



DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

ESCOAMENTO DE POLÍMEROS EM MEIOS POROSOS

Marcel de Castro Venério¹
Monica Feijó Naccache²



¹ Aluno de Graduação do curso de Engenharia de Petróleo da PUC-Rio.

² Eng. Mecânica, DSc., Professora Assistente do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Sumário

1. Introdução.....	3
1.1 Motivação	3
1.2 Polímero BrightWater®	3
2. Objetivos.....	4
2.1 Bottle test	4
2.2 Slim-tube Sandpacks	4
2.3 BrightWater Field Core Flood Testing Procedure	4
3. Procedimento experimental	5
3.1 Bottle test	5
3.2 Slim-tube Sandpacks	5
3.3 BrightWater Field Core Flood Testing Procedure	6
4. Comentários finais	7
Agradecimentos	7
Referências	7

1. Introdução

1.1 Motivação

Métodos convencionais de recuperação consistem na injeção de água ou gás para extrair o petróleo das rochas porosas [1]. As baixas taxas de recuperação nesse processo são atribuídas, principalmente, a alta viscosidade do petróleo e a elevadas tensões interfaciais entre o fluido injetado e o óleo.

Fluidos injetados tendem a percorrer as regiões mais permeáveis, deixando quantidades substanciais de óleo nas formações rochosas [2, 3]. Conseqüentemente, pode-se observar a formação de *viscous fingering* [4], como pode ser visto na **Figura 1**. Como resultado tem-se a produção excessiva de água e baixa eficiência na recuperação do óleo, tornando às vezes, inviável a exploração da jazida pelo poço afetado.

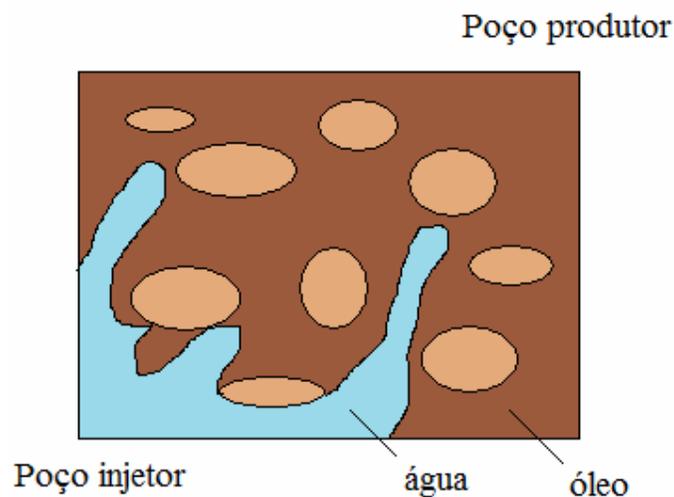


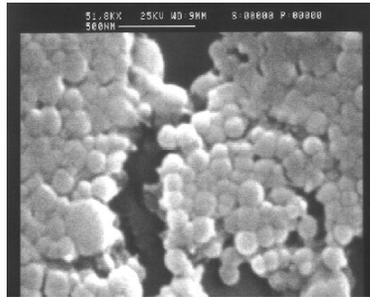
Figura 1: *Viscous fingering*

Uma alternativa consiste em adicionar polímeros à água de injeção para transformá-la em um fluido que se desloca dentro do meio poroso com a mesma mobilidade que o óleo. Devido a essa semelhança, o fluido injetado em vez de escolher caminhos preferenciais e se dirigir rapidamente para os poços de produção, se difunde mais no meio poroso, aumentando a eficiência de varrido.

1.2 Polímero BrightWater®

Recentemente, um novo polímero, chamado BrightWater®, foi desenvolvido a fim de maximizar a produção de petróleo. Este polímero, que possui uma cadeia longa formada por partículas da ordem de sub-micros, é sensível à temperatura. A Figura 2 **Error! Reference source not found.** apresenta duas fotos das partículas: antes e após a ativação térmica. Pode-se observar, que após a ativação, as partículas expandiram aproximadamente dez vezes em relação às dimensões iniciais.

Escala: 500 nm



Escala: 5000nm

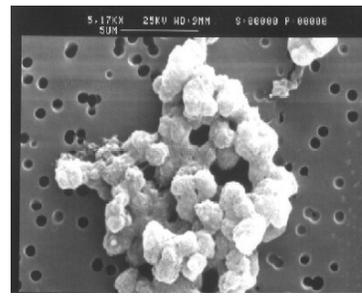


Figura 2: Partículas antes e após a ativação, respectivamente.

As partículas de BrightWater[®] são injetadas com água, relativamente fria, no poço. Inicialmente, a viscosidade da dispersão é próxima à da água. Entretanto, à medida que as partículas percorrem os caminhos preferenciais, elas encontram as rochas quentes do reservatório e sua viscosidade aumenta. Logo, à uma determinada temperatura e tempo, as partículas se expandem irreversivelmente e bloqueiam os poros, evitando o escoamento por caminhos indesejáveis.

Assim, há um aumento no processo de recuperação de petróleo. Neste projeto o comportamento deste polímero no escoamento em meios porosos será investigado, a fim de avaliar o seu desempenho.

2. Objetivos

O principal objetivo deste projeto é analisar experimentalmente os efeitos do polímero BrightWater[®] em condições reais do reservatório de petróleo. Um aparato experimental foi construído para que três diferentes testes possam ser feitos. Os testes são descritos a seguir.

2.1 Bottle test

A medida que as partículas de sementes se expandem, o volume ocupado por elas aumenta. Conseqüentemente, a fração do volume das fases contínuas diminui. Essa diminuição no volume livre é refletida no aumento da viscosidade da dispersão.

Este teste visa ilustrar a ativação das micropartículas poliméricas por calor através de testes reológicos. Ou seja, devemos monitorar as variações de viscosidade ao longo do tempo, de uma dispersão com BrightWater[®].

2.2 Slim-tube Sandpacks

Estes testes irão determinar o tempo entre a injeção de água com o polímero BrightWater[®] e a ativação desse para que haja um bloqueio dos caminhos preferenciais no reservatório. Medidas referentes à força do bloco de água devido à adição do polímero serão obtidas como função do tempo após a injeção.

2.3 BrightWater Field Core Flood Testing Procedure

O principal objetivo desse teste é verificar se o polímero BrightWater[®] cria resistência significativa ao fluxo de água em um meio poroso, quando é ativado dentro deste. A bancada experimental deve simular as condições de mineralogia e permeabilidade de um reservatório. Assim, será determinada a permeabilidade do meio poroso com e sem o POLÍMERO.

3. Procedimento experimental

3.1 Bottle test

Coloca-se 20 garrafas lacradas, contendo uma dispersão do polímero BrightWater[®], em uma estufa à uma determinada temperatura. Após períodos de tempo pré-determinados, uma garrafa é removida e esfriada a temperatura ambiente. A seguir, é feita uma caracterização reológica do polímero utilizando os reômetros rotacionais disponíveis no Laboratório de Caracterização Reológica da PUC-Rio. Será investigada a variação de viscosidade com o tempo. A Figura 3 explicita a bancada experimental.

3.2 Slim-tube Sandpacks

Sandpack consiste em tubos de aço inoxidável com $\varnothing = 1/4''$ preenchidos com uma mistura de areia embalada firmemente, como pode ser visto na Figura 4. A areia é comprimida, de modo que previna qualquer tipo de movimento ou formação de canais. O *sandpack* fornece a permeabilidade desejada, de modo que simule a formação de um reservatório.



Figura 4: Slim-tube Sandpacks

Nesse teste, o fluido é bombeado através de um *sandpack* à temperatura de reservatório, e são feitas medidas de queda de pressão e perda de carga em função do tempo. O objetivo é determinar a capacidade do polímero de bloquear a passagem de água, assim medidas periódicas de permeabilidade serão feitas em cada seção do tubo.

Com o sandpack a uma determinada temperatura de injeção, suficiente solução de BrightWater deve ser injetada para preencher os primeiros 26 ft do Sandpack (PV de 3ml/ft, então requer 78ml de solução). A taxa de injeção será fornecida, entretanto será bastante baixa, tipicamente apontando a uma taxa de injeção frontal de 16ft/dia (2ml/hora). Assim, o fluido percorreu 7ft ao longo do tubo, com 21ml de SSW. Então, a solução BrightWater encontra-se entre 7ft e 33ft ao longo do tubo, e assim, a permeabilidade de cada uma das quatro seções deve ser medida. O tubo deve ser fechado por um dia a uma temperatura determinada, a qual é semelhante a que o BrightWater se encontraria em reservatório. A permeabilidade de cada seção deve ser medida novamente pela injeção de 6ml de SSW, medindo a pressão em cada ponto. Isso faz com que a solução BrightWater seja deslocada por mais 2ft ao longo do tubo. SSW deve ser injetado pelo outro lado do tubo fazendo com que a solução BrightWater volte ao ponto inicial. O Sand Pack é fechado novamente. A permeabilidade deve ser checada dessa forma, periodicamente, até a ativação do polímero e a

queda do valor de permeabilidade ser observada. O desenvolvimento da capacidade de bloqueio do BrightWater deve ser checado até que esse bloqueio alcance o nível desejado e assim o procedimento estará completo.

Para cada medida, o fator de resistência é calculado como uma permeabilidade inicial dividido por uma permeabilidade após o tratamento. Assim, um fator de resistência 20 significa que a permeabilidade inicial diminuiu de 1300mD a 65mD. Se o bloqueio foi eficaz ao longo do reservatório, o escoamento da água seria então reduzido para 5% em relação ao momento antes do tratamento (a um gradiente de pressão fixo). Entretanto, esse fator de resistência se aplica apenas a uma pequena fração de distancia do reservatório, caso fossemos imaginar o reservatório como um todo, deveríamos multiplica-lo por 100. Quando o fator de resistência do Sandpack ficar maior do que 20, a queda de pressão durante a medida pode ficar incrivelmente alta. Assim é necessário usar baixas taxas de escoamento de SSW, levando a quedas de pressão mais baixas quando estiver medindo a permeabilidade.

3.3 BrightWater Field Core Flood Testing Procedure

Para esse teste, o primeiro passo consiste em bombear água do mar através do meio poroso sob a temperatura de um reservatório real usando escalas diferentes de pressão. O testemunho da rocha do reservatório deve representar as condições reais do meio poroso e deve estar livre de ar. Deve-se medir a queda de pressão através do meio poroso para determinar a permeabilidade base da amostra. Retornar as taxas baixas as quais representam o escoamento no reservatório. Serão utilizados transdutores de pressão muito sensíveis para medir o gradiente de pressão a essa taxa de escoamento. A seguir, esfriar a amostra para injetar água e medir novamente a permeabilidade a uma baixa taxa de escoamento.

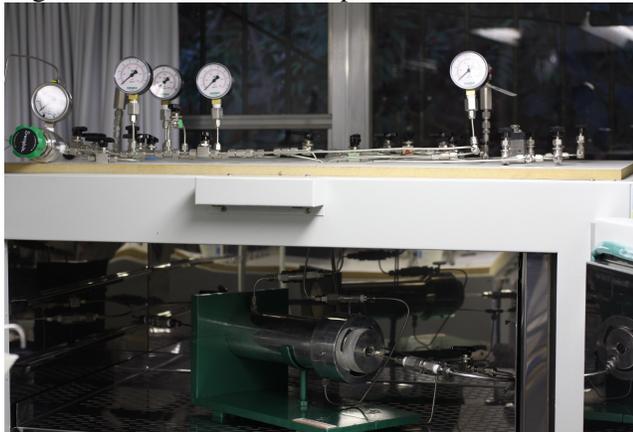


Figura 5: BrightWater Field Core Flood Testing Procedure

Então bombear através de toda a amostra o polímero disperso em água do mar. Checar se a mistura atravessa todo o meio poroso. A seguir, isolar a amostra a uma temperatura constante até que o Bright Water seja ativado e expandido. Bombear água salgada novamente. Nesse momento, o meio poroso já deveria estar parcialmente bloqueado pelo Bright Water. Assim, a pressão através da amostra deve ser maior do que a pressão medida para alcançar a permeabilidade base da amostra. Se isso não ocorrer, deve-se aumentar a concentração do polímero na mistura com água do mar. Deve-se esperar tempo suficiente para ativação do polímero. Como o volume poroso da amostra é muito pequeno, é possível deslocar o Bright Water completamente para fora do reservatório antes do gradiente de pressão se estabilizar.

Deve-se trabalhar com baixas taxas de escoamento nesse teste. É mais fácil manusear e misturar o Bright Water em campo do que no laboratório. No campo é só mexer e bombeá-lo para dentro do poço. Já no laboratório ele deve ser misturado cuidadosamente e estar livre de

oxigênio. Na prática a amostra não tem como estar sempre livre de oxigênio, então um removedor de oxigênio tem que ser usado no laboratório.

Os últimos passos desse teste consistem em adicionar Thisulfato de Sódio (1.2g/l) para remover o oxigênio e ajustar o pH para 8.2 de acordo com a ASTM SSW.

4. Comentários finais

Os objetivos ainda não foram alcançados, porém o projeto ainda está em andamento. A partir da revisão bibliográfica, foi feito um planejamento do layout. Fizemos um CAD, através do programa SolidWorks®, para determinar o posicionamento das peças utilizadas nos circuitos.

Baseado no layout, especificamos o material necessário para a elaboração dos testes e montamos os circuitos. Fizemos um roteiro do procedimento experimental. Fizemos um teste de vazamentos para garantir a viabilidade e segurança do aparato experimental.

Estamos aguardando a entrega de alguns reagentes para dar continuidade aos testes.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer ao CNPq pelo seu apoio financeiro.

Referências

- [1] Furati, K.M. History effects on oil recovery efficiency. J.Petr. Sci. Eng., no.19, p.295-308, 1998.
- [2] Vossoughi, S. Profile modification using in situ gelation technology – a review. J. Petr. Sci. Eng., no. 26, p. 199-209, 2000.
- [3] Thomas, J. E. et al. Reservatórios In: Fundamentos de Engenharia de Petróleo.
- [4] Saffman, P.G., Taylor G.I. The penetration of a fluid into a porous medium or Hele-Shaw cell containing a more viscous liquid. Proc. R. Soc. Lond., Vol. 245, nº 1242, pp. 312-329, 1958.