

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INJEÇÃO DE ESFERAS OCAS NA BASE DO RISER NO PROCESSO DE DUPLO GRADIENTE DE PERFURAÇÃO

Danilo G. P. Carneiro¹, Antonio C. V. M. Lage², Rosana F. T. Lomba², Ricardo A. Medronho¹

¹ Depto. Eng. Química, Escola de Química, Centro de Tecnologia/UFRJ, Ilha do Fundão,
21949-900, Rio de Janeiro, Brasil, medronho@eq.ufrj.br

² PDEP/TEP, Cenpes, Petrobrás, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, Brasil,
lage@cenpes.petrobras.com.br

Resumo – Uma das grandes dificuldades da perfuração de poços de petróleo em alto mar é a proximidade das curvas de pressão nos poros e de fratura. Quanto maiores forem as lâminas d'água, mais próximas estarão estas curvas, tornando a operação cara e complicada. Uma solução para esse problema seria reduzir a pressão exercida pelo fluido de perfuração na cabeça do poço. Essa redução pode ser obtida através da injeção, na base do riser, de esferas ocas de baixa densidade, reduzindo-se, conseqüentemente, a densidade média do fluido de perfuração na região entre o leito do oceano e o nível do mar. A perfuração, nestas condições, é conhecida como perfuração com duplo gradiente (DGD = dual-gradient drilling). Neste trabalho, foram realizadas simulações, utilizando a ferramenta computacional CFX 5.7, para distintas formas de injeção tangencial das esferas no riser: injeções fazendo 0°, 30°, 45° e 60° com a horizontal. Os resultados forneceram informações relevantes para evitar a possível quebra das esferas que, por seu alto custo, é fator importante a ser considerado no estudo de viabilidade econômica do processo.

Palavras-Chave: perfuração; fluidodinâmica computacional; esferas ocas; riser, CFD.

Abstract – Dual gradient drilling (DGD) is intended to provide the same bottom hole pressure as would conventional drilling, avoiding the narrow margin between pore and fracture pressures normally found in offshore deepwater drilling. This technique uses two gradients in the wellbore annulus space: seawater density above the seafloor and mud density below it. DGD can be achieved by injecting hollow spheres in the bottom of the riser. This configuration allows the wellbore pressure to closely follow the path between the pore and fracture pressures. Therefore, a DGD technique would allow reaching deeper targets and greater final hole sizes using less casings, making the drilling process less expensive than a conventional one. In this work, CFD was used to study the best configuration for tangential injection of spheres into the riser. Comparisons are made for injection pipes doing 0°, 30°, 45° and 60° with a horizontal line. The results gave relevant information to avoid spheres breakage that, due their high costs, is an important point to be considered when studying the economical viability of the DGD process.

Keywords: drilling; computational fluid dynamics; hollow spheres; riser; CFD.

1. Introdução

Na perfuração de poços de petróleo em alto mar (perfuração offshore), a proximidade das curvas de pressão nos poros e de fratura em perfurações sob grandes lâminas d'água torna a operação cara e complicada. O fluido de perfuração utilizado para tal é, em geral, muito denso e de alta viscosidade. Isso porque, dentre suas principais finalidades, está sua capacidade de resfriar a broca e também atuar na elevação do cascalho gerado no processo de perfuração (FEP, 2001). Estudos recentes têm sido desenvolvidos buscando produzir fluidos de perfuração que sejam eficientes no cumprimento destas tarefas. Muller et al (2004) estudaram as características não newtonianas e os efeitos de concentração de goma *guar* (*Cyamopsis tetragonolobus*) como fluido de perfuração no intuito de obter maior eficácia na elevação do cascalho. A predição de velocidades terminais de sólidos em fluidos pseudoplásticos foi estudada por Kelessidis et al. (2004), onde foi analisada a influência da reologia do fluido no transporte do cascalho gerado em

poços de perfuração. Devido à densidade relativamente alta do fluido de perfuração, a pressão exercida pela coluna de fluido na base do *riser* é elevada e uma forma de minimizar este problema é através da injeção, na base do *riser*, de esferas ocas de baixa densidade, reduzindo-se, conseqüentemente, a densidade média do fluido de perfuração na região entre o leito do oceano e o nível do mar. A perfuração, nestas condições, é conhecida como perfuração com duplo gradiente (DGD = *dual-gradient drilling*) (Maurer, 2001).

Uma forma de se aplicar a tecnologia DGD é através de um sistema de bombas submersas que auxiliam na elevação do fluido de perfuração proveniente do fundo do poço. Este sistema é conhecido como SMD (*subsea mudlift drilling*) e tem sido alvo de muitas pesquisas (Judge e Thethi, 2003; Schumacher, 2002). Esse sistema parece bastante promissor, segundo resultados já obtidos por esses pesquisadores, porém é encontra problemas relacionados à viabilidade econômica. Outro estudo feito para aplicação da tecnologia DGD foi desenvolvido por Maurer et al. (1995) utilizando esferas ocas de vidro de baixa densidade. Neste trabalho foram reveladas as vantagens econômicas e técnicas da utilização de esferas para este sistema se comparado com utilização de gases como nitrogênio, bastante usados até então. Vera (2002) também apresentou dados relativos ao potencial uso de esferas ocas no sistema de DGD. Conclusões como a efetiva redução na densidade do fluido de perfuração devido à adição de esferas ocas, bem como a estabilidade da mistura foram obtidas. Porém, alguns pontos como a questão da quebra das esferas e a separação das mesmas do fluido de perfuração ainda não foram totalmente esclarecidos. Para resistir à pressão na base do *riser*, as esferas ocas utilizadas têm que ser fabricadas de material especial, normalmente um compósito. Elas são, portanto, de alto custo. Desta forma, este processo só será economicamente viável se for possível minimizar as quebras destas esferas no processo.

O objetivo principal deste trabalho foi estudar uma região crítica com relação à quebra das esferas das esferas: sua injeção na base do *riser*. Para realização de tal tarefa contou-se com o auxílio de fluidodinâmica computacional (CFD) utilizando a ferramenta CFX 5.7. Foi analisada a influência de diferentes ângulos de injeção das esferas na tentativa de reduzir a quebra e, também, o desgaste por atrito das esferas com a parede do *riser*.

2. Fluidodinâmica Computacional

A fluidodinâmica computacional envolve o estudo de escoamento de fluidos, transferência de calor e fenômenos associados, tais como reações químicas, por meio de simulações numéricas baseadas em processamento computacional (Versteeg e Malalasekera, 1995). Os principais códigos de CFD utilizam o Método dos Volumes Finitos para resolver as equações no domínio do fluido.

Grande parte dos escoamentos em sistemas internos encontrados na prática de engenharia são turbulentos ou apresentam flutuações em suas propriedades devido a algum tipo de não uniformidade na geometria (ex.: acidentes). Este é um regime de difícil caracterização, por isso, são utilizados modelos de turbulência capazes de representar esse fenômeno sem a necessidade de se calcular todas as escalas de turbulência.

Para resolver o escoamento dentro de um *riser* que possui uma coluna de perfuração com uma rotação constante e um sistema de injeção tangencial em sua base optou-se por uma simulação multifásica do tipo Euleriano-Euleriano. Assim, tem-se duas fases, sendo uma contínua, constituída pelo fluido de perfuração e outra de sólidos dispersos, composta por esferas ocas. Neste tipo de simulação, as equações de Navier-Stokes são resolvidas separadamente para cada fase, podendo-se, assim, inferir a influência de cada fase no escoamento.

Devido aos baixos valores de Re calculados neste escoamento foi utilizado o modelo de turbulência *SST-Shear Stress Transport* (Menter, 1994). Este é um modelo de duas equações que foi elaborado para obter resultados mais precisos nas regiões próximas à parede suprimindo as deficiências de modelos tradicionais e bastante utilizados como k-ε.

3. Materiais e Métodos

As simulações apresentadas neste trabalho são baseadas no modelo de *riser* em construção no LADEQ-Laboratórios do Departamento de Engenharia Química da Escola de Química/UFRJ. Com o objetivo de encontrar-se uma geometria que represente com segurança o comportamento real do *riser* de uma plataforma de perfuração, foi realizado um estudo de similaridade dinâmica, no qual foram mantidas constantes as relações entre as dimensões lineares (escala 1:2) e o Número de Reynolds no protótipo real e no modelo simulado. As condições de operação, as dimensões do modelo e as características das esferas ocas estão detalhadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

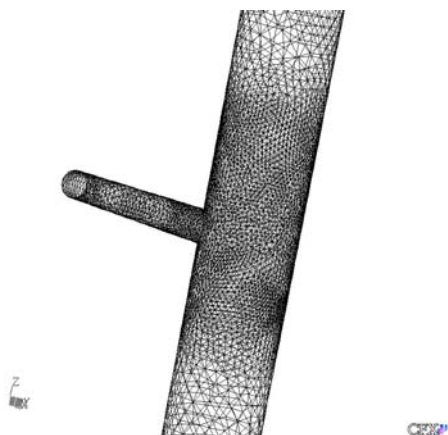
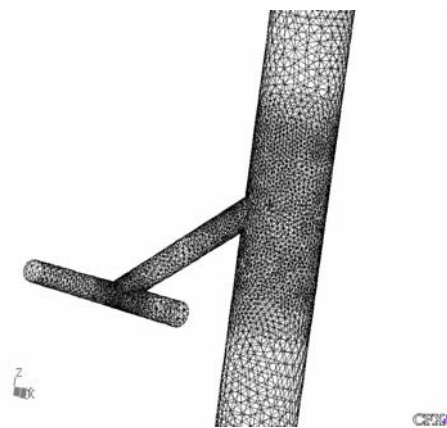
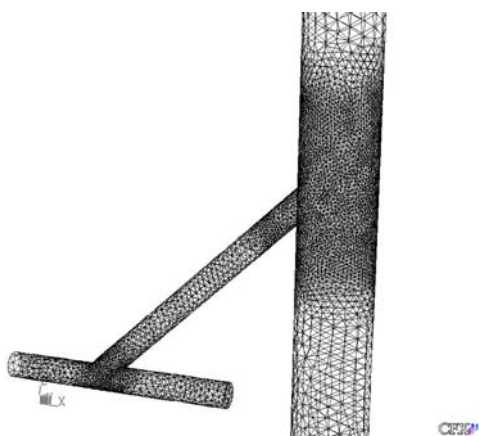
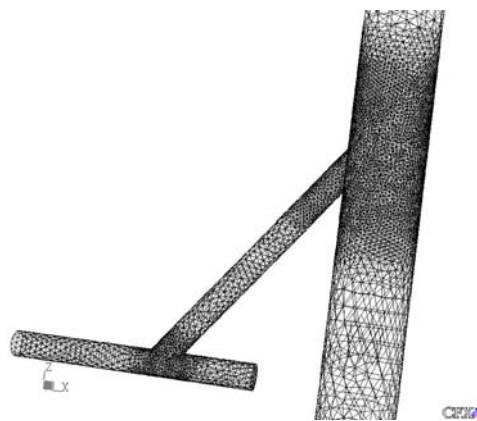
Tabela 1. Condições de operação e Dimensões do *riser* simulado e velocidades do fluido e de rotação da coluna de perfuração.

Tubo	Diâmetro (cm)	Velocidade
<i>Riser</i>	15,60	0,6 m/s
Coluna de Perfuração	6,35	4,5 rad/s
Linha de Injeção	5,34	3,0 m/s

Tabela 2. Principais características das esferas ocas.

	Esferas Ocas
Densidade (g cm^{-3})	0,53
Faixa de diâmetros	2,7-3,0
Concentração volumétrica (%)	24,5

As simulações numéricas conduzidas neste trabalho foram realizadas utilizando o código comercial de fluidodinâmica computacional CFX 5.7 e para construção das malhas foi utilizado o Design Modeller da ANSYS. Para o estudo da alimentação das esferas ocas na base do *riser*, foram construídas quatro malhas que possuem injeção tangencial e que diferem entre si pelo ângulo com a horizontal no qual é feita a injeção. Foram analisados os efeitos de uma injeção horizontal e de injeções com 30°, 45° e 60° de inclinação, conforme pode ser visualizado nas Figuras de 1 a 4. De acordo com essas figuras, pode-se perceber também que a alimentação é a região com maior número de elementos, isso por conta do grau de complexidade esperada para o escoamento nesta região. As malhas possuem aproximadamente 120.000 nós e 400.000 elementos cada.

Figura 1. Malha do *riser* com injeção horizontal da suspensão de esferasFigura 2. Malha do *riser* com injeção da suspensão de esferas fazendo 30° com a horizontalFigura 3. Malha do *riser* com injeção da suspensão de esferas fazendo 45° com a horizontalFigura 4. Malha do *riser* com injeção da suspensão de esferas fazendo 60° com a horizontal

4. Resultados e Discussões

Os resultados obtidos nas simulações relativas à injeção de esferas ocas na base do *riser* são apresentados nas figuras que se seguem. As figuras de 5 a 8 mostram os perfis de pressão obtidos na parede do *riser* para os diferentes tipos de injeção simulados. Estes perfis foram plotados respeitando a mesma faixa de pressão podendo, com isso, serem comparados. De acordo com estas figuras é possível identificar as regiões de maior impacto causada pela entrada da suspensão de esferas ocas no *riser*.

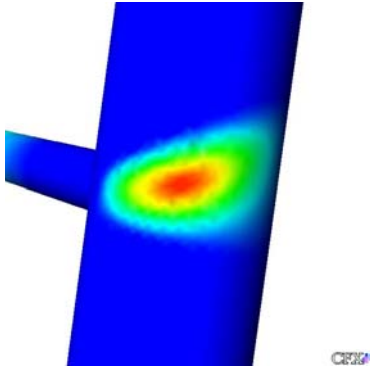


Figura 5. Perfil de pressão na região de alimentação do riser com injeção horizontal

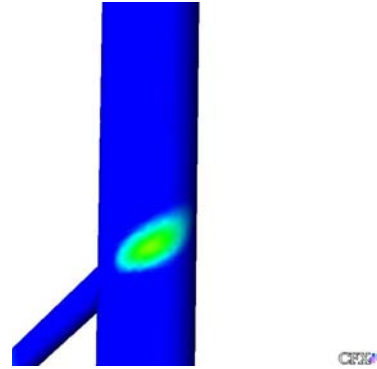


Figura 6. Perfil de pressão na região de alimentação do riser com injeção a 30° de inclinação

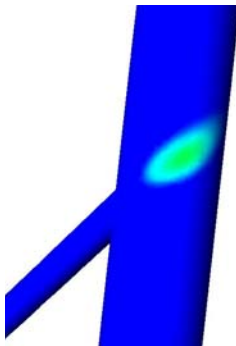


Figura 7. Perfil de pressão na região de alimentação do riser com injeção a 45° de inclinação

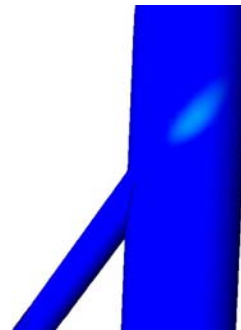


Figura 8. Perfil de pressão na região de alimentação do riser com injeção a 60° de inclinação

Os perfis de pressão revelaram que a injeção com ângulo de inclinação de 60° possui uma região de menor impacto das esferas com a parede do riser se comparado com os outros tipos de inclinação testados. Com isto, esta seria a conformação mais adequada para construção de uma unidade experimental.

Na Figura 9 estão representadas, para a injeção horizontal, as linhas de corrente do fluido na região de injeção, coloridas pela velocidade local das esferas ocas. Pode-se observar que as esferas entram no riser com altas velocidades e que parte delas desce com o fluido, em movimento circular em torno da coluna de perfuração, antes de assumir um sentido ascendente. Comparando as linhas de corrente obtidas nas simulações dos outros ângulos de injeção estudados foi observado que houve um alongamento destas linhas e a quantidade de esferas que desce é visivelmente reduzida. Isto pode ser visto na Figura 10, onde é mostrado o caso da injeção com ângulo de inclinação de 60°. Pode-se concluir, portanto, que quanto maior o ângulo de inclinação da injeção menor será o tempo de residência das esferas ocas no riser. A Figura 11 mostra os vetores-velocidade, que indicam a magnitude e intensidade da velocidade das esferas ocas escoando através do espaço anular do riser.

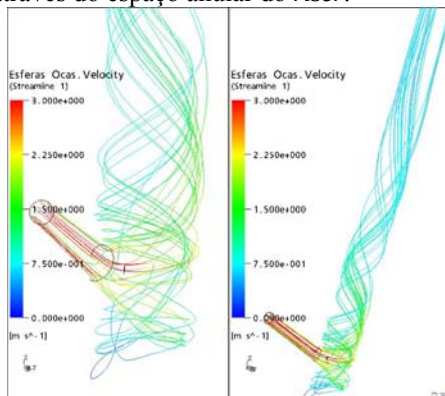


Figura 9. Linhas de corrente na região de alimentação do riser com injeção horizontal.

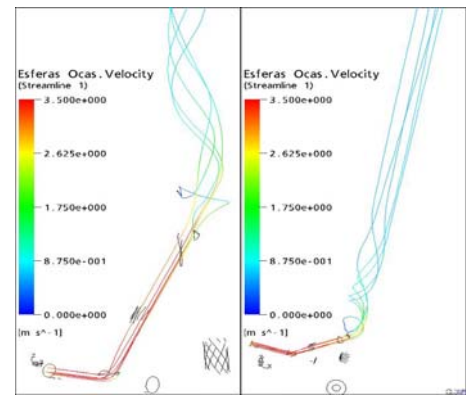


Figura 10. Linhas de corrente na região de alimentação do riser com injeção a 60° de inclinação.

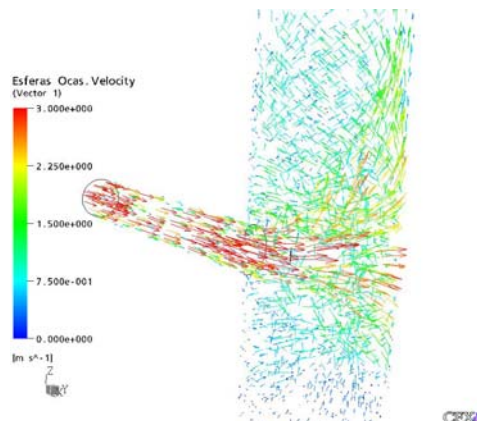


Figura 11. Vetores-velocidade na região de alimentação do riser com injeção horizontal.

6. Conclusões

Uma análise dos resultados obtidos através das simulações conduzidas com a ferramenta computacional CFX 5.7, mostra que a quantidade de esferas que assume um movimento descendente no *riser*, antes de iniciar a ascensão, é sensivelmente reduzida à medida que se aumenta o ângulo de inclinação da injeção da suspensão de esferas ocas. É possível concluir-se, também, que o ângulo com que é desenhada a injeção é muito relevante na redução da região de impacto e abrasão das esferas ocas. Com isso, o tipo de injeção que seria menos agressivo e que reduziria significativamente o desgaste das esferas é o que possui ângulo de inclinação de 60°.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP e à Agência Nacional do Petróleo, devido ao seu Programa de Formação de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás (PRH-ANP) e, em particular, à Escola de Química, através de seu Programa EQ-ANP (PRH 13) pelo apoio recebido.

8. Referências

- JUDGE, R. A., THETHI, R. Deploying dual gradient drilling technology on a purpose-built rig for drilling upper hole sections. *SPE/IACC Drilling Conference*, Netherlands, n. 79808, p. 1-11, 2003.
- KELESSIDIS, V. C., MPANDELIS, G. Measurements and prediction of terminal velocity of solid spheres falling through stagnant pseudoplastic liquids. *Powder Technology*, n. 147, p. 117-125, 2004.
- MAURER, W. C. *JIP to develop hollow spheres dual-gradient drilling system*, Maurer technology, Houston, 2001.
- MEDLEY, G. H., MAURER W. C., GARKASI, A. Y. Use of hollow glass spheres for underbalanced drilling fluids. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Texas, n. 30500, p. 511-520, 1995.
- MENTER, F. R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA-Journal*, v. 32, n. 8, 1994.
- MÜLLER, A. J., PÉREZ, R. M., SIQUIER, S., RAMÍREZ, N., SÁEZ, A. E. Non-newtonian annular vertical flow of sand suspensions in aqueous solutions of guar gum. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, n. 44, p. 317-331, 2004.
- SCHUMACHER, J. P., DOWELL, J. D., RIBBECK, L. R., EGGEMEYER, J. C. Planning and Preparing for the first subsea field test of a full-scale dual-gradient drilling system. *SPE Drilling & Completion*, n. 71358, p. 194-199, 2002.
- THOMAS, J. E. *Fundamentos da engenharia de petróleo*, Editora interciência, Rio de Janeiro, 2001.
- VERA, L. V. *Potential Use of Hollow Spheres in Dual Gradient Drilling*, Master of Science, Texas A&M University, College Station, USA, 2002.
- VERSTEEG, H.K., MALALASEKERA, W. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics - The Finite Volume Method*, Longman, London, 1995.