

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE NUMÉRICA DA SEPARAÇÃO ÓLEO PESADO/ÁGUA POR HIDROCICLONE

AUTORES:

Kelly Cristinne Leite Angelim, Antonio Gilson Barbosa de Lima, Josedita Saraiva de Souza, Sidclei Benevides da Conceição

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Campina Grande - (UFCG/CCT/DEM)

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

ANÁLISE NUMÉRICA DA SEPARAÇÃO ÓLEO PESADO/ÁGUA POR HIDROCICLONE

Abstract

Most of the oil reserves of discoveries made in recent years has been heavy oil reservoirs, ie low-grade API. This fact has aroused a great interest from companies in developing new technologies for increasing the production of these oils. Thus, a new scenario of the oil industry has been forming and requires, for example, the adjustment of treatment units for oils, whose reserves are abundant but still show operational difficulties. Among the technological improvements to be exploited, the use of hydrocyclones have equipment that perform well in the treatment of the oily water. Besides presenting simplicity of construction, application versatility and compact size, the hydrocyclones seek to promote improvements in the quality of oil / water separation in order to meet environmental requirements. In this sense, this study aims to investigate numerically heavy oil separation process a stream of water via hydrocyclone, using the technique of computational fluid dynamics. Results of flow lines, pressure fields and volume fraction of the phases (oil and water) into the hydrocyclone and the mechanical efficiency and energy involved in the process are shown.

Introdução

A indústria de petróleo tem significativa importância no contexto energético, econômico e estratégico de todo o mundo, entretanto, trata-se de um dos setores com maior potencial para degradação do meio ambiente. Dentre os principais aspectos ambientais relacionados à indústria do petróleo, está a geração de água produzida, efluente recuperado dos poços de produção juntamente ao petróleo e gás natural (GOMES, 2014). De acordo com Silva (2000), as águas produzidas são potencialmente perigosas ao meio ambiente pelos diversos elementos que a compõem. A combinação de um ou mais desses elementos, a quantidade e as características do local onde esta for descartada devem ser levados em conta para avaliar um possível impacto ambiental, sendo necessário, portanto, seu tratamento adequado. Os hidrociclones são equipamentos que apresentam um bom desempenho no tratamento de águas oleosas com concentrações até 2000 ppm (SIMÕES, 2005; MATVIENKO e EVTYUSHKIN, 2007, SOUZA *et al.*, 2015). Desenvolvimentos recentes na tecnologia de hidrociclones têm permitido o uso destes equipamentos para lidar com teores crescentes de óleo. Um dos grandes obstáculos é quando a corrente oleosa é formada por óleos pesados e ultraviscosos. Todavia, tem se observado um crescente interesse das empresas de petróleo por este tipo de óleo, mesmo sabendo que ele é menos valioso, mais difícil de produzir e de ser refinado do que o óleo convencional. Este interesse pode ser atribuído a três fatos importantes: a) na atual situação econômica, muitos destes reservatórios de óleos pesados podem ser explorados satisfatoriamente; b) as fontes ou reserva de óleos pesados são abundantes e c) observa-se uma crescente escassez do óleo convencional (CHEN, 2006). Logo, os óleos pesados terão um papel importante na indústria de petróleo e muitos países estão se movimentando para aumentar sua produção, revisar suas estimativas e testar novas tecnologias. Por outro lado, a alta viscosidade dos óleos pesados induz a uma elevada perda de carga quando em contato direto com as paredes de dispositivos como poços, tubulações, hidrociclones, entre outros, exigindo elevadas potências de bombeamento para

assegurar altas vazões (SOUZA *et al.*, 2015). Desse modo, o presente trabalho visa avaliar o processo de separação do óleo de uma corrente de águas oleosas por hidrociclone, utilizando a técnica da fluidodinâmica computacional, de modo a obter condições otimizadas no desempenho deste equipamento com o maior aproveitamento da energia requerida.

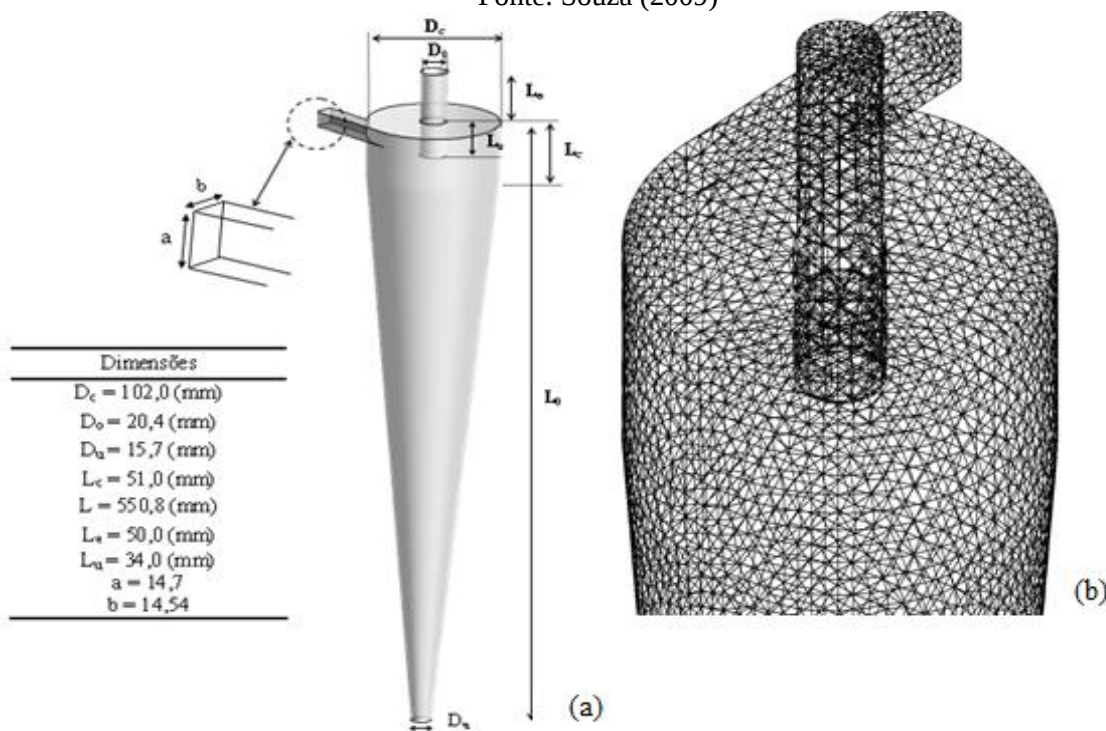
Metodologia

Geometria e Malha Numérica

O hidrociclone observado no presente trabalho corresponde ao dispositivo utilizado por Souza (2009), cujas dimensões estão conforme a Figura 1a. A malha não-estruturada foi gerada no módulo CFX-Build 5.5 e é formada por 228.219 elementos tetraédricos (Ver figura 1b). Maiores detalhes da confecção da geometria e da malha numérica deve-se reportar ao trabalho de Souza (2009).

Figura 1 – Representação geométrica (a) e malha não-estruturada do hidrociclone (b)

Fonte: Souza (2009)



Modelagem Matemática

O modelo matemático no presente trabalho considera o escoamento bifásico água-óleo pesado e ultra-viscoso, tridimensional, estacionário, isotérmico, no regime turbulento. Para descrever o escoamento no interior do hidrociclone utilizou-se das seguintes equações:

- Equação da Continuidade

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_{\alpha}\rho_{\alpha}) + \nabla \cdot (f_{\alpha}\rho_{\alpha}\vec{U}_{\alpha}) = 0 \quad (1)$$

Onde os sub-índices gregos α e β representam as fases envolvidas na mistura bifásica água/óleo pesado e ultraviscoso, f , ρ , e $\vec{U}$ são respectivamente a fração volumétrica, densidade e o vetor velocidade. Para a fase α , o vetor velocidade é dado por $\vec{U}_{\alpha} = (u, v, w)$.

- Equação da Quantidade de Movimento

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_{\alpha}\rho_{\alpha}\vec{U}_{\alpha}) + \nabla \cdot [f_{\alpha}(\rho_{\alpha}\otimes\vec{U}_{\alpha})] = -f_{\alpha}\nabla P_{\alpha} + \nabla \cdot \{f_{\alpha}\mu_{\alpha}[\nabla\vec{U}_{\alpha} + (\nabla\vec{U}_{\alpha})^T]\} + \vec{M}_{\alpha} \quad (2)$$

Onde assume-se que para a fase α , f é a fração volumétrica, ρ é a densidade, U é o vetor velocidade, μ é a viscosidade dinâmica, P é a pressão e $\vec{M}_{\alpha}$ descreve a força total por unidade de volume (forças de arraste interfacial, de sustentação, de lubrificação de parede, de massa virtual e de dispersão turbulenta).

A queda de pressão no hidrociclone foi determinada a partir da diferença da pressão na seção de entrada e nas seções de saída superior e inferior. A partir dos valores da queda de pressão no hidrociclone foi possível determinar a potência de bombeamento dos fluidos usando a Equação 3.

$$Potência = \Delta P x Q_o \quad (3)$$

onde ΔP é a queda de pressão no hidrociclone e Q_o é a taxa de fluxo volumétrico no overflow.

- Modelo de Turbulência

Utilizou-se o modelo de turbulência k - ε , onde os valores da energia cinética turbulenta, k , e da taxa de dissipação turbulenta, ε , são obtidas diretamente pelas Equações 4 e 5:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho \vec{U} k) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{kRNG}} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \nabla \cdot (\rho \vec{U} \varepsilon) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\varepsilon RNG}} \right) \nabla \varepsilon \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1 RNG} P_k - C_{\varepsilon 2 RNG} \rho \varepsilon) \quad (5)$$

Onde μ é a viscosidade dinâmica da mistura, ρ é a densidade e μ_t é a viscosidade turbulenta, dada pela Equação 6, como segue:

$$\mu_t = C_{\mu} \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

Onde $C_{\mu} = \sigma_{kRNG} = 0,7179$; $\sigma_{\varepsilon RNG} = 0,7179$; $C_{\varepsilon 2 RNG} = 1,68$.

Condições de contorno

Para realizar a análise do escoamento dos fluidos no hidrociclone, as seguintes condições de contorno e iniciais foram utilizadas:

- *Entrada:* Foram estabelecidos valores entre 1 m/s e 32 m/s de velocidades de entrada dos fluidos no interior do equipamento; fração volumétrica de 0,3 e 0,7 para as fases óleo e água, respectivamente, e uma temperatura fixa de 298K.
- *Saída:* Foi adotada a condição de pressão prescrita nas duas saídas do hidrociclone (overflow e underflow) e igual à pressão atmosférica ($P = 101325$ Pa).
- *Parede:* Definiu-se todas as componentes de velocidade nulas nas paredes internas do hidrociclone (condição de não deslizamento) e estas possuindo uma rugosidade de 0,045 mm.

Na Tabela 1 estão ilustradas as propriedades físicas dos fluidos (água e óleo pesado e ultraviscoso) usadas no presente trabalho.

Tabela 1 - Propriedades físicas do fluídos

Propriedades	Óleo	Água
Densidade (ρ) [kg/m ³]	963,6	997,0
Viscosidade μ [Pa.s]	1,2	0,000904
Condutividade térmica [W/mK]	0,12375	0,603015
Calor específico [kcal/g.K]	0,447	0,9985
Massa molar [kg/kmol]	18,015	-

Fonte: Adaptado de Souza (2009)

Eficiência de Separação

A eficiência de separação dos fluidos no interior do hidrociclone foi calculada considerando o fluxo mássico do óleo no overflow, W_o , pelo fluxo mássico do óleo na alimentação, W_A , dada pela Equação 7.

$$E(\%) = \frac{W_o}{W_A} \cdot 100 \quad (7)$$

Resultados e Discussão

Nas Figuras 2 e 3 estão representadas as linhas de fluxo no hidrociclone sobre o plano XZ para o óleo pesado e a água, respectivamente, considerando as velocidades de entrada de 4 m/s e 25 m/s. Verifica-se que a velocidade de entrada influencia consideravelmente no comportamento destas linhas favorecendo um aumento da força centrífuga e de arraste, proporcionando, assim, um aumento no número de voltas no interior do hidrociclone.

Figura 2 - Linhas de fluxo do óleo para velocidades (a) 4 m/s e (b) 25 m/s.



Figura 3 - Linhas de fluxo da água para velocidades (a) 4 m/s e (b) 25 m/s.



Na Figura 4 estão representados os campos da fração volumétrica das fases (óleo e água) sobre o plano YZ para a velocidade de 4 m/s. Verifica-se que há uma maior concentração de água na parte inferior do equipamento (Ver figura 4a) e de óleo nas proximidades do eixo (Ver figura 4b). Isso ocorre devido à diferença de densidade entre as fases da mistura.

Na Figura 5 estão representados os campos de pressão sobre o plano YZ passando pelo eixo central do hidrociclone. Pode-se observar uma queda de pressão de 7466 Pa para a velocidade de entrada de 4 m/s e de 311983 Pa para 32 m/s. Assim, nota-se que com o aumento do fluxo de alimentação há um aumento na queda de pressão, indicando um maior consumo de energia para o bombeamento da mistura para o interior do hidrociclone.

A Figura 6 mostra a eficiência de separação das fases (Ver figura 6a) e comportamento da potência de bombeamento (Ver figura 6b), ambas em função da velocidade de entrada dos fluidos no interior do hidrociclone. Verifica-se que a eficiência de separação das fases cresce com o aumento do fluxo de alimentação, atingindo seu valor máximo para a velocidade de 4 m/s. Em seguida, pode-se notar que mesmo aumentando a velocidade de entrada, ela decresce até certo ponto e se mantém praticamente constante. Pode-se observar ainda, na Figura 6b, que há um incremento na potência para maiores valores de velocidades e esse fato pode ser atribuído a um aumento da queda de pressão no equipamento, o que indica um maior consumo de energia para o bombeamento da mistura para o interior do hidrociclone.

Figura 4 – Campos de fração volumétrica sobre o plano XZ para as fases (a) água e (b) óleo pesado.

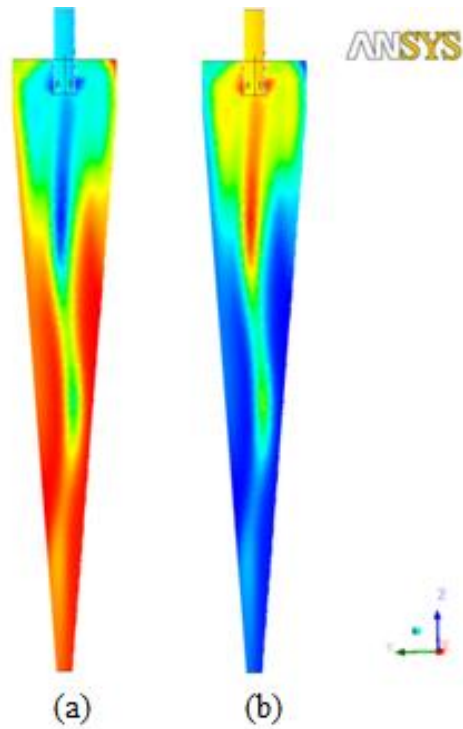


Figura 5 - Campos de pressões sobre os plano YZ para velocidade (a) 4 m/s e (b) 32 m/s.

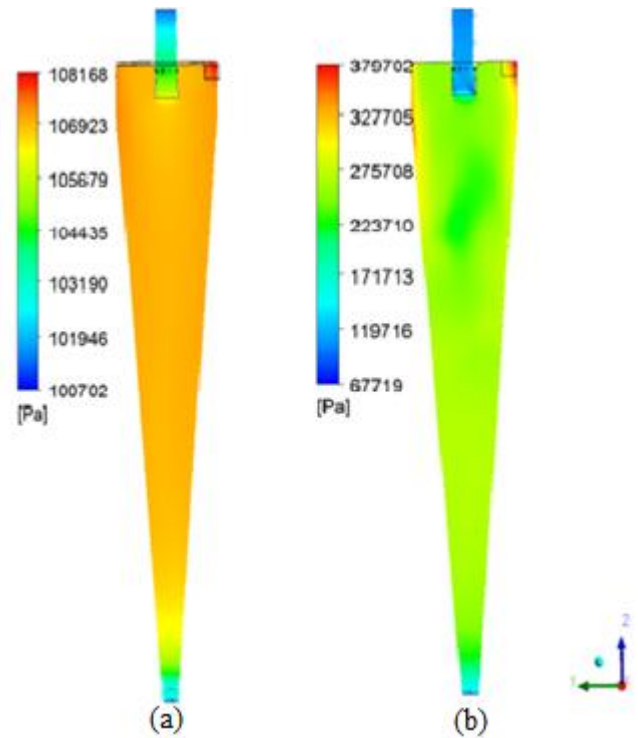
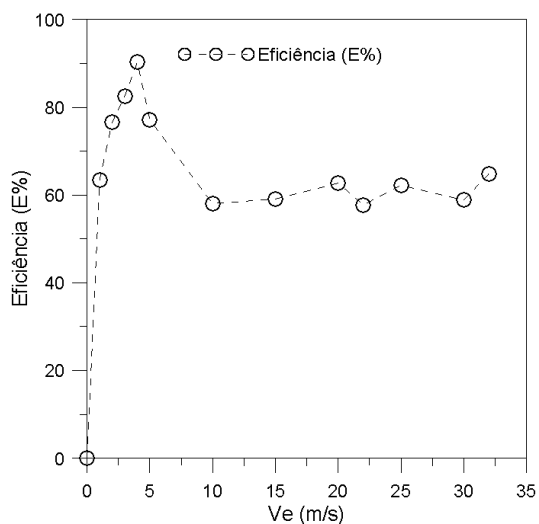
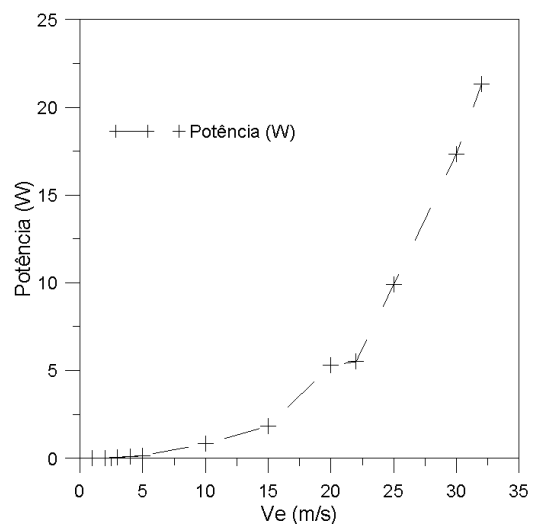


Figura 6 –Eficiência de separação (a) e comportamento da potência de bombeamento (b) em função da velocidade de entrada



(a)



(b)

Conclusões

- O modelo matemático foi capaz de prever o processo de separação água-óleo pesado e ultra-viscoso via hidrociclone;
- Os campos de pressão, fração volumétrica e as linhas de fluxo possibilitaram a construção do comportamento tridimensional do escoamento;
- O aumento da velocidade de entrada aumenta a queda de pressão, o que indica maior consumo energético para o bombeamento dos fluidos para o interior do hidrociclone.
- A eficiência de separação das fases cresce com o aumento do fluxo de alimentação, atingindo seu valor máximo para a velocidade de 4 m/s, em seguida decresce e se mantém praticamente constante em torno de 60%.
- Maiores fluxos volumétricos na entrada requerem maiores potências de bombeamento.

Agradecimentos

Agradecimentos a ANP/UFCG/PRH-42, a CAPES, ao CNPq, a FINEP, e a PETROBRÁS por todo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

CHEN, J., 2006. Heavy Oils, SIAM News. Vol 39, nº 3.

GOMES, A. P. P., 2014. Gestão Ambiental da Água Produzida na Indústria de Petróleo: Melhores Práticas e Experiências Internacionais. Dissertação de mestrado – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro- RJ, Brasil.

MATVIENKO, O.V EVTYUSHKIN, E.V., 2007. Theoretical investigation of the processo of cleaning oil-polluted soil in hydrocyclone apparatuses. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, Vol. 80, nº. 3, pp 72-80.

SILVA, C R R., 2000. Água produzida na extração de Petróleo (Monografia), Escola Politécnica Departamento de Hidráulica e Saneamento Universidade Federal da Bahia, Bahia – BA, Brasil.

SIMÕES, A.M.B.M., 2005. Separação de água-óleo derramado no mar usando hidrociclone: Um estudo numérico da intensidade turbilhonar provocado pelo duto de alimentação, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande, PB- Brasil.

SOUZA, J. S., 2009. Estudo numérico da termofluidodinâmica da separação de óleos pesados de uma corrente águas oleosas via hidrociclone, Dissertação, Universidade Federal de Campina Grande – PB, Brasil.

SOUZA, J. S, FARIAS NETO, S. R., LIMA, A. G. B., 2015. Separação de líquidos via hidrociclones: Termofluidodinâmica. Germany : NEA *Novas Edições Acadêmicas*, 2015, v.1. p.156., ISBN: 9783639699463.