

Análise com Fluidodinâmica Computacional do Efeito do Movimento Angular Jogo na Eficiência de Separadores Gravitacionais

C. M. COSTA, T. S. KLEIN e R. A. MEDRONHO

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química/DEQ

E-mail para contato: celso.c@globo.com

RESUMO – Os separadores gravitacionais são equipamentos hoje tratados como essenciais na separação trifásica água-óleo-gás, realizada após a extração de petróleo. É de fundamental importância reduzir os custos desta separação nas plataformas, além de atender às normas ambientais vigentes sobre o teor máximo de óleo na água descartada.

Para melhorar a eficiência desse processo, é necessário levar em consideração, no projeto e na operação destes equipamentos, a turbulência criada pela movimentação relativa da plataforma. Neste trabalho, foi analisada a influência do movimento angular periódico de rotação sobre o eixo principal (jogo) na eficiência de separadores gravitacionais, através de simulações com fluidodinâmica computacional. Devido à complexidade do escoamento e ao tamanho do equipamento, uma malha com 2.604.813 elementos e 659.883 nós foi utilizada em simulações no CFX 15.1 da ANSYS.

A eficiência da separação óleo-água em quatro casos distintos de razão água/óleo na vazão de entrada foi analisada. A influência do movimento jogo foi avaliada através do estudo dos perfis de fração volumétrica da água e de densidade gerados nas simulações. Os resultados obtidos mostram que para esse movimento angular da plataforma, cargas com razões de água/óleo entre 60-80% têm sua eficiência de separação reduzida.

1. INTRODUÇÃO

Por ser a principal fonte de energia do planeta, o petróleo é um fator geopolítico cada vez mais importante em um mundo cada vez mais globalizado. Devido a sua importância, a exploração e produção de petróleo são cada vez mais estudadas. A maior parte das reservas brasileiras está localizada em alto mar, sendo extremamente importante para o país, o desenvolvimento de tecnologia na exploração e produção de petróleo *offshore*. Após a extração do petróleo do poço, ele precisa passar por um pré-processamento antes de ser enviado para o continente, já que além da fase oleosa são extraídos gás e água.

Porém, a água é indesejada, sendo um dos principais contaminantes do petróleo. Sua concentração no petróleo extraído varia em função de alguns fatores como: características do reservatório, maturidade do poço produtor e método de recuperação utilizado (THOMAS et al, 2004).

A alta concentração de impurezas na água apresenta riscos às tubulações empregadas na operação, como oleodutos, que podem sofrer corrosão com consequências graves, como vazamentos e também no transporte de gás, pois a sua presença em condições operacionais de gasodutos pode levar à formação de hidratos, provocando o entupimento de linhas.

Um dos principais equipamentos responsáveis por esse pré-processamento é o separador gravitacional. Os separadores gravitacionais são equipamentos pressurizados que promovem a separação das fases misturadas (água, óleo e gás) além de absorver as flutuações da carga devido às características do escoamento multifásico proveniente do reservatório (FILGUEIRAS, 2005). O separador gravitacional água-óleo normalmente é composto por uma estrutura cilíndrica horizontal com uma grande razão comprimento/diâmetro e utiliza a diferença de densidade entre a água e o óleo para efetuar a separação física entre as duas fases por decantação, sob a ação da gravidade. Um dos principais problemas enfrentados na operação de separadores gravitacionais em plataformas *offshore* é o aumento da formação de emulsões água-óleo associado à intermitência na carga de entrada e ao movimento relativo da plataforma (Figura 1) que diminui a eficiência de separação devido ao transbordo de água sobre o vertedor de óleo.



Figura 1. Movimentos relativos da plataforma (AMBROSIO, 2007)

2. OBJETIVO

O presente trabalho busca estudar a influência de um dos movimentos relativos das plataformas de produção *offshore* no desempenho de separadores gravitacionais trifásicos por meio da técnica de fluidodinâmica computacional. Assim, será estudada a influência do movimento do tipo Jogo (Roll) sobre a eficiência de separação do separador gravitacional.

3. METODOLOGIA

Para efetuar a simulação numérica foi utilizado o programa comercial CFX, da ANSYS, versões 13.0 e 15.0. Esse software é composto por um pacote de programas. Para construção da geometria, foi empregado o programa Design Modeler. Para elaboração da malha, foi utilizado o programa Meshing. O CFX-PRE foi utilizado na configuração das condições de simulação, o CFX-SOLVER na resolução numérica e o CFD-POST na análise e visualização dos resultados obtidos.

Nesse trabalho, o mesmo separador de produção (Figura 2) utilizado por AMBROSIO (2007) e SANT'ANNA e MEDRONHO (2012) foi utilizado, cuja parte cilíndrica apresenta 16,8 m de comprimento e 5,6 m de diâmetro. Internamente, as únicas partes simuladas foram os seis quebra ondas e o vertedor, dispositivo indispensável em um separador gravitacional trifásico, responsável por conter a água enquanto o óleo é vertido para a câmara de óleo.

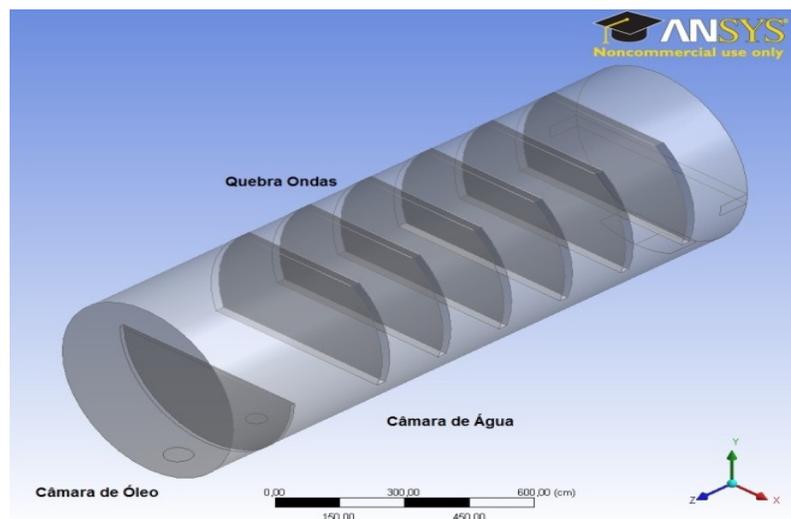


Figura 2. Geometria do Separador gravitacional

Normalmente, na entrada do equipamento encontra-se uma bateria de ciclones que não foi simulada. Como esses equipamentos são os maiores responsáveis pela separação do gás da fase líquida (composta por água e óleo) e o objetivo do estudo é a influência do movimento periódico da plataforma na separação água-óleo, foi considerado que o gás já se encontra dentro do separador, não havendo nem entrada nem saída desse fluido.

A entrada de água e óleo no equipamento também foi simplificada. Foram feitas duas entradas: uma para o óleo e outra para a água. As entradas foram projetadas de tal forma que ficassem posicionadas dentro das faixas de alturas normais de líquido, definidas pelas vazões de fluidos em diferentes cenários.

Elaborou-se 4 malhas tetraédricas para garantir independência de resultados. O modelo de turbulência adotado foi o modelo $k-\epsilon$. Para representar o escoamento multifásico foi escolhido o

modelo de escoamento homogêneo com abordagem euleriana. Esse modelo foi escolhido, considerando-se que as fases compartilham um mesmo campo de velocidade.

Como duas das fases estudadas na simulação (água e óleo) são, em princípio, imiscíveis, pode-se considerar, em nível de modelagem, que possuem uma interface bem definida. Dessa forma, foi utilizado, junto com o modelo homogêneo, o modelo Volume of Fluid (VoF). A distribuição das frações volumétricas ao longo do domínio foi então especificada, modelando a interface entre as duas fases (água-óleo e óleo-gás). Além disso, é necessária a determinação da localização das interfaces dos fluidos ao longo do domínio, até antes do vertedor, determinadas a partir do fundo do equipamento, conforme indicado na Tabela 1. A porosidade do quebra onda poroso foi considerada como 0,5 pois há uma ampla gama de quebra ondas utilizados pela indústria com diferentes porosidades (MOFRAD, 2013).

Na modelagem, o movimento foi caracterizado como ondas regulares de pequenas amplitudes, periódicas e uniformes. O movimento foi simulado através de funções senoidais, possuindo período de 14s, fazendo, neste período, inclinação máxima de 2,5° para direita e 2,5° para esquerda em relação ao eixo z. Foram consideradas ainda duas inclinações: a inclinação de 0,5° para os ângulos estáticos de banda (rotação de 0,5° para cima em torno do eixo x) e trim (rotação de 0,5° para cima em torno do eixo z).

Foram realizadas quatro simulações, com condições de contorno diferentes, considerado quatro vazões distintas de água e óleo (Tabela 2). Os quatro cenários analisados (A, B, C e D) tiveram as suas vazões mássicas de fluidos e suas respectivas propriedades físicas baseadas nos dados referentes ao ano de 2015 da curva de produção da plataforma apresentada por AMBROSIO (2007) e SANTANNA (2011).

