

# **ANÁLISE NUMÉRICA DE ESCOAMENTO DE FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS EM POÇOS DE PETRÓLEO**

**Aluno: Marcos Alexandre Izidoro da Fonseca e  
Bernardo Brazil  
Orientador: Monica Feijo Nacacche**

## **Introdução**

Depois da perfuração de um poço de exploração de petróleo, o fluido (lama) de perfuração que tem a função de lubrificar, resfriar a broca e remover o cascalho produzido, deve ser removido e substituído por uma pasta de cimento. Esta, após o tempo de cura, tem a função de garantir a integridade estrutural do poço. A cimentação é uma operação crucial na vida de um poço de petróleo. Para uma operação bem feita, é preciso assegurar que foi removida a maior quantidade possível de lama de perfuração existente na região anular entre a formação rochosa e a coluna perfuradora (“casing”) ou de revestimento. Esse processo é feito de tal maneira que o cimento desloca a lama num escoamento que pode ser em regime laminar ou turbulento, numa geometria anular, em geral excêntrica. Uma vez deslocada a lama pelo cimento, este adere à parede do poço e durante um período de tempo vai adquirindo as propriedades mecânicas de interesse como aderência, resistência à compressão e impermeabilidade. Numa operação real, procura-se evitar que o cimento entre em contato com a lama impedindo uma indesejável contaminação e por consequência perda das propriedades de interesse. Entre eles escoam fluidos intermediários chamados colchões (espaçadores e lavadores). Ao contrário da lama e do cimento que são fluidos de comportamento mecânico não Newtoniano, os colchões são simples soluções de água e detergente, e tem comportamento Newtoniano.

A forma da interface entre os dois líquidos tem importante papel para um bom deslocamento (Dutra et al., 2004). Interfaces chatas visualmente estão associadas com bons deslocamentos, em contrapartida, interfaces acentuadas e pontiagudas sugerem um fenômeno chamado de “channeling” ou canalização. Em outras palavras, o fluido deslocador tende a atravessar o deslocado, tornando o processo bastante ineficaz. Esse fenômeno indesejado pode ser provocado pelo fato do fluido deslocador ter menor viscosidade do que o deslocado, pela diferença de densidades entre os fluidos, pela assimetria do perfil de velocidade, ocasionado pela excentricidade do espaço anular, ou pelo regime de escoamento (laminar ou turbulento).

Sauer (1987) cita como principais parâmetros que governam o processo de deslocamento de fluidos em poços verticais, os seguintes: a reologia dos fluidos ou a razão de viscosidades entre eles, a excentricidade coluna-formação, a vazão, a diferença de densidades entre os fluidos e a inclinação do poço.

Analizando numericamente, a variação dos parâmetros citados acima, no escoamento tridimensional dos fluidos, conseguimos de forma eficaz, avaliar as alterações ocorridas, e determinar qual seria a melhor configuração para determinado escoamento.

## **Objetivos**

O presente trabalho tem como objetivo, analisar numericamente o escoamento tridimensional, através de um anular excêntrico, em geometria de poço de um processo de cimentação, compreendido por três fluidos (perfuração, espaçador e uma pasta de cimento). Foi analisada a influência da razão de densidades na eficiência do processo.

## Metodologia

A solução do problema foi obtida numericamente, a partir da solução das equações de conservação de massa e quantidade de movimento. A equação de Herschel-Bulkley regularizada foi utilizada para modelar o comportamento viscoplástico dos fluidos. Como se segue na Eq. (1):

$$\eta = \tau_0 / \dot{\gamma} + K\dot{\gamma}^{n-1} \quad (\text{se } \tau > \tau_0) \text{ e } \eta = \eta_{\text{grande}} \quad (\text{se } \tau < \tau_0). \quad (1)$$

Onde  $\tau_0$  é limite de escoamento, abaixo da qual o fluido se comporta como um fluido Newtoniano, porém com viscosidade muito elevada. Foi utilizado o programa comercial FLUENT (Ansys Inc.) e o método de volumes finitos e Volume of Fluid. Maiores detalhes da solução podem ser encontrados no manual do referido programa ([www.ansys.com](http://www.ansys.com)).

As simulações numéricas do escoamento foram realizadas a partir de uma configuração real de um poço de petróleo, com vazão de entrada igual a 14bpm e volume bombeado do espaçador igual a 60 bbl. Foram feitas análises no efeito da alteração da razão de densidades entre os fluidos.

Na figura 1 pode ser observado o resultado de uma simulação feita, alterando-se a densidade de um dos fluidos (a densidade do fluido de perfuração foi alterada de 9.7 para 7.7 lbm/Gal). Observamos o comportamento no escoamento dos fluidos após o bombeamento da devida quantidade de fluido espaçador e pasta de cimento. Com base nesses resultados conseguimos avaliar a contaminação da pasta de cimento, e conseqüentemente, como se desenvolveu a cimentação do poço. Observa-se que a alteração de densidade resultou numa concentração maior do fluido espaçador próximo à parede inferior (região anular de menor espaçamento), causando a contaminação na região superior da tubulação.

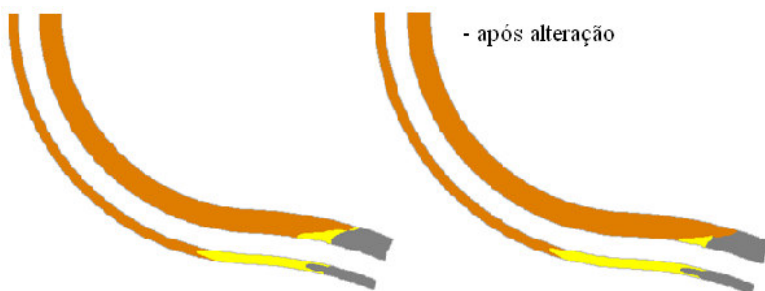


Figura 1: – Distribuição dos fluidos dentro do poço

## Conclusões

Concluímos que um estudo numérico do processo de cimentação de poços, permite uma investigação detalhada do efeito de parâmetros governantes no escoamento e, conseqüentemente, na eficiência do processo. Com isso, é possível otimizar o processo a um custo bem menor do que o operacional. Assim, antes de executar a operação em um poço, a análise numérica do processo, e a sua otimização a partir da definição da melhor relação entre os parâmetros para um determinado tipo de poço, é essencial para se obter sucesso e garantir a segurança da operação realizada em campo.

## Referências

- 1 - Dutra, E.S.S., Naccache, M.F., Souza Mendes, P.R., Souto, C.A.O. Martins, A.L. and Miranda, C.R. *et al.*, 2004, Analysis of interface between Newtonian and non-Newtonian fluids inside annular eccentric tubes, Proc.2004 ASME/IMECE, paper IMECE2004-59335.
- 2 - C.W. Sauer. Mud displacement during cementing: A state of the art. *Journal of Petroleum Technology*, pages 1091–1101, 1987.