

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE DOS EFEITOS DA MUDANÇA NA REOLOGIA DO FLUIDO NO PROCESSO DE LIMPEZA DE POÇOS HORIZONTAIS

Marcelo dos Santos Lídio, marcelo_lidio@hotmail.com¹
Renato do Nascimento Siqueira, renatons@ifes.edu.br¹

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Rodovia BR 101 Norte – Km 58 –Litorâneo, São Mateus, ES, 29932-540, Brasil.

Resumo: A perfuração de poços horizontais é uma prática atrativa devido a uma maior área de contato entre o poço e o reservatório, propiciando uma maior produtividade e eficiência do processo. Para poços horizontais, observa-se uma configuração excêntrica causada pelo deslocamento da coluna de perfuração em relação ao poço devido aos efeitos gravitacionais, o que modifica a geometria do espaço anular e altera os padrões de escoamento. O processo de perfuração é caracterizado pela rotação da coluna e o peso aplicado sobre a broca que promovem a fragmentação da rocha gerando os cascalhos, que são removidos do fundo do poço pelo fluido de perfuração que é bombeado pela coluna e retorna pelo espaço anular até a superfície. A remoção dos cascalhos do espaço anular é afetada por diversos parâmetros como: a granulometria do cascalho, a geometria do poço, a rotação da coluna, a taxa de escoamento axial e a reologia do fluido de perfuração; dentre estes destaca-se a reologia do fluido, que é um dos parâmetros mais importantes na definição de uma estratégia de limpeza eficiente para evitar a obstrução do anular e a possível prisão da coluna. A mudança da reologia do fluido altera os perfis de velocidade e viscosidade no espaço anular, que são indicativos da capacidade de carregamento do fluido. Além disso, a escolha adequada de um fluido de perfuração leva a um menor consumo de energia no processo, pois as características pseudoplásticas do fluido diminuem o atrito com as paredes do poço e a coluna de perfuração, diminuindo a perda de carga. Este estudo analisa o escoamento laminar de fluidos não newtonianos em espaços anulares excêntricos com rotação da coluna, a fim de avaliar o efeito da reologia do fluido de perfuração em anulares estreitos. Para o estudo foi utilizado o software Ansys® CFX 16.0. A geometria do poço utilizada consistiu em dois cilindros formando um anular, com raio interno (r_i) = 0,0254 m, raio externo (r_e) = 0,0282 m e comprimento do tubo de 2,5 m. Foi realizada uma comparação entre o fluido padrão utilizado como referência para as atividades de perfuração de poços e um fluido utilizado em campos de exploração terrestre do norte do Espírito Santo, representados pelo modelo reológico de Herschel-Bulkley e de Cross, respectivamente. Foram mantidos constantes o número de Reynolds ($Re = 200$), a rotação ($\omega = 100$ rpm) e a excentricidade da coluna ($\epsilon = 0,8$). O estudo mostra uma maior velocidade axial e um menor achatamento do perfil para o fluido padrão. Ambos os fluidos apresentaram fluxo quase estagnado na região inferior do anular, o que pode ser prejudicial ao processo de limpeza. O fluido de campo apresentou menores valores de viscosidade efetiva na região inferior do anular, e de queda de pressão, o que demandará menor energia de bombeamento do fluido de perfuração.

Palavras-chave: Reologia, Anular excêntrico, Poços horizontais, CFD.

1. INTRODUÇÃO

O estudo e entendimento do escoamento de fluidos em espaços anulares tem grande relevância em vários setores da indústria como a química, alimentícia e petrolífera. Na indústria petrolífera o destaque é para as operações de perfuração e completação de poços, onde o espaço anular é caracterizado pela coluna e pela parede do poço.

A perfuração de poços horizontais é uma prática atrativa devido a uma maior área de contato entre o poço e o reservatório, propiciando uma maior produtividade e eficiência do processo. Para poços horizontais, observa-se uma configuração excêntrica, causada pelo deslocamento da coluna de perfuração em relação ao poço devido aos efeitos gravitacionais, o que modifica a geometria do espaço anular e altera os padrões de escoamento.

O processo de perfuração é caracterizado ainda pela rotação da coluna e o peso aplicado sobre a broca, que promovem a fragmentação da rocha gerando os cascalhos que são removidos do fundo do poço pelo fluido de perfuração. O fluido, na circulação convencional, é bombeado pelo interior da coluna e retorna pelo espaço anular até a superfície.

Os fluidos de perfuração são uma mistura complexa de líquidos, produtos químicos e sólidos, isto faz com que estes fluidos apresentem características não newtonianas. As funções do fluido de perfuração são: a garantia da integridade do poço, o resfriamento da broca, a lubrificação da coluna, prevenir a entrada de fluidos da formação, entre outras, tendo como a principal função o carregamento dos cascalhos retirados pelo processo de perfuração (Caenn e Chillingar, 1996).

A remoção dos cascalhos do espaço anular é afetada por diversos parâmetros como: a granulometria do cascalho, a geometria do poço, a rotação da coluna, a taxa de escoamento axial e a reologia do fluido de perfuração; dentre eles destaca-se a reologia do fluido, que é um dos parâmetros mais importantes na definição de uma estratégia de limpeza eficiente, pois a mudança desta altera os perfis de velocidade e viscosidade no espaço anular, que são indicativos da capacidade de carregamento do fluido e além disso, a escolha adequada de um fluido de perfuração leva a um menor consumo de energia no processo, pois as características pseudoplásticas do fluido diminuem o atrito com as paredes do poço e a coluna de perfuração, diminuindo a perda de carga.

Estudos como os de, Escudier *et al.* (2002), Loureiro e Siqueira (2006), Sun *et al.* (2014), Vieira Neto *et al.* (2014), Gabriel e Siqueira (2015), Zanete e Siqueira (2015) e Lidio e Siqueira (2015), mostram que o carregamento do cascalho é afetado por uma série de parâmetros, entre os quais, a reologia do fluido tem bastante relevância.

Okrajni e Azar (1986) analisaram, em um estudo experimental, os efeitos das propriedades reológicas do fluido de perfuração no transporte dos cascalhos e mostraram que a tensão limite de escoamento do fluido tem mais influência para inclinações do poço de até 45° e para o regime laminar; Para escoamentos turbulentos as propriedades reológicas do fluido não interferem no processo de transporte de cascalhos.

Caenn e Chillingar (1996) realizaram uma revisão geral sobre fluidos de perfuração, mostrando as funções e tipos do fluido de perfuração e suas aplicações.

Escudier *et al.* (2002) analisaram, em um estudo de CFD, o escoamento laminar de fluidos não newtonianos em anulares excêntricos com rotação do cilindro interno, utilizando fluidos representados pelos modelos *power-law*, Carreau, Cross e Herschel-Bulkley. Os autores concluíram que a excentricidade tende a aumentar o valor da perda de carga para baixas e altas excentricidade e reduzir para excentricidades médias ($0,3 < \varepsilon < 0,8$); Ainda concluem que os fluidos *power-law*, devido às características pseudoplásticas, provocam uma redução na perda de carga.

Segundo Costa e Fontoura (2005) a densidade, que estabiliza o poço mecanicamente, e a viscosidade, que permite a suspensão de materiais provenientes do corte das formações são as propriedades do fluido de perfuração que tem maior impacto no processo de limpeza de poços.

Baba Hamed e Belhadri (2009) em uma análise experimental, estudaram os efeitos da adição de biopolímeros, como a goma xantana, nos fluidos de perfuração representados pelo modelo Herschel-Bulkley e concluíram que o aumento da concentração de biopolímeros provocam o aumento da tensão limite de escoamento do fluido e provocam uma redução do índice de comportamento, o que pode ser benéfico para o processo de limpeza do poço.

Gabriel e Siqueira (2015), em um estudo CFD, avaliaram o efeito da mudança da reologia do fluido, representado pelo modelo *power-law*, alterando o índice de comportamento do mesmo. Os autores concluíram que fluidos com baixo índice de comportamento: promovem uma redução de até 89% na perda de carga quando comparado com fluidos com altos índices de comportamento; e aumenta a velocidade tangencial, assim como os gradientes de velocidade, auxiliando na ressuspensão do cascalho que será transportado pelo escoamento axial, pois aumenta a tensão de cisalhamento sobre o leito de cascalho, auxiliando o processo de limpeza do poço.

Mohammadzadeh e Akabari (2016) analisaram numericamente os efeitos de modificadores de viscosidade em fluidos de perfuração de base óleo, representados pelo modelo Herschel-Bulkley. O estudo mostrou que fluidos com maiores valores de tensão limite de escoamento são melhores para o processo de limpeza de poços e a adição de viscosificantes aumenta a capacidade de carregamento do fluido.

Com o aumento do uso da técnica de perfuração de poços horizontais, o entendimento do comportamento do fluido no transporte dos cascalhos se tornou muito importante, com destaque para anulares estreitos, onde o espaço entre a coluna e o poço é muito pequeno (Han *et al.*, 2010).

De acordo com Ofei *et al.* (2015), a modelagem precisa do fluido de perfuração é essencial para a operação e isto se torna muito complexo pelo motivo de que o fluido deve ser projetado para cada situação específica, fazendo necessário o estudo do comportamento dos fluidos utilizados em campo no carregamento dos cascalhos, a fim de conhecer as principais diferenças entre o fluido de campo e o fluido padrão.

O presente trabalho busca, através da simulação numérica do escoamento laminar de fluidos não-newtonianos em espaços anulares excêntricos com rotação da coluna, avaliar o efeito da reologia do fluido de perfuração em anulares estreitos, através da comparação entre o fluido padrão utilizado como referência para as atividades de perfuração de poços e um fluido utilizado em campos de exploração terrestre do norte do Espírito Santo.

2. EQUACIONAMENTO BÁSICO

As equações governantes do fluxo para os casos analisados neste trabalho são:

Equação da continuidade:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (1)$$

Equação de Navier-Stokes:

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\nabla P + \rho g + \mu(\nabla^2 \cdot \vec{V}) \quad (2)$$

Nas equações acima, V é a velocidade, ρ a massa específica, P a pressão, g a gravidade e μ a viscosidade efetiva do fluido.

2.1. Modelo de Herschel-Bulkley

O modelo reológico de Herschel-Bulkley é utilizado para representar fluidos não-newtonianos do tipo viscoplásticos. A equação que representa o modelo é descrita, de acordo com Chhabra e Richardson (2008), pelas Eqs. (3) e (4).

$$\tau = \tau_0 + K(\dot{\gamma}_{xy})^n \quad \text{para } \tau > \tau_0 \quad (3)$$

$$\dot{\gamma} = 0 \quad \text{para } \tau \leq \tau_0 \quad (4)$$

Onde o índice de comportamento (n) e o índice de consistência (K) são parâmetros de ajuste, τ_0 a tensão limite de escoamento (Pa) e $\dot{\gamma}_{xy}$ a taxa de deformação (s^{-1}).

2.2. Modelo de Cross

A equação da viscosidade de Cross é um modelo de quatro parâmetros utilizado para representar fluidos não-newtonianos, do tipo pseudoplástico. De acordo com Chhabra e Richardson (2008), o modelo pode ser representado pela Eq. (5).

$$\mu = \mu_\infty + \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{1 + K(\dot{\gamma}_{xy})^n} \quad (5)$$

Onde n (<1) e o índice de consistência (K) são parâmetros de ajuste, μ_0 e μ_∞ são os valores limites da viscosidade aparente para baixas e altas tensões de cisalhamento, respectivamente e $\dot{\gamma}_{xy}$ a taxa de deformação (s^{-1}).

2.3. Número de Reynolds

Para o cálculo do número de Reynolds do escoamento foi utilizada a relação de Madlener *et al.* (2009) descrita na Eq. (6). Esta é uma versão estendida do Reynolds generalizado para escoamento de fluidos não newtonianos caracterizados pelo modelo de Herschel-Bulkley.

$$Re = \frac{\rho \bar{u}^{2-n} D_h^n}{(\tau_0/8)(D_h/\bar{u})^n + K[(3m+1)/(4m)]^n 8^{n-1}} \quad (6)$$

Onde m é o gradiente local de tensão de cisalhamento, definido pela Eq. (7) e D_h é o diâmetro hidráulico, definido pela Eq. (8).

$$m = \frac{nK(8\bar{u}/D_h)^n}{(\tau_0 + K(8\bar{u}/D_h)^n)} \quad (7)$$

$$D_h = D_e - D_i \quad (8)$$

3. METODOLOGIA

Neste estudo de mecânica dos fluidos computacional (CFD) foi utilizado o *software* Ansys® CFX 16.0. A geometria utilizada consiste em dois cilindros, o cilindro externo, estático, com 0,0282 m de raio (r_e) e o cilindro interno rotacional, com 0,0254 m de raio (r_i). Ambos cilindros possuem 2,5 m de comprimento, garantindo o completo desenvolvimento do escoamento até a seção onde os dados foram retirados. A excentricidade, é definida por ($\varepsilon = e/\delta$), onde “ e ” é a distância entre centros dos cilindros interno e externo e $\delta = r_e - r_i$, foi mantida constante em $\varepsilon = 0,8$. A distância adimensional do cilindro interno para a parede externa é definida por ($\sigma = y/s$), onde “ y ” é a distância radial da parede do cilindro interno até o ponto avaliado e “ s ” o tamanho do espaço anular. A Fig.1 ilustra a representação esquemática da geometria estudada.

Foram estudados valores de rotação variando de $\omega = 0$ a 400 rpm e Reynolds de $Re = 200$ a 1000. Uma malha estruturada foi utilizada nas simulações e a independência da malha foi verificada para o caso mais crítico ($\omega = 400$ rpm / $Re = 1000$). Para o controle dos elementos na direção azimutal, os tamanhos mínimo e máximo da face foram fixados

em 0,001 m e o número de divisões da malha foi de 90 na direção radial, 108 na direção axial, 220 na direção azimutal. As simulações foram realizadas em regime permanente e o critério de convergência foi o valor quadrático médio (RMS) dos resíduos igual a 1×10^{-4} . No presente trabalho as condições de contorno adotadas foram: $Re = 200$, rotação do cilindro interno de 100 rpm e condição de saída com pressão relativa fixada em 0 Pa

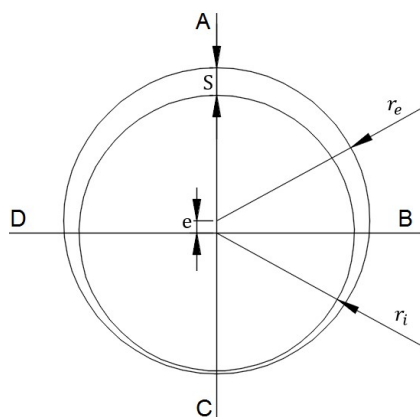


Figura 1. Representação esquemática da geometria estudada.

Os fluidos utilizados foram um fluido padrão utilizado como referência para as atividades de perfuração de poços, com as características não-newtonianas do fluido representadas pelo modelo reológico Herschel-Bulkley, e um fluido polimérico salgado utilizado em campos de exploração terrestre do norte do Espírito Santo, com as características não-newtonianas do fluido representadas pelo modelo reológico de Cross. Os parâmetros dos fluidos são mostrados na Tab. 1 e a Fig. 2 mostra a *flow curve* do fluido de campo. Os dados do fluido padrão foram obtidos de Pereira (2013).

Tabela 1. Parâmetros reológicos do fluido.

Fluido padrão (Herschel-Bulkley)		Fluido de Campo (Cross)	
ρ (kg/m ³)	1000,00	ρ (kg/m ³)	1114,39
τ_0 (Pa)	17,81	μ_∞ (Pa.s)	0,010
		μ_0 (Pa.s)	52,87
K (Pa.s)	0,26	K	13,5
n	0,74	n	0,79

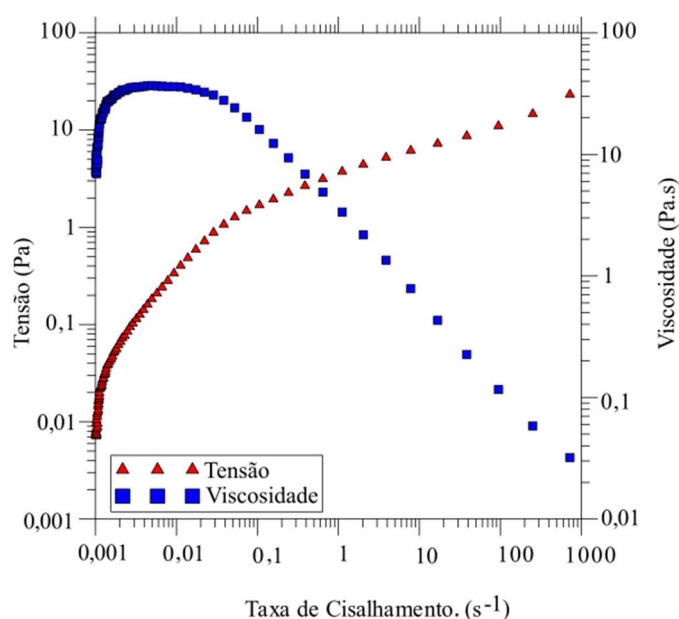


Figura 2. Flow curve do fluido de campo.

4. RESULTADOS

4.1. Validação do modelo numérico

Nesta seção o modelo CFD é validado utilizando os dados experimentais de Nouar *et al.* (1998). De acordo com a Fig. 2 o perfil de velocidade axial simulado mostrou boa concordância com os dados experimentais, uma vez que a distorção no perfil de velocidade causada pela rotação do cilindro interno, observada por Nouar *et al.* (1998), também é notada no perfil simulado.

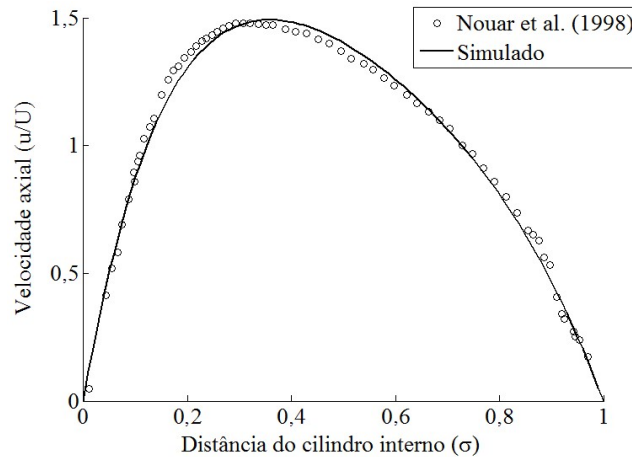


Figura 3. Comparação do modelo numérico com dados experimentais. $V = 0,0728$ m/s, $\omega = 268,2$ rpm.

4.2. Efeitos da Reologia do fluido

Na Fig. 3 são apresentados os perfis adimensionais de velocidade axial na região superior do anular (Linhas superiores). De acordo com a figura o fluido padrão, representado pelo modelo Herschel-Bulkley, apresenta uma maior velocidade axial, quando comparado com o fluido de campo; é possível notar também que o fluido padrão apresenta um menor achatamento do perfil na zona de velocidade máxima. O fluido de campo, representado pelo modelo de Cross, apresenta uma menor velocidade axial neste setor do anular e um maior achatamento do perfil de velocidade. Este maior achatamento, favorece a remoção de cascalhos do interior do poço, uma vez que, de acordo com Gabriel e Siqueira (2015), este comportamento indica uma viscosidade efetiva elevada na região.

Na região inferior do anular (Linhas inferiores), ambos os fluidos apresentam fluxo quase estagnado, o que pode ser prejudicial para o processo de limpeza, uma vez que, baixas velocidades reduzem a capacidade de carreamento do fluido provocando a sedimentação dos cascalhos nesta região, formando um leito sedimentado.

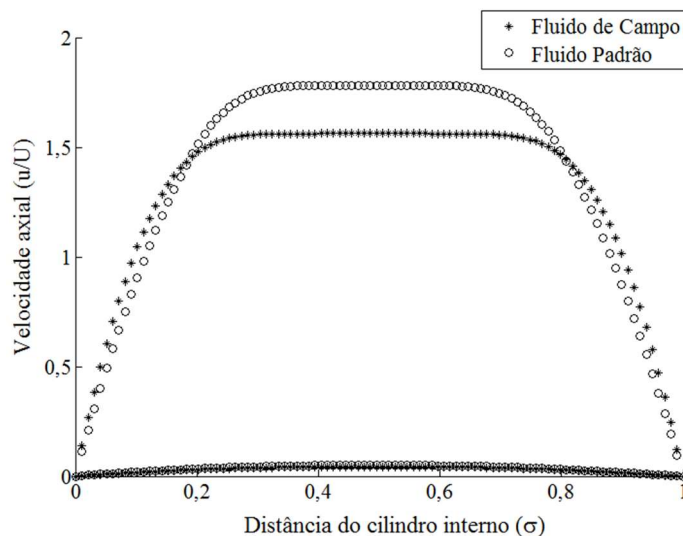


Figura 4. Efeitos da reologia sobre os perfis adimensionais de velocidade axial.

Os efeitos da reologia do fluido nos perfis adimensionais de velocidade tangencial são apresentados na Fig. 4. É possível observar, conforme a figura, que a alteração do fluido não acarreta em mudanças significativas no comportamento da velocidade tangencial na região inferior do anular (Linhas superiores); Os fluidos apresentam gradientes de velocidade elevados próximo à parede do poço, o que é desejável para a limpeza de poços pois, de acordo com Sun *et al.* (2014), os cascalhos são arrastados tangencialmente pelas forças viscosas do fluido. Na região superior do anular (Linhas inferiores) é possível notar que a velocidade tangencial é baixa para os dois fluidos analisados em quase todo anular; Uma zona de velocidades negativas é observada próxima à parede do poço, isto pode indicar uma zona de recirculação, que pode ser benéfica para o processo de limpeza pois esta ajuda a manter os cascalhos suspensos no fluido.

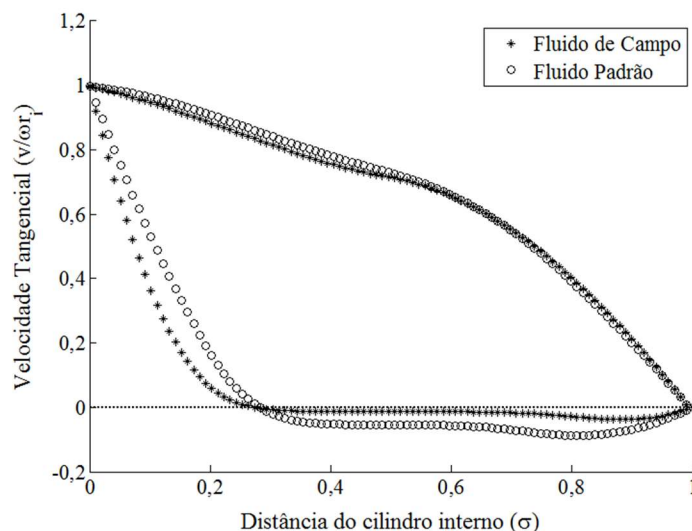


Figura 5. Efeitos da reologia do fluido sobre os perfis adimensionais de velocidade tangencial no anular.

A Fig. 5 apresenta os efeitos da reologia do fluido nos perfis de viscosidade efetiva na região inferior do anular. De acordo com a figura, o fluido padrão apresenta uma maior viscosidade em toda região do anular, quando comparado com o fluido de campo, o que favorece o carregamento dos cascalhos. Alta viscosidade na região central do anular é benéfica para o processo de limpeza de poços, pois aumenta a capacidade de carregamento do fluido, porém é desejável um menor valor de viscosidade próximo às paredes do poço e da coluna, pois desta maneira haverá uma redução do atrito do fluido com as paredes e menor torque sobre a coluna, tornando o fluido de campo mais favorável neste quesito.

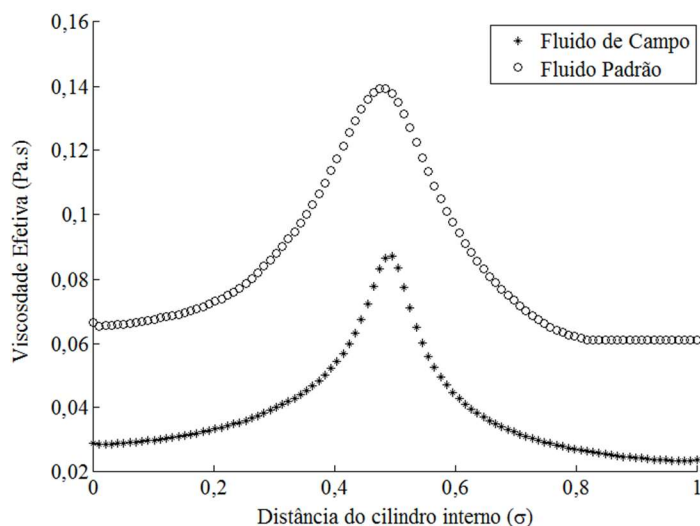


Figura 6. Efeitos da reologia do fluido sobre os perfis de viscosidade no setor inferior do anular.

Na Fig.6 são apresentados os efeitos da reologia do fluido sobre a queda de pressão no anular. De acordo com a figura o fluido aplicado em campo possui uma queda de pressão menor do que o fluido padrão. Desta maneira o fluido de campo demandaria uma menor energia de bombeamento do fluido de perfuração.

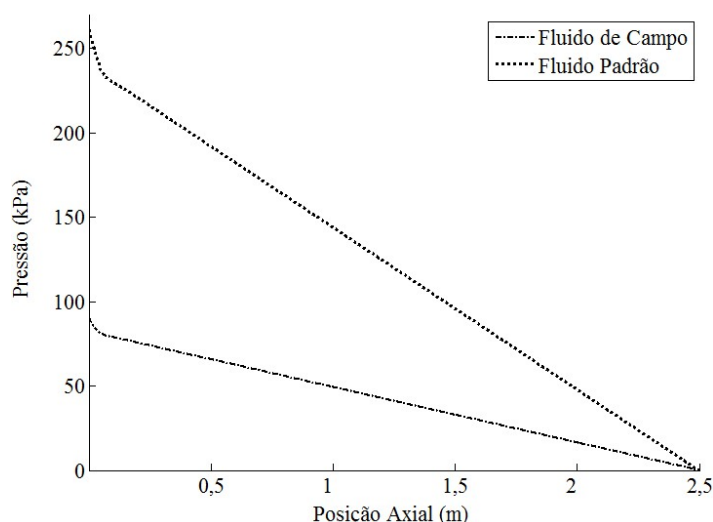


Figura 7. Efeitos da reologia do fluido sobre os perfis de pressão ao longo da direção axial.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo foram avaliados os efeitos da reologia do fluido sobre os perfis de velocidade axial e tangencial, de viscosidade e na queda de pressão no espaço anular. Os resultados das simulações mostraram que mudança de fluido afeta as características do fluxo no anular e a queda de pressão.

O fluido padrão para as operações de perfuração apresentou uma maior velocidade axial no setor superior do anular em comparação com o fluido de campo, porém o fluido de campo possui um achatamento maior do perfil na região de velocidade máxima, o que favorece o processo de limpeza, pois aumenta a capacidade de carregamento do fluido. Para o setor inferior do anular a alteração do fluido não representou mudanças significativas, uma vez que os dois fluidos apresentaram um fluxo quase estagnado, o que pode ser prejudicial para a limpeza do poço.

Para velocidade tangencial os dois fluidos apresentam gradientes de velocidade elevados próximo à parede do poço, este comportamento é desejável para a limpeza de poços. Para a viscosidade, o fluido padrão apresenta uma melhor distribuição em todo o setor inferior do anular e um maior valor de viscosidade na região central do setor, o que é benéfico para o processo de limpeza. O fluido de campo apresentou uma menor queda de pressão em relação ao fluido padrão, demandando menor energia para bombear o fluido de perfuração.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pela estrutura e apoio à realização deste e outros trabalhos e aos demais integrantes do Grupo de Pesquisa em Mecânica dos Fluidos do IFES – Campus São Mateus.

7. REFERÊNCIAS

- Baba Hamed, S. and Belhadri, M., 2009. "Rheological properties of biopolymers drilling fluids". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 67, No. 3-4, pp. 84-90.
- Caenn, R. and Chillingar, G.V., 1996. "Drilling fluids: state of the art". *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Vol. 14, pp. 221-230.
- Chhabra, R.P. and Richardson, J.F., 2008. "Non-Newtonian Flow and Applied Rheology", Butterworth-Heinemann, Oxford, 2nd edition.
- Costa, S. S. and Fontoura, S. A. B., 2005. "Aspectos Importantes de Limpeza de Poços de Petróleo". *Proceedings of the 3th Congresso Brasileiro de P&G em Petróleo & Gás*, Salvador, Brazil.
- Escudier, M. P., Oliveira, P. J., and Pinho, F. T., 2002. "Fully developed laminar flow of purely viscous non-Newtonian liquids through annuli, including the effects of eccentricity and inner-cylinder rotation". *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 23, pp. 52-73.
- Gabriel, A.C., Siqueira, R.N., 2015, "Influência do índice de comportamento do modelo *power-law* na eficiência do processo de perfuração", *Proceedings of the 6th Encontro Nacional de Hidráulica de Poços de Petróleo e Gás*, Rio Quente, Brazil.
- Han, S.M., Hwang, Y.K., Woo, N.S. and Kim, Y.J., 2010. "Solid-liquid hydrodynamics in a slim hole drilling annulus". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 70, pp. 308-319.
- Lidio, M.S., Siqueira, R.N., 2015, "Drill pipe eccentricity effects on horizontal wells cleaning process", *Proceedings of the 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering*, Rio de Janeiro, Brazil.

- Loureiro, B.V. and Siqueira, R.N., 2006. “Determinação da tensão de cisalhamento mínima para arraste de partículas de um leito sedimentado”. Proceedings of the Encontro Nacional de Hidráulica de Perfuração e Completação de Poços de Petróleo e Gás – ENAHPE 2006. Domingos Martins, Brazil.
- Madlener, K.; Frey, B. and Ciezki, H. K., 2009. “Generalized Reynolds number for non-Newtonian fluids”. Progress in Propulsion Physics, Vol. 1, pp. 237-250.
- Mohammadzadeh, K., Hashemabadi, S.H. and Akbari, S., 2016. “CFD simulation of viscosity modifier effect on cutting transport by oil based drilling fluid in wellbore”. Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 29, pp. 355-364.
- Nouar, C., Desaubry, C. and Zenaidi, H., 1998. “Numerical and experimental investigation of thermal convection for a thermodependent Herschel-Bulkley fluid in an annular duct with rotating inner cylinder”. European Journal of Mechanics, Vol. 17, No. 6, pp. 875-900.
- Ofei, T.N., Irawan, S., Pao, W. and Osgouei, R.E., 2015. “Modified yield power-law fluid flow in narrow annuli with inner rotating pipe”. The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 93, pp. 150-165.
- Okrajni, S.S. and Azar, J.J., 1986. “The Effects of Mud Rheology on Annular Hole Cleaning in Directional Wells”. SPE Drilling Engineering, Vol. 1, No. 4, pp. 297-308.
- Pereira, M. S., 2013. “Aplicação da Secagem por micro-ondas no tratamento de cascalho de perfuração”, D.Sc. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Sun, X., Wang, K., Yan, T., Shao, S. and Jiao, J., 2014. “Effect of drill pipe rotation on cuttings transport using computational fluid dynamics (CFD) in complex structure wells”. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, Vol. 4, pp. 255-261.
- Vieira Neto, J. L., Martins, A. L., Ataíde, C.H. and Barrozo, M. A. S., 2014. “The effect of the inner cylinder rotation on the fluid dynamics of non-Newtonian fluids in concentric and eccentric annuli”. Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 829-838.
- Zanete, H.Z., Siqueira, R.N., 2015, “Escoamento axial de fluidos não-newtonianos em anulares excêntricos com rotação do cilindro interno”, Proceedings of the 6th Encontro Nacional de Hidráulica de Poços de Petróleo e Gás, Rio Quente, Brazil.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF FLUID RHEOLOGY CHANGE IN THE HORIZONTAL WELLS CLEANING PROCESS

Marcelo dos Santos Lídio, marcelo_lidio@hotmail.com¹
Renato do Nascimento Siqueira, renatons@ifes.edu.br¹

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Rodovia BR 101 Norte – Km 58 –Litorâneo, São Mateus, ES, 29932-540, Brasil.

Abstract. *The horizontal drilling is an attractive practice due to a larger contact area between the well and the reservoir, providing increased productivity and process efficiency. For horizontal wells, there is an eccentric configuration due to the displacement of the drilling column due to gravitational effects, which modifies the geometry of the annular space and change the flow patterns. The drilling process is characterized by the rotation of the column and the weight applied to the bit that promotes the rock fragmentation and generates cuttings that are removed from the well by drilling fluid, which is pumped through the column and return through the annulus to the surface. The cuttings removal is affected by several parameters such as particle size, geometry of the well, column rotation and roughness, axial flow rate and drilling fluid rheology. Among them, the fluid rheology is one of the most important parameters to define a strategy for efficient cleaning. The fluid rheology modification changes the velocity and viscosity profiles, which are indicative of the fluid carrying capacity. Moreover, the appropriate choice of a drilling fluid leads to lower energy consumption in the process, since pseudoplastic fluid characteristics reduce the friction, reducing the pressure loss. This study uses computational fluid dynamics (CFD) to evaluate the effect of the drilling fluid rheology in a narrow eccentric annulus, comparing a standard fluid used as a reference for well drilling activities and a fluid used in onshore exploration fields at the north of the Espírito Santo, represented by the rheological models of Herschel-Bulkley and Cross, respectively. The study used Ansys® CFX 16.0 software. The geometry consists of two cylinders forming an annular space with, internal radius (r_i) = 0.0254 m, external radius (r_e) = 0.0282 m and length of tube (L) = 2.5 m. Reynolds number ($Re = 200$), inner cylinder rotation ($\omega = 100$ rpm) and the eccentricity of the column ($\epsilon = 0.8$) were kept constant. The study shows a higher axial velocity and a less flattening velocity profile for the standard fluid. Both fluids were nearly stagnant in the bottom region of the annular, which may be detrimental to the cleaning process. The field fluid showed lower effective viscosity values in the bottom region of the annular, and pressure drop, requiring lower pumping energy for the drilling fluid.*

Keywords: *Rheology, Eccentric annuli, Horizontal Well, CFD.*