Tabela 1. Frações volumétricas de água e altura da interface água/óleo de acordo com os cenários analisados

Cenário	Fração Volumétrica Água	Altura da Interface Água/Óleo (mm)
A	0,3592	2.331
B	0,2648	1.833
C	0,2188	1.597
D	0,1736	1.354

Tabela 2. Os quatro cenários de diferentes proporções água/óleo simulados

Cenário	Água/Total de líquido (%)	Vazão Mássica de água (kg/s)	Vazão Mássica de óleo (kg/s)
A	80%	112.3	28.1
B	60%	84.2	56.1
C	50%	70.2	70.2
D	40%	56.1	84.2

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível observar visualmente o movimento do separador por meio de perfis de densidade em planos XY. Na Figura 3, encontra-se o perfil em $Z=14.9\text{m}$, região acima do vertedor. Na Figura 4, encontra-se o perfil na câmara de óleo ($Z=15\text{m}$). O tempo dos perfis mostrados ($t=4.104\text{s}$ e 11.286s) são próximos dos tempos de maior oscilação ($t=3.5\text{s}$ e $t=10.5\text{s}$).

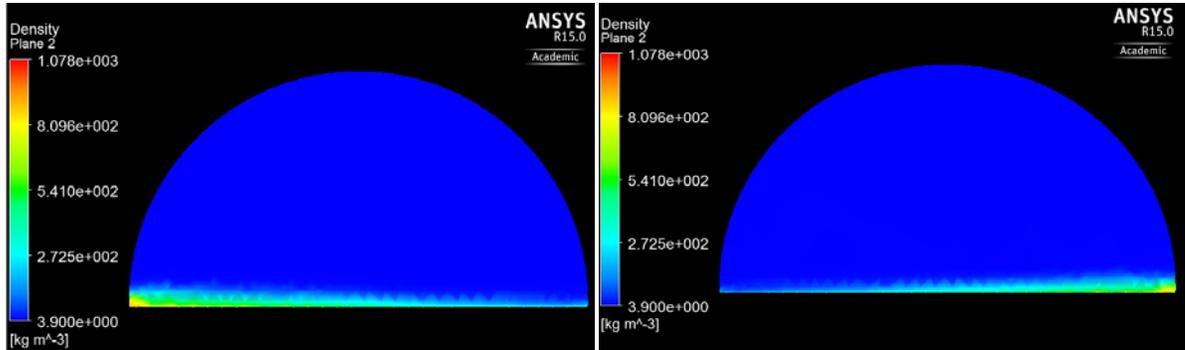


Figura 3. Perfil de Densidade – Plano XY, acima do vertedor ($Z=14.9\text{m}$) – $t = 4.104\text{s}$ (Esq.) $t = 11.286\text{s}$ (Dir.) – Cenário C

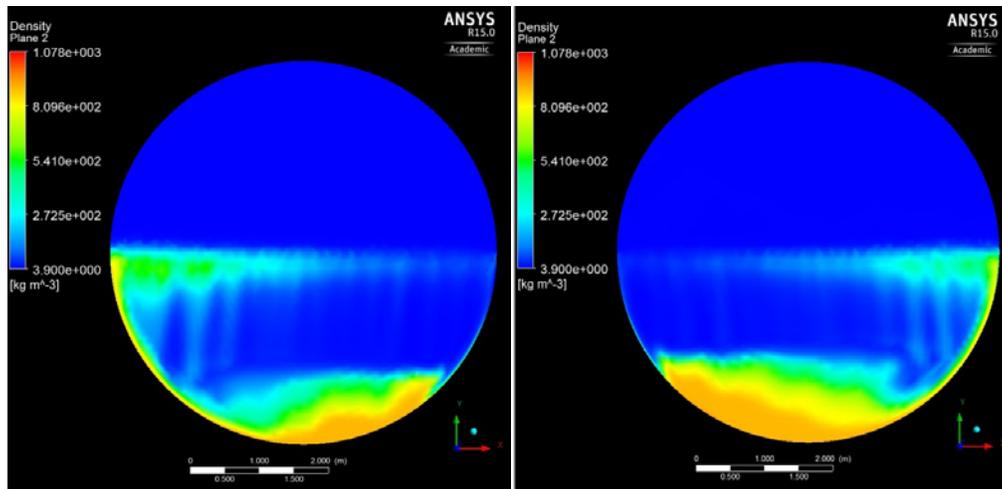


Figura 4. Perfil de Densidade – Plano XY, câmara de óleo ($Z=15\text{m}$) – $t = 4.104\text{s}$ (Esq.) e $t=11.286\text{s}$ (Dir.) – Cenário C

Como pode ser observado nas Figuras 5, 6, 7 e 8 o movimento angular joga influencia a altura da interface água-óleo, devido à oscilação imposta pelo movimento, mas apenas no cenário A, como podemos observar na Figura 7, ocorre ligeira passagem de água da câmara de separação para a câmara de óleo. Porém, de acordo com a Figura 9, que mostra a fração volumétrica de água em relação à altura Y (m), essa passagem interfere na qualidade do óleo exportado, já que em alguns momentos da

simulação, é possível observar uma alta presença de água na saída de óleo, concentração essa que excede o nível máximo da água permitido no petróleo, o que compromete a qualidade do óleo que é enviado para terra.

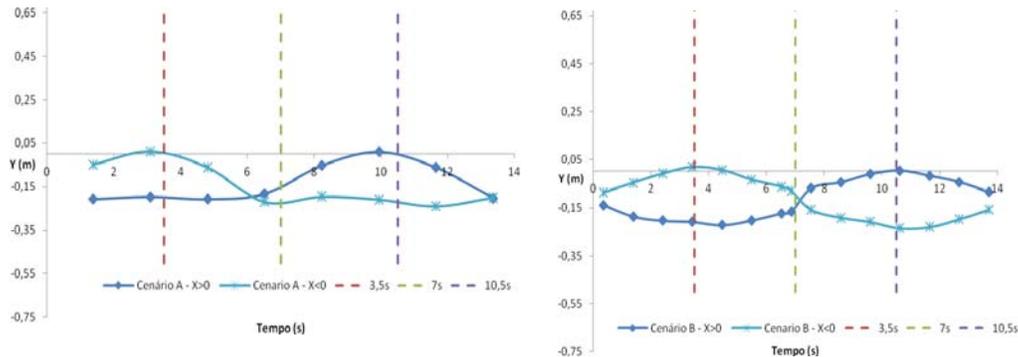


Figura 5. Altura (m) x Tempo (s) – Cenários A (Dir.) e B (Esq.)

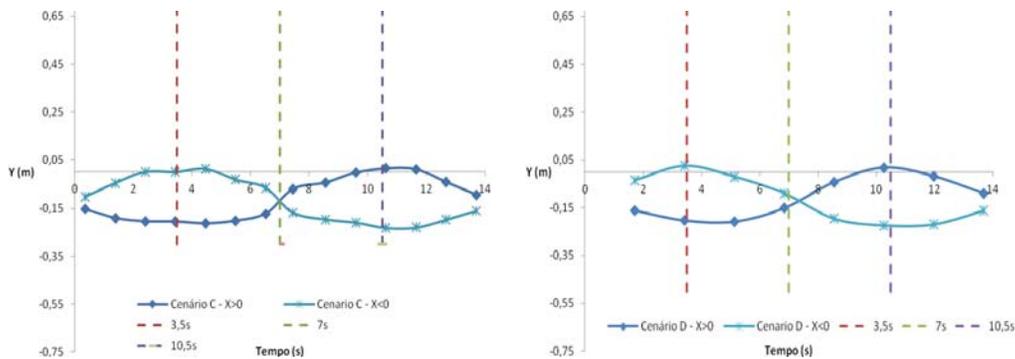


Figura 6. Altura (m) x Tempo (s) – Cenários C (Dir.) e D (Esq.)

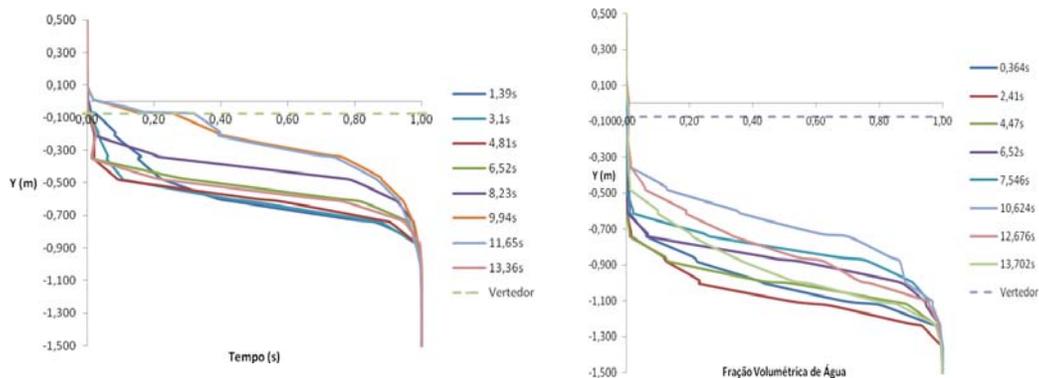


Figura 7. Fração volumétrica da água versus altura (m) – Cenários A(Dir.) e B (Esq.)

