

## 7 Conclusões e Sugestões

### 7.1 Conclusões

Neste trabalho, o escoamento de emulsões óleo-água através de um capilar com garganta foi estudado através de experimentos e teoria. A análise experimental consistiu da visualização sob um microscópio do escoamento e da medição da queda de pressão em função da vazão para diferentes emulsões. Para o estudo do efeito de tamanho de gota usaram-se emulsões com a mesma concentração e diferentes tamanho de gotas, podendo seu diâmetro ser maior ou menor que o diâmetro da constrição sendo que para uns casos o tamanho médio das gotas é menor que a constrição e em outros caso maior que a constrição. A execução dos experimentos para o escoamento de emulsões nos capilares representa um desafio em função das escalas envolvidas. A formulação e preparação das emulsões estudadas foi feita em função das geometrias experimentais, de forma a obter o tamanho das gotas desejado em relação ao tamanho da constrição do capilar e fosse garantida a estabilidade da emulsão durante a injeção nos capilares. As emulsões com tamanhos médios de gota menores que a constrição do capilar produzem uma relação linear entre a queda de pressão e a vazão,

sendo assim que o diâmetro de gota da emulsão não influi na resposta. Nestes casos, a resposta é só função da viscosidade aparente da emulsão. Para os casos em que o tamanho médio das gotas é maior que o tamanho da constrição, a queda de pressão é uma forte função da tensão interfacial, da vazão e da razão entre o tamanho das gotas e o diâmetro do poro.

A análise teórica englobou o estudo do escoamento em regime permanente de uma gota de óleo infinita imersa em água através de um capilar e o estudo do escoamento transiente da mesma gota através de um capilar com uma garganta. A implementação e solução numérica das equações diferenciais envolvidas representam um desafio, uma vez que a posição da interface é desconhecida a priori. A técnica conhecida como geração elíptica de malha foi utilizada para determinar a posição da interface do escoamento. A solução das equações que governam o escoamento é obtida por elementos finitos pelo método de Galerkin, usando-se o método de Newton com continuação pelo comprimento de arco para avançar no caminho da solução. Os resultados foram comparados com resultados experimentais disponíveis na literatura, obtidos por Taylor [27] para razões de viscosidade  $\lambda = 10^{-4}$  mostrando uma excelente concordância.

Foram obtidos resultados para o escoamento permanente de uma gota infinita através de um capilar para razões de viscosidade  $\lambda > 1$  e números capilares  $0.0025 > Ca > 0.5$ , que seriam mais apropriados para o caso de escoamento imiscível num meio poroso dentro das atividades de recuperação avançada envolvendo fluidos viscosos. O resultados obtidos para a variação da espessura da capa de líquido remanescente no capilar em função da razão de viscosidades e numero de capilaridade para  $\lambda > 1$  seguem a

mesma tendência dos escassos resultados experimentais encontrados para este tipo de casos, os quais só estão disponíveis na literatura na forma de valores pontuais [29]. No escoamento permanente de uma gota infinita através de um capilar podem diferenciar-se duas regiões; uma de escoamento desenvolvido e outra de não desenvolvido que se encontram antes e depois da ponta da interface. Para uma determinada razão de viscosidade, o gradiente de pressão negativo na zona de transição do fluido deslocante é maior com o aumento do número capilar. A mesma tendência observa-se para um número capilar fixo e quando aumentada a razão de viscosidades  $\lambda$ .

Na solução do escoamento transiente de uma gota através de um capilar com constrição o desafio é maior por quanto a superfície livre encontra-se submetida a grandes deformações. A presença da constrição implica um aumento considerável do gradiente de velocidade do escoamento.

Na análise do escoamento transiente de uma gota infinita através de um capilar com constrição foi possível observar um aumento da razão entre a queda de pressão e a vazão do escoamento, apontando o aumento da queda de pressão extra necessária para que a gota passe através da constrição. A pressão extra necessária é consideravelmente maior para menores números capilares e razões de viscosidade  $\lambda$  maiores que 1. Para números capilares maiores ou da ordem de  $Ca = 0.1$  este valor é consideravelmente menor.

Os resultados mostram que os modelos de escoamento de emulsões em meios porosos não devem ser baseados em propriedades macroscópicas da emulsão quando o tamanho das gotas da fase dispersa for da mesma ordem de grandeza do tamanho dos poros. Nestes casos, a queda de pressão é função da tensão interfacial, razão de viscosidade, vazão e razão entre o

tamanho das gotas e o diâmetro do poro. Os resultados apresentados neste trabalho podem ser usados no projeto de emulsões apropriadas para controle de mobilidade em operações de EOR através de injeção de emulsões.

## 7.2 Sugestões

O estudo de escoamento multifásico em meios porosos pode ser abordado desde distintos pontos de vista e as soluções obtidas podem contribuir para um enfoque mais global dos fenômenos envolvidos. Para o estudo do escoamento de emulsões em meios porosos recomenda-se o estudo dos seguintes temas:

1. O estudo do escoamento de emulsões monodispersas e com tamanhos de gotas maiores que a restrição em capilares constritos e redes de capilares com restrições similares às encontradas em meios porosos, fazendo a visualização e a medição da queda de pressão do escoamento.

2. Recomenda-se a injeção das emulsões aqui preparadas em meios porosos heterogêneos. Recomenda-se injetar emulsões com tamanho de gotas maiores que o tamanho médios dos poros nas regiões de alta permeabilidade. É recomendável realizar um estudo de sensibilidade do processo às taxas de injeção. Durante a injeção em meios porosos é necessário determinar a permeabilidade do meio poroso antes e depois da injeção e assegurar que significativos danos ao meio poroso não estão sendo causados.

3. A solução numérica do escoamento de fluido imiscíveis se constitui num problema de alta complexidade. Ainda que seja possível obter resultados com os mecanismos de geração de malha usados aqui, recomenda-se

uma pesquisa geral sob outras opções de geração de malha envolvendo escoamento de superfícies livres.