrica.

Tabela 1 - Matriz de experimentos após as corridas.

Tratamento	D_o	D_u	D_o (cm)	D_u (cm)	$G(\%)$	$R_f(\%)$	$G^*(\%)$
HC1	+1	-1	2,30	0,50	8,9	1,1	7,9
HC2	+1	+1	2,30	1,50	46,7	20,1	33,3
HC3	-1	-1	0,70	0,50	56,1	36,8	30,5
HC4	-1	+1	0,70	1,50	96,1	86,1	72,2
HC5	+1,41	0	2,63	1,00	18,6	4,9	14,4
HC6	-1,41	0	0,37	1,00	98,7	90,6	85,7
HC7	0	+1,41	1,50	1,70	80,3	58,8	52,2
HC8	0	-1,41	1,50	0,30	13,2	2,5	11,0
HC9	0	0	1,50	1,00	53,2	29,2	33,8

2.2. Simulações com CFD

A geometria do hidrociclone proposto, bem como a malha computacional utilizada, com cerca de 560 mil nós podem ser vistas na Figura 1. Um teste de malha foi conduzido para garantir a independência dos resultados com relação à malha. Os softwares do pacote comercial

da ANSYS® v18.0 foram usados para todas as etapas das simulações: DesignModeler®, ICEM CFD®, Fluent® e CFD-Post.

Figura 1 – (a) Geometria. (b) Malha do hidrociclone proposto.

O tratamento fenomenológico do escoamento considerado nas simulações consiste na aplicação das equações de transporte representativas dos princípios de conservação de massa (continuidade) e de momento linear. O escoamento bifásico, constituído pelas fases oleosa (contínua) e aquosa (dispersa), foi tratado pela abordagem Euler-Euler, com gotas de água de diâmetro constante ($50\mu\text{m}$ para as nove simulações do planejamento e variações entre $10\mu\text{m}$ e $120\mu\text{m}$, de 10 em $10\mu\text{m}$, para construção da curva de eficiência granulométrica). Tal abordagem se fundamenta em solucionar as equações de quantidade de movimento individualmente para cada fase, o que leva a campos de velocidade diferenciados, para um mesmo campo de pressão, junto à equação da continuidade para o sistema global e à equação de fração volumétrica para uma das fases.

Devido ao escoamento complexo que ocorre em hidrociclones, o modelo de turbulência utilizado foi o de Gibson e Launder (1978), pertencente à classe de modelos de tensores de Reynolds. As condições de contorno especificadas foram: velocidade uniforme de 6 ms^{-1} com fração volumétrica da fase dispersa de 10% para as duas seções de entrada tangenciais; valor nulo para a pressão manométrica no *overflow* e *underflow*; e condição de aderência nas paredes. No que tange à discretização dos termos de fluxo, aplicou-se o esquema centrado de 2ª ordem (CDS) para os difusivos e o esquema de interpolação QUICK para os termos advectivos. Ainda, a formulação pseudo-transiente foi empregada para conduzir as simulações estacionárias com o objetivo de favorecer sua convergência. Sua utilização em substituição ao tratamento transiente, como alternativa para superar as dificuldades numéricas encontradas com simulações em regime permanente diretamente, se mostrou eficaz no estudo comparativo desenvolvido por Anjos *et al.* (2017). Alcançaram-se resíduos da ordem de 10^{-5} para as equações da continuidade e de Navier-Stokes e de 10^{-3} para as de turbulência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Planejamento Experimental

As Equações (1), para a eficiência granulométrica, e (2), para a razão de fluido, são as correlações obtidas pelo ajuste estatístico dos dados provenientes das simulações. Através da metodologia de otimização simultânea, visando a maximizar G e minimizar R_f , os valores ótimos para os diâmetros de *overflow* e *underflow* foram de 1,55 cm e 1,26 cm respectivamente.

$$G = 45,28 - 7,844D_o^2 - 9,319D_o + 43,22D_u \quad (1)$$

$$R_f = 46,15 + 13,37D_o^2 - 56,08D_o + 65,35D_u - 18,91D_oD_u \quad (2)$$

3.2. Avaliação do Desempenho do Hidrociclone Obtido

A curva de eficiência granulométrica reduzida do hidrociclone projetado pode ser vista na Figura 2. Com base nesta, estimou-se o diâmetro de corte reduzido do hidrociclone em 57 μm , o que permite a realização de previsões de performance pelo cálculo da eficiência total reduzida em função da distribuição de tamanhos das gotas nas seções de entrada.

Figura 2 – Curva de eficiência granulométrica reduzida do hidrociclone projetado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante as ferramentas de CFD e de planejamento experimental, obteve-se um hidrociclone para separar gotas de água dispersa em óleo. O dispositivo dimensionado produz um diâmetro de corte reduzido de 57 μm , quando tratando uma vazão de 900 $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$. Os trabalhos futuros desta pesquisa consistem na validação das simulações realizadas através da verificação dos perfis de velocidades, com PIV, e na construção do hidrociclone para testes experimentais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, R. P.; OLIVEIRA, R. S.; MEDRONHO, R. A. Numerical Simulation of a Bradley Mini-Hydrocyclone. Proc. of the 7th Int. Conference on Advances in Applied Science and Environmental Technology - ASET. Bangkok: IRED Headquarters, p. 20-23, 2017.

ARAÚJO, C. A. O. D. Hidrociclones para a Separação de Misturas de Alto Teor de Óleo Disperso em Água. Tese de doutorado, Programa de Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, UFRJ. Rio de Janeiro, p. 119. 2015.

BRAGA, E. R. Desenvolvimento de um Hidrociclone para Separação do Óleo Presente em Águas Oleosas de Refinarias de Petróleo. Tese de Doutorado, Programa de Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Rio de Janeiro, p. 163. 2015.

GIBSON, M. AND LAUNDER, B. Ground Effects on Pressure Fluctuations in the Atmospheric Boundary Layer. *J. Fluid Mech.*, v. 86, p. 491-511, 1978.