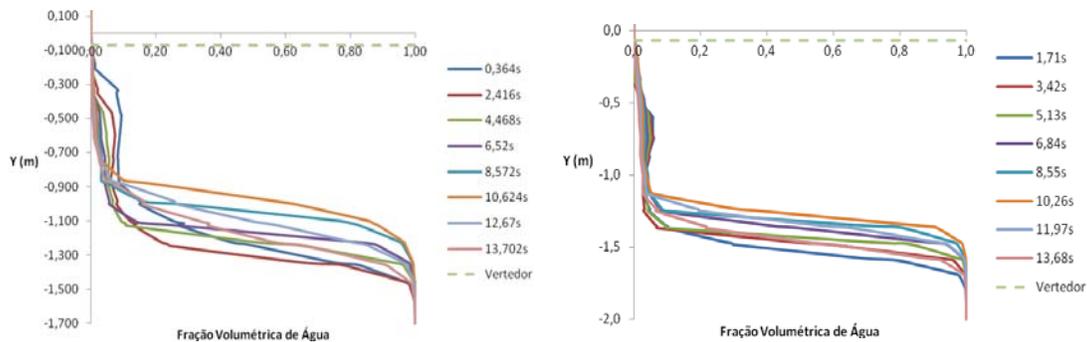


Figura 8. Fração volumétrica da água versus altura (m) – Cenários C(Dir.) e D (Esq.).

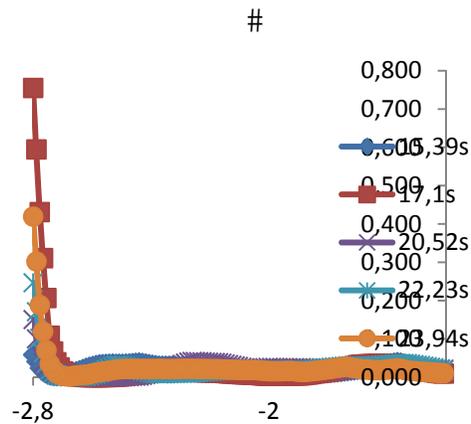


Figura 9. Fração Volumétrica de água acima da saída de óleo versus altura (m) - Cenário A.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos no trabalho, é possível concluir que confirmou-se que o movimento de jogo simulado altera a altura da interface água-óleo, mas apenas o cenário simulado com maior vazão de água teve a eficiência de separação ligeiramente afetada. O movimento não interfere na eficiência da separação água-óleo até a proporção estudada de 60% (Casos B, C e D), em massa, de água na entrada. Até este ponto, a água não escoava para a câmara de óleo em concentrações relevantes quando o separador atinge a maior inclinação possível. Para o caso de 80% em massa de água (Caso A), a simulação mostra que, a água passa para a câmara de óleo, escoando pela saída de óleo junto com o óleo, como pode ser observado na Figura 9,

prejudicando a separação. Logo, é possível concluir que a proporção limite de água na qual não ocorre a passagem desta da câmara de separação para a região após o vertedor está situada entre 60 e 80%, em massa, de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e ao programa PRH-ANP/MCT, em particular ao PRH 13 da Escola de Química/UFRJ, pela concessão de uma bolsa de pós-doutorado e de uma bolsa de graduação, respectivamente.

REFERÊNCIAS

AMBROSIO, R. D. Simulação Numérica de um Separador Gravitacional para a Segregação Óleo-Gás em Plataformas de Produção de Petróleo. 2007. 79 f. Monografia (Engenharia Química) – EQ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

FILGUEIRAS, N. G. T. Modelagem, Análise e Controle de um Processo de Separação Óleo/Água. 2005. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MOFRAD, Saeid R. Three Phase Separators – Liquid Internals. Disponível em: www.chemwork.org/PDF/board/Three20Phase20Separator20-%20Liquid%20Internals.pdf.

Acessado em 20/11/2013.

SANT'ANNA, N. S., ALVES, J. V. B., MEDRONHO, R. A. Influência do movimento relativo de plataformas de produção de petróleo sobre o desempenho de separadores gravitacionais, Anais do COBEQ 2012 - XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2012, Búzios, ABEQ - Associação Brasileira de Engenharia Química, 2012.