

# ESCOAMENTO EM ESPAÇO ANULAR COM ROTAÇÃO DO CILINDRO INTERNO DE LÍQUIDOS VISCOPLÁSTICOS

L.R. Santos e M. S. Carvalho

Departamento de Engenharia Mecânica

Pontifícia Universidade Católica

Rua Marquês de São Vicente, 225 Gávea Rio de Janeiro RJ, cep: 22453-900.

**Palavras chaves: Espaço anular, poço de petróleo, viscoplasticidade.**

## RESUMO

Durante o processo de perfuração de poços de petróleo, um líquido, denominado lama de perfuração, é bombeada através do espaço anular formado entre a coluna de perfuração e a formação rochosa. As principais funções da lama de perfuração são o arrefecimento da broca, o transporte de cascalho gerado e a pressurização da formação rochosa. O cálculo da perda de carga deste escoamento é de fundamental importância para o dimensionamento das instalações de bombeamento utilizadas durante o processo.

As lamas de perfuração apresentam um comportamento não Newtoniano, a viscosidade do líquido varia com a taxa de deformação do escoamento. No caso particular destas lamas, a viscosidade é alta a baixas taxas de deformação, e baixa a altas taxas de deformação.

A queda da viscosidade da lama com a taxa de deformação pode ser utilizada para diminuir a perda de carga do escoamento. A rotação da coluna concomitante ao bombeio do líquido na direção radial aumenta as taxas de deformação que ocorrem no espaço anular e conseqüentemente diminuem a viscosidade do líquido. Esta diminuição na viscosidade leva a um aumento da vazão, se a pressão de bombeamento for fixa.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um programa para determinar a perda de carga em espaços anulares de fluidos viscoplásticos (como as lamas de perfuração) considerando a rotação da coluna. O comportamento mecânico do fluido foi descrito pelo método de Carreau e a equação diferencial não linear foi integrada pelo método de diferenças finitas. O programa foi desenvolvido no ambiente MATLAB.

A equação que descrevem o campo de velocidade axial em um espaço anular é:

$$\frac{d}{dr} \left( r \eta(\dot{\gamma}) \frac{du}{dr} \right) = \frac{\Delta P}{L} r \quad (1)$$
$$u(r = R_i) = u(r = R_o) = 0$$

A equação é não linear, pois a viscosidade depende do campo de velocidade. A variação da viscosidade com a taxa de cisalhamento, para o modelo de Carreau é dada por:

$$\eta(\dot{\gamma}) = \eta_{\infty} + [\eta_0 - \eta_{\infty}] \left\{ 1 + \left( \lambda \dot{\gamma} \right)^2 \right\}^{\frac{n-1}{2}} \quad (2)$$

$\eta_0$  e  $\eta_{\infty}$  representam a viscosidade para taxas de deformação tendendo a zero e infinito, respectivamente. Os outros dois parâmetros deste modelo reológico são a constante de tempo  $\lambda$  e o índice de comportamento  $n$ . A taxa de deformação em cada ponto é função da velocidade axial e da velocidade azimutal, resultante da rotação da coluna de perfuração.

$$\dot{\gamma} = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial r} - \frac{w}{r}\right)^2} \quad \square$$

O exemplo discutido a seguir ilustra o fenômeno do aumento da vazão com a rotação da coluna, para um gradiente de pressão fixo. Os parâmetros reológicos considerados foram:  $\eta_0 = 1$ ;  $\eta_{\infty} = 10^{-5}$ ;  $\lambda = 1$ ;  $n = 0.5$ . A variação da viscosidade com a taxa de deformação é ilustrada na figura 1.

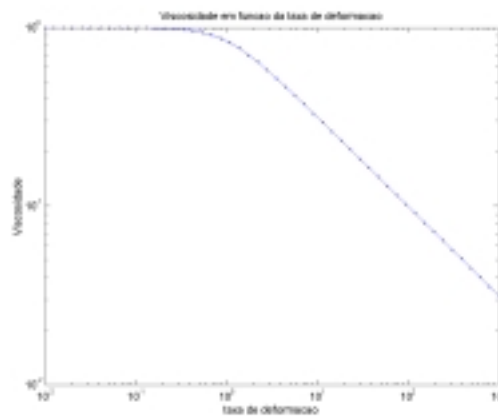


Figura 1: Variação da viscosidade com a taxa de deformação.

A figura 2 mostra o perfil de velocidade axial para diferentes rotações da coluna. Observe que o perfil torna-se mais chato no centro do espaço anular, indicando uma baixa viscosidade, e o valor da velocidade máxima do escoamento cresce com a rotação.

A razão entre a vazão obtida com e sem rotação da coluna é apresentada na figura 3. Observe um aumento significativo da vazão.

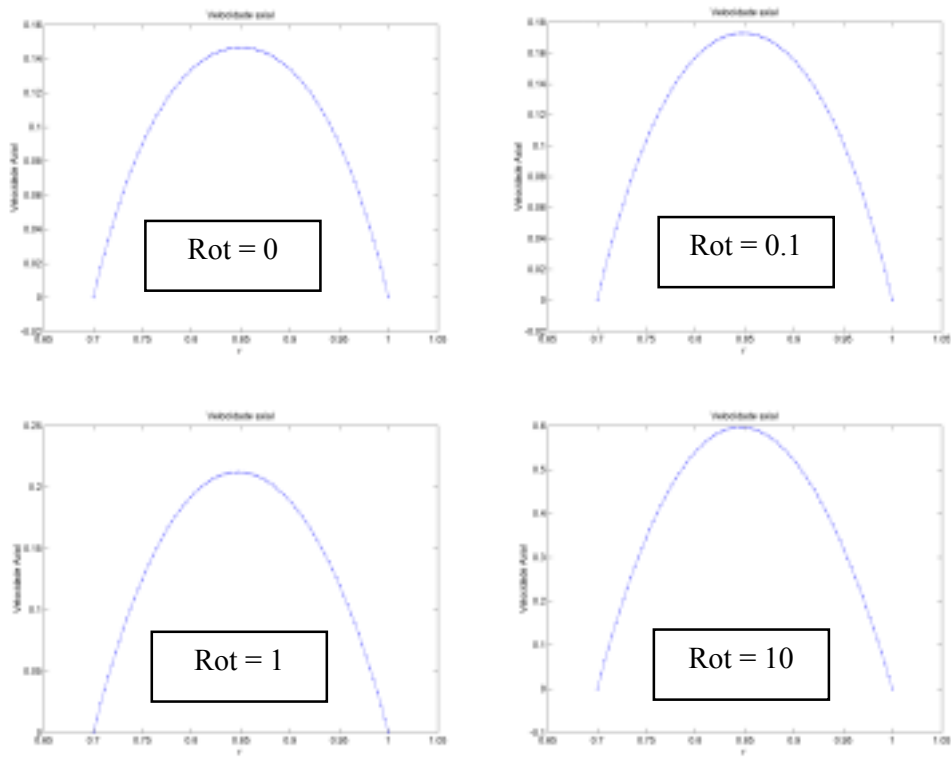


Figura 2: Perfil de velocidade axial para diferentes rotações da coluna.

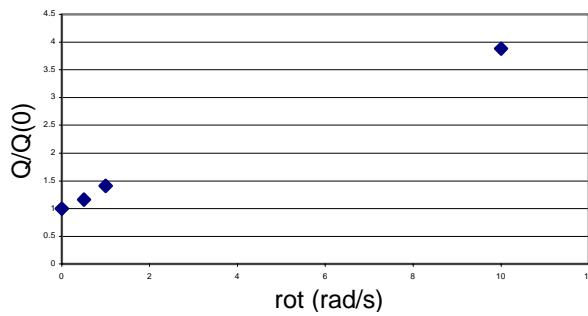


Figura 3: Vazão em função da rotação da coluna para um gradiente de pressão fixo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

**Introduction to MATLAB for Engineers ; Palm, William J.; McGraw-Hills's; 1998**  
**Fundamentos da Engenharia do Petróleo; THOMAS, José Eduardo (organizador);**  
**Editora Rio de Janeiro Interciência Ltda,Petrobrás; 2001**  
**Notas de aula do curso de Métodos Numéricos; Prof. Arthur Braga, 2001.1**

**Agradecimentos:** os autores agradecem à ANP, Agência Nacional de Petróleo, pelo suporte financeiro e pela bolsa de pesquisa.