

## DESLOCAMENTO DE FLUIDOS NEWTONIANOS EM POÇOS DE PETRÓLEO HORIZONTAIS NÃO RETILÍNEOS

**Alunos: Marcelo Lopes de Albuquerque e Rafael Alberto Valpaços de Lemos Leal**  
**Orientador: Paulo Roberto de Souza Mendes**

### Introdução

Na cimentação de poços de petróleo, o fluido de perfuração, que remove detritos e auxilia no resfriamento da broca, é deslocado através do espaço anular no entorno da coluna de revestimento e substituído pelo cimento, que garantirá a estabilidade estrutural e vedação hidráulica da parede do poço. Para alcançar melhores resultados, utilizam-se, ainda, fluidos intermediários, chamados “colchões” lavadores e espaçadores. A fim de assegurar a retirada integral da lama de perfuração e a não contaminação da pasta de cimento, deseja-se obter uma interface entre os líquidos a mais estável e plana possível. Para tanto, o conhecimento do impacto da reologia dos fluidos na estabilidade dessa interface de deslocamento é essencial, sendo, desse modo, a proposta deste trabalho.

### Objetivos

O projeto visou simular experimentalmente o deslocamento anular de um fluido por outro durante a cimentação de poços de petróleo horizontais, sem desconsiderar a influência de irregularidades em seus perfis longitudinais. Estudamos o comportamento da interface entre duas soluções newtonianas de mesma massa específica, variando a razão entre as viscosidades das mesmas. Assim, procuramos estabelecer casos base para futuras comparações com deslocamentos de fluidos não newtonianos por newtonianos e vice-versa, contribuindo na determinação das condições ideais de operação para se evitar o fenômeno de “*viscous fingering*”.

### Apresentação do Problema

Durante a perfuração de poços de petróleo são utilizados fluidos de perfuração viscoplásticos para promover a remoção do cascalho e de outros detritos provenientes do processo, além de auxiliar no resfriamento da broca. Os fluidos não newtonianos são perfeitos para tal função, já que apresentam alta viscosidade em contato com as pequenas partículas de detritos, permitindo o carregamento, e baixa viscosidade em contato com as paredes do poço, possibilitando o uso de menores potências de bombeamento.

Após essa etapa, o fluido de perfuração, com os detritos, precisa ser removido e substituído pela pasta de cimento, que garantirá a estabilidade estrutural e a vedação hidráulica da parede do poço. O procedimento de cimentação envolve o deslocamento pelo cimento, também viscoplástico, de fluidos intermediários newtonianos, denominados “colchões”, que, por sua vez, deslocam a lama de perfuração através do espaço anular no entorno da coluna de perfuração.

Deseja-se obter uma interface entre cada par de líquidos a mais estável e plana possível, garantindo a retirada integral do fluido de perfuração e a não contaminação do cimento por esse. É notável que um dos parâmetros mais relevantes nesse processo é a relação entre as viscosidades das substâncias envolvidas.

Um dos fenômenos observados durante o deslocamento de um fluido de maior por outro de menor viscosidade é a instabilidade de Saffman-Taylor ou “*viscous fingering*”. Tal fenômeno se caracteriza pela desestabilização da interface entre os dois fluidos, que cresce pela interpenetração do fluido menos viscoso em formato de dedos. Para o deslocamento

inverso, a interface é estável. Sendo assim, dentre todos os fatores que influenciam a estabilidade da fronteira de deslocamento, é na razão de viscosidades que concentramos nosso estudo.

Além disso, pelas próprias características das colunas de perfuração, os poços apresentam uma geometria não retilínea que dificulta ainda mais os procedimentos de substituição de fluidos, especialmente nos ainda pouco estudados poços horizontais. Foi com o intuito de analisar a dinâmica dessa operação, sem desprezar os efeitos das irregularidades das paredes do poço, que procuramos utilizar um arranjo experimental com características básicas similares às encontradas na realidade, mantendo a proporcionalidade.

## Metodologia

Para este projeto foi construída uma bancada experimental a fim de realizarmos simulações de operações de deslocamento de um líquido por outro através de uma região anular. Os fluidos por nós escolhidos foram soluções aquosas de mel e glicerina, que, além de possuírem índices de refração semelhantes, possibilitam a variação e ajuste da massa específica e da viscosidade em uma ampla faixa de valores.

A bancada é composta por um arranjo horizontal de dois tubos cilíndricos concêntricos de acrílico transparente e com o formato de uma série de ondas triangulares, que pretendem reproduzir as características geométricas essenciais de um poço horizontal não retilíneo. Uma seção dessa montagem, imersa em um aquário de glicerina, é considerada a região de interesse do experimento, onde foram realizadas as observações. Existem, ainda, quatro reservatórios pressurizados que comportam as soluções utilizadas nos testes, além de água para limpeza.

Com uma câmera fotográfica digital tiramos fotografias seqüenciais de testes para quatro razões de viscosidades diferentes, a saber,  $\mu_1/\mu_2 = 0,13$ ,  $\mu_1/\mu_2 = 0,51$ ,  $\mu_1/\mu_2 = 1,95$  e  $\mu_1/\mu_2 = 8,48$ , afim de observar a evolução da forma da interface entre os líquidos no espaço anular. Com base nessas imagens, fomos capazes de comparar qualitativamente os resultados obtidos e estabelecer uma relação entre a razão de viscosidades e um indicador da qualidade de remoção do fluido deslocado.

## Conclusões

Através das visualizações experimentais, observou-se que, quanto maior a viscosidade do fluido deslocador em relação ao deslocado, mais estável é a interface. Por outro lado, quando a razão de viscosidades diminui, ocorre a interpenetração do líquido deslocador, formando “*viscous fingers*” que seguem preferencialmente a sinuosidade do caminho, deixando material para trás, principalmente nos cantos vivos. A relação entre o tempo necessário para a completa substituição de um certo volume de fluido por outro e a vazão volumétrica do escoamento também demonstra que razões de viscosidades maiores levam a uma maior eficiência do processo.

## Referências

- [1] CELNIK, J.. **Deslocamento de Líquidos em Espaços Anulares**. Rio de Janeiro, 2008. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio.
- [2] DUTRA, E. S. S.. **Deslocamento de Líquidos Não Newtonianos em Tubos Anulares Excêntricos**. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio.
- [3] MACPHERSON, S. A.. **Cementation of horizontal wellbores**. Society of Petroleum Engineering, (62893), 2000.
- [4] SAVINO, J.. **Deslocamento de Fluidos em Poços Horizontais Não Retilíneos**. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio.