

1 Introdução

1.1. Motivação

Emulsão é a mistura de no mínimo dois fluidos imiscíveis, onde uma fase contínua passa a conter uma ou mais fases dispersas. Sem a interferência de um processo forçado, como em um separador de água e óleo, tais fases podem demorar diversas horas, ou até dias para se separarem completamente.

Algumas formas de gerar emulsão estão presentes em reservatórios de óleo e em escoamