

## 5 Conclusões

### 5.1 Conclusões

O presente trabalho abordou experimentalmente o deslocamento de um fluido não newtoniano pseudoplástico por um newtoniano em uma célula retangular de Hele-Shaw. Foi analisada a evolução da forma da interface em função dos parâmetros geométricos, dinâmicos e reológicos que governam o escoamento. Foi determinado o espectro de situações em que há formação de *viscous fingering* e, conseqüentemente, os casos em que há formação de uma interface estável do tipo *plug*.

Foi um grande desafio projetar e fabricar uma célula de Hele-Shaw simples, de fácil manuseio e a baixo custo, assim, um bom detalhamento do projeto foi apresentado.

A instabilidade de Saffman-Taylor foi bastante estudada em relação aos casos de fluidos newtonianos e acerca de fluidos não newtonianos deslocados por gás (razão de viscosidade igual a zero). Entretanto, existem poucos trabalhos envolvendo deslocamentos de dois líquidos com viscosidades comparáveis (razão de viscosidade diferente de zero). Esse trabalho apresentou resultados pioneiros, pois não foi encontrado nenhum trabalho experimental na literatura envolvendo deslocamento de líquidos não newtonianos por newtonianos em células retangulares de Hele-Shaw.

Também não foi encontrada na literatura uma convenção universal para apresentação dos resultados, por isso deve-se ter muita cautela ao comparar resultados de diferentes pesquisadores. Assim, foi desenvolvido um modelo adimensional para tratar os dados experimentais. Foi proposta uma adimensionalização muito simples onde apenas a velocidade adimensional, o número de capilaridade reológico e o índice de comportamento do fluido pseudoplástico definem o padrão do formato da interface.

A eficiência de deslocamento foi calculada baseada na razão de áreas entre o fluido deslocador e o deslocado. Para um valor constante do índice de comportamento e para um valor do número de capilaridade reológico da ordem

de  $10^{-1}$ , a eficiência de deslocamento aumenta com a velocidade adimensional, porque a razão de viscosidade diminui. Assim, para os casos em  $\bar{u}^* < 10,833$  há formação de *viscous fingering* e caso contrário, há formação de *plugs*.

## 5.2

### Recomendações para trabalhos futuros

Através da célula de Hele-Shaw construída durante o andamento deste trabalho, pode-se investigar o comportamento qualitativo referente ao deslocamento de diferentes fluidos em meios porosos.

Para elucidar o comportamento de formação da interface do tipo *plug*, a primeira recomendação para trabalhos futuros diz respeito a eliminação do efeito dos furos utilizados para preenchimento da célula. Deve-se comprar um vidro que possua uma melhor qualidade na usinagem do furos. Outra sugestão consiste em tratar o vidro para avaliar a influência da mobilidade.

Em paralelo, sugere-se um novo projeto de construção de uma célula retangular de Hele-Shaw baseado na primeira bancada desenvolvida, conforme o anexo C. Seria interessante investigar o efeito do orifício de entrada do fluido através de uma comparação com o caso de uma interface inicial plana.

Pode-se avaliar o efeito do número de capilaridade reológico através da análise de diferentes fluidos ou folgas. Analogamente, efeitos de tensão superficial podem ser estudados.

Através do estudo com outros fluidos pseudoplásticos, com parâmetros reológicos distintos, pode-se investigar uma maior faixa de valores de razão de viscosidade. Pode-se utilizar fluidos específicos para simular comportamentos como o fraturamento hidráulico (43). O caso contrário, fluidos newtonianos deslocando fluidos pseudoplásticos, também é interessante. Aplicações incluem recuperação terciária de petróleo e invasão de fluidos de perfuração para a formação (35), (52).

Estudos para verificar a influência do tipo de polímero, rígidos ou flexíveis, podem elucidar a diferença nos padrões de formação de *fingers* nos escoamentos envolvendo polímeros. Nesses casos, também recomenda-se o estudo da influência da viscosidade extensional. Fluidos viscoelásticos, como CMC e PAA, também podem ser estudados para verificar a influência da elasticidade na formação dos *fingers*.

Fluidos viscoplásticos podem ser empregados para o estudo do efeito da tensão limite de escoamento. O anexo E apresenta o modelo de adimensionalização proposto para problemas envolvendo fluidos viscoplásticos e newtonianos. Propõe-se a realização de testes com diferentes concentrações de Carbopol

sendo deslocados por um óleo mineral (para variar  $R$ ) e em diferentes vazões (para variar  $u^*$ ).

A partir da vetorização do escoamento é possível estender a análise desse problema, como por exemplo: estudo do campo de velocidade, determinação da velocidade da ponta do *finger* e análise da largura do *finger* principal. Para complementar e comparar os resultados obtidos, é interessante construir uma célula radial de Hele-Shaw.