

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

A Influência da Arfagem em Plataformas de Produção de Petróleo sobre o Desempenho de Separadores Gravitacionais

AUTORES:

Natália S. Sant'Anna¹, João V. B. Alves², Ricardo A. Medronho³

¹santanna.natalia@gmail.com, ²joaovictorbr@hotmail.com, ³medronho@eq.ufrj.br

INSTITUIÇÃO:

Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro

A INFLUÊNCIA DA ARFAGEM EM PLATAFORMAS DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO SOBRE O DESEMPENHO DE SEPARADORES GRAVITACIONAIS

Abstract

In offshore production of oil and natural gas, these products must be subject to physical separations since the extracted mixture generally consists of an oily fraction, an aqueous fraction and gas, which can be or not associated with the oil phase. In addition, it may exist other impurities, such as salts in the water. These separations are essential for oil and gas achieve the specifications in relation to the concentration of salts and water, and the eventual separation of sand (that may come from the production well and that has not previously been separated) before being processed in refineries and petrochemical complexes.

The primary separation of the mixture oil / gas / water and sand occurs in horizontal gravity separators, which are large pressurized vessels that promote the separation by gravitational action and the barriers present in such equipment. These equipments are composed of separation chamber water / oil / gas and an oil chamber. The chambers are separated by a weir (the unique device that is really required, or the equipment would function as a biphasic separator), and other internal devices in order to facilitate the separation of water / oil. The three-phase separators have an input flow (for the mixture oil/gas/water) and three outputs (water, gas and oil).

This work intends to analyze the influence of the turbulence caused by relative movements of the production platforms in the separation of the mixture oil/water/gas. In order to make the analysis, the problem will be solved by Computational Fluid Dynamics (CFD), by simulating the three-phase separator using the software ANSYS CFX 12.1. Due to the complexity and size of a gravity separator, a mesh with around 520000 nodes and 2500000 elements is necessary to represent the oil/water/gas separation. It was also shown that a small pitch movement acting on the gravity separator produces changes in the normal heights of both liquids.

Introdução

O petróleo e o gás apresentam um interesse econômico relevante para a indústria, e devido a essa importância, é fundamental que estes passem por equipamentos que façam a adequada separação das fases misturadas.

Na exploração de petróleo *offshore*, a produção de um poço se modifica com o decorrer do tempo, com a quantidade de água extraída aumentando de acordo com o envelhecimento do poço. Esta água que é extraída junto com o óleo apresenta-se como um dos contaminantes mais indesejados no processo de produção de petróleo, já que contêm elevadas concentrações de sais inorgânicos em sua composição, o que pode acarretar em problemas no sistema de bombeamento e corrosão nas instalações, assim como no transporte até as refinarias. Em contrapartida, para que haja o descarte e reinjeção adequado da fase aquosa no mar, após o devido tratamento e de acordo com as normas de órgãos ambientais fiscalizadores, a concentração de óleo na água deve ser mínima.

Os separadores gravitacionais desempenham um papel muito importante na plataforma, e neles tradicionalmente ocorre a separação primária da mistura proveniente do poço (THOMAS *et al*, 2001). Estes equipamentos promovem a separação de grande parte da água misturada ao óleo, assim como o gás dissolvido, o que permite que a emulsão restante esteja no ponto ideal para a separação

eletrostática (equipamento que finaliza a separação água/óleo e onde não pode haver grandes quantidades de água, pois este equipamento pode entrar em curto caso isso ocorra).

Além disso, separadores gravitacionais absorvem as flutuações na carga (FILGUEIRAS, 2005), devido às golfadas, características do escoamento multifásico que vem do reservatório. Ou seja, eles recebem uma vazão flutuante e fornece aos equipamentos a jusante uma vazão mais estável.

A separação do óleo cru e das gotículas de água nesses grandes vasos pressurizados é promovida pelas barreiras físicas presentes em seu interior e, principalmente, pela ação gravitacional (STORMWATER, 2007) e pelo princípio de que fluidos imiscíveis se separam quando em repouso, com os fluidos mais leves no topo e os fluidos mais pesados no fundo (PINTO, 2009), através de um determinado tempo de residência no interior do equipamento. As barreiras físicas que facilitam a separação água/óleo são devido aos dispositivos presentes no interior do separador, tais como dispositivos ciclônicos situados na entrada do separador, placas perfuradas, eliminadores de névoas e gotículas, entre outros.

A separação do gás é relativamente simples, já que sua densidade é bastante diferente das densidades das outras fases presentes. Já a separação da água/óleo não é tão simples, apesar de serem dois líquidos imiscíveis. Isto ocorre porque uma emulsão água/óleo é formada com o bombeamento, transporte e expansão dos fluidos produzidos. Além da água emulsionada, está também presente a água livre, que é totalmente removida pelo separador gravitacional, deslocando-se para o fundo deste.

Dentre os fatores que podem influenciar na separação das fases e na qualidade do óleo produzido encontra-se a turbulência causada pelo movimento relativo das plataformas no mar, que é um fator nocivo não só para o separador trifásico, mas também para todos os equipamentos da planta de processo da plataforma. Sendo estes movimentos difíceis de serem controlados, os quebra-ondas, dispositivos internos presente em separadores gravitacionais trifásicos, têm como finalidade diminuir a turbulência no interior do equipamento. Esses dispositivos são pedaços de discos de recheio estruturado que ficam dispostos na parte superior do separador e parcialmente mergulhados no líquido, com a finalidade de diminuir a turbulência, gerada pelo fluxo multifásico vindo dos equipamentos a montante e pelo movimento das plataformas no mar.

Metodologia

Neste trabalho, o separador gravitacional trifásico e a influência dos movimentos relativos das plataformas de produção foram estudados através da técnica de fluidodinâmica computacional – CFD – ferramenta cada vez mais eficaz na solução de muitos problemas de engenharia, tais como problemas que envolvem aerodinâmica, termodinâmica, hidráulica, fenômenos de transporte, etc. Através de modelos baseados nos princípios de conservação de energia, de massa e de quantidade de movimento, podem ser preditos os campos de pressão, velocidades, concentração, temperaturas e as propriedades turbulentas, no domínio do espaço e do tempo.

Para a elaboração da geometria e malha, o pacote computacional *ANSYS Workbench* foi empregado.

Conforme o trabalho de AMBROSIO (2007), a geometria do separador, confeccionada no *Design Modeler*, foi simplificada em relação à geometria do equipamento original. Apenas a parte cilíndrica do separador foi construída. Porém, as dimensões originais do separador trifásico foram mantidas – 5,6 m de diâmetro e 16,8 m de comprimento. Os únicos dispositivos internos simulados foram o vertedor – responsável pela contenção da água separada, enquanto o óleo é vertido por sobre a chicana, sendo recolhido na câmara de óleo – e os quebra-ondas.

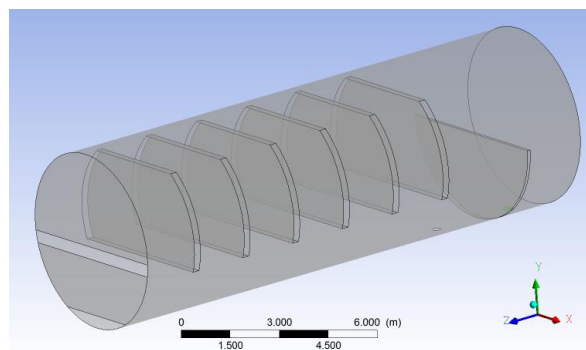


Figura 1. Geometria do separador gravitacional.

A bateria de ciclones situada na entrada do separador também não foi simulada, já que seu estudo requer simulações à parte. Como os ciclones separam a maior parte do gás do líquido (óleo e água) e o principal interesse do caso em estudo é a influência dos movimentos do mar na separação da água e do óleo, foi considerado que o gás já se encontra no interior do separador, não tendo então uma região de entrada e saída para este fluido.

Para que fosse facilitada a convergência das simulações computacionais, os quebra-ondas foram representados por barreiras sólidas, ou seja, não porosas, parcialmente mergulhadas no líquido, que permitem a passagem de gás em sua parte superior.

As alturas de líquido (antes e após o vertedor) que definem as alturas das interfaces dos fluidos foram calculadas através do volume total do separador e das frações volumétricas de fluido (Tabela 1). Essas alturas foram necessárias para que a entrada de óleo e a entrada de água ficassem exatamente dentro das faixas de alturas normais desses líquidos.

Tabela 1. Alturas das interfaces de fluido esperadas no interior do equipamento, antes e após o vertedor, a partir do fundo do separador.

Interface	Altura da Interface (mm)	
	Antes do vertedor	Após o vertedor
água /óleo	883,4	-
óleo /gás	2721,0	1011,5

Após a construção da geometria, foi realizado o teste de malha, de forma que fosse escolhido o tamanho ideal dos elementos, garantido que a malha não esteja interferindo no resultado das simulações. Cinco malhas de elementos tetraédricos com diferentes graus de refinamento foram construídas no CFX-Mesh, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Número de nós e elementos para as malhas utilizadas na realização do teste de malha.

	Malha I	Malha II	Malha III	Malha IV	Malha IV
nós	120228	319203	520359	719357	938653
elementos	513768	1454519	2486066	3447339	4584825

Na etapa de construção da malha, as regiões de entrada e saída de óleo e gás foram refinadas. Toda a região próxima à parede do separador foi também refinada, com camadas de elementos

prismáticos, através de um recurso do software chamado *inflation*, já que nesta região ocorrem grandes gradientes de velocidade.

Em seguida, empregou-se o ANSYS CFX 12.1 para a modelagem do caso, através do CFX-Pre. A solução do problema foi simulada no CFX-Solver e a visualização e análise dos resultados no CFX-Post.

Na modelagem do problema, as simulações em regime transiente foram definidas. No teste de malha realizado, não foram inseridos os movimentos da plataforma.

O modelo de turbulência utilizado foi o *k-epsilon*, um modelo que utiliza duas equações de transporte que calculam a energia cinética turbulenta e sua dissipação.

O modelo de escoamento homogêneo, em que as fases compartilham um mesmo campo de velocidades e turbulência, foi selecionado para modelar o escoamento. Para representar a situação de escoamento multifásico em que a separação das fases apresenta uma interface bem definida, o modelo conhecido como *volume of fluid* (VOF) foi empregado. Como este modelo geralmente requer a definição de condições iniciais apropriadas para a distribuição de frações volumétricas no interior do equipamento, foram criadas expressões para definir a localização das interfaces dos fluidos.

Foram definidas duas regiões de entrada, uma para água e outra para o óleo, assim como duas regiões de saída para os dois fluidos. Para estas regiões, as condições de contorno basearam-se nas vazões de fluido encontradas na curva de produção apresentada por AMBROSIO (2007), como mostra a Tabela 3. Assim, as vazões mássicas de saída para a água e para o óleo foram inseridas como sendo iguais as vazões de entrada para estes fluidos, respectivamente.

Tabela 3. Dados de vazão e propriedades físicas dos fluidos (AMBROSIO, 2007).

Variável	Óleo	Água	Gás
Vazão mássica (kg/h)	393548	111740	2172,8
Densidade (kg/m ³)	903,7	1078,1	3,9
Viscosidade (cP)	55,7	0,23	0,0128
Fração volumétrica	0,3972	0,0946	0,5082

Finalizado o teste de malha, foi inserido o movimento de arfagem ou *pitch* no separador. Este movimento ocorre na direção vertical com rotação em torno do eixo *x* (eixo horizontal transversal à embarcação - ver Figura 1), estando *z* na direção axial e a origem dos eixos coordenados no centro de massa do separador. O movimento simulado, inserido nas simulações na forma de uma função seno, possui período de quatro segundos, fazendo, neste período, ângulo de 2° para cima e 2° para baixo em relação ao eixo *x*, resultando em velocidades angulares de 0,0349 *rad/s* e -0,0349 *rad/s*, respectivamente.

Resultados e Discussão

Para análise da influência do movimento de arfagem na separação dos fluidos água-óleo no separador, foram realizadas simulações com e sem a inserção deste movimento. Nas simulações,

utilizou-se a Malha III, de aproximadamente 520 mil nós, selecionada durante a etapa de teste de malha.

A Figura 2 representa o comportamento da densidade para diferentes tempos de simulação ao longo de um diâmetro vertical localizado na região do separador antes do vertedor, para os casos com e sem o movimento. Nesta região do vaso, o escoamento no interior do equipamento é trifásico (água, óleo e gás), já que a separação da água e do óleo ainda não ocorreu. Desta forma, a distribuição de densidades apresenta três patamares bem definidos, que representam camadas de fluidos estratificadas, separados pelas interfaces entre os fluidos. O primeiro patamar refere-se à camada de água que se deposita no fundo do separador, o segundo patamar refere-se à densidade do óleo e o terceiro ao gás. É possível observar que os valores de densidade observados nesta figura estão de acordo com a Tabela 3.

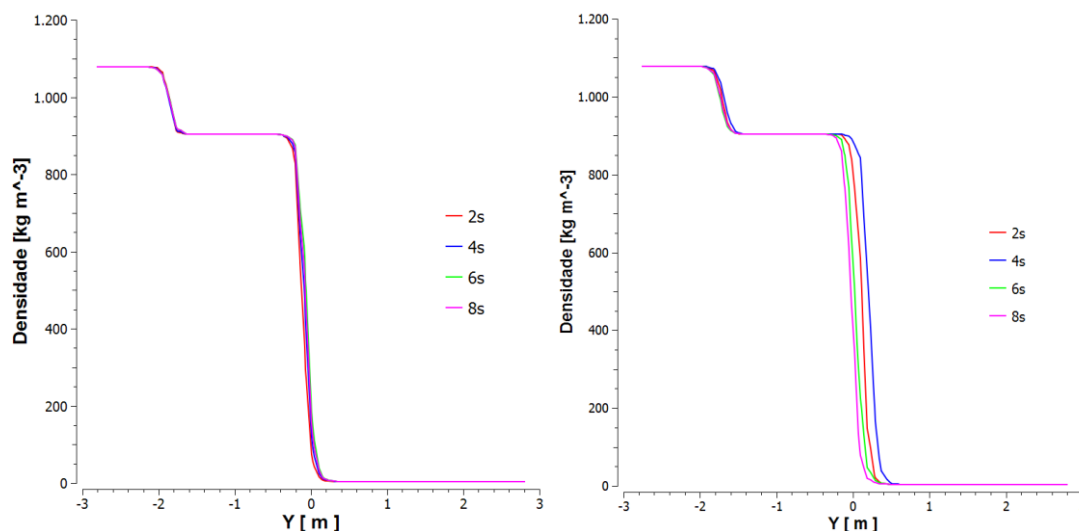


Figura 2. Distribuição da densidade na região antes do vertedor para diferentes tempos de simulação da Malha III, para os casos sem movimento (à esquerda) e com movimento (à direita).

Através da Figura 2, é possível notar que, para a simulação com movimento, as regiões do gráfico que delimitam as interfaces entre os fluidos (regiões da curva entre os patamares de densidade) há translação da posição destas interfaces ao longo do tempo – no intervalo de 2 a 8 segundos, sendo 4s o tempo de um período completo. Já na situação em que não há o movimento, as regiões de interface mantêm-se na mesma posição.

A Figura 3 mostra os vetores velocidade da água e do óleo. Pode-se perceber que os fluidos caminham na direção contrária à da entrada de fluidos, aumentando a altura de líquido nessa região.

O movimento de arfagem simulado mostra que, apesar da pequena angulação do movimento com a horizontal – apenas 2° para cada lado em um tempo total de 4s – a altura da interface água-óleo varia ao longo do tempo, porém, em pequenas proporções. Assim, como a quantidade de água é significativamente menor que a quantidade de óleo para as condições simuladas (água representa aproximadamente 20% da massa total de líquido no separador), os movimentos que atuam no equipamento não influenciam na separação destes líquidos, para estas condições.

Para o prosseguimento deste trabalho, a razão água/óleo será aumentada, a exemplo do que ocorre naturalmente ao longo da vida útil de um poço. Assim como serão estudados, além do

movimento de arfagem, os de guinada e rolagem, com o objetivo de avaliar-se a influência destes movimentos das plataformas na separação dos fluidos para diferentes fases da curva de produção.

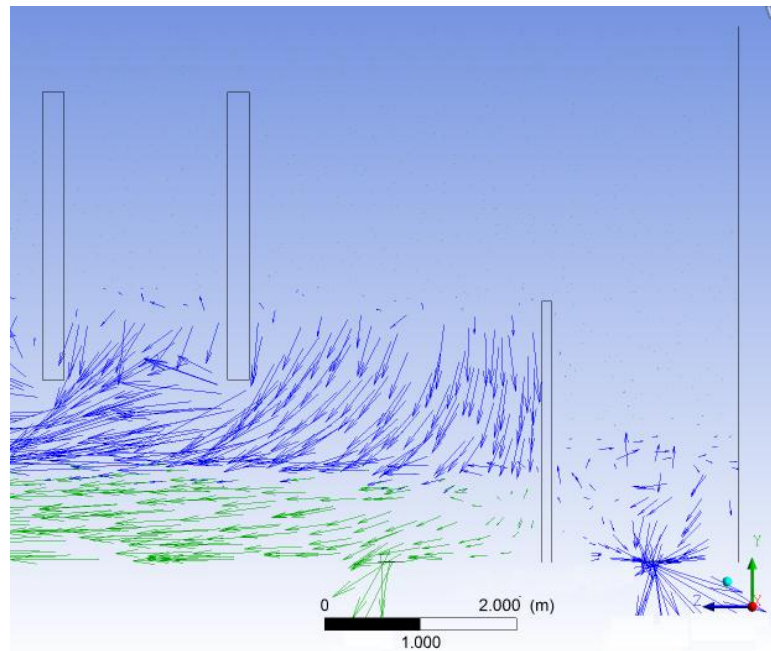


Figura 3. Vetores velocidade para água (camada inferior de fluido, em verde) e óleo (camada superior de fluido, em azul) no separador sob ação do movimento de arfagem, para o tempo de 2s.

Conclusões

O movimento de arfagem para pequenos ângulos – 4° , sendo 2° para cima e 2° para baixo em um tempo total de 4s – apesar de modificar a altura da interface água-óleo não afeta a separação destes líquidos, para a proporção água-óleo estudada (água representando 20% da massa total de líquido).

Agradecimentos

Ao apoio da Agência Nacional do Petróleo – ANP – e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – através do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP. Agradecemos, em particular, ao PRH-13 da Escola de Química – Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Referências Bibliográficas

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

- FILGUEIRAS, Natalia Gonçalves Tannus. **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.
- PINTO, Diego Di Domenico. **Estratégias de Controle Contra Intermitência Severa na Alimentação de Separadores Offshore**. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- Stormwater Best Management Practices-Permanent Treatment Management Practices, (2006). V.4. Disponível em http://www.nashville.gov/stormwater/docs/SWMM/2009/4/2009_Volume4_BMP.pdf, acessado em 16/05/2011.
- THOMAS, José Eduardo (Ed.): **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2ª Edição, Rio de Janeiro: Interciência, 2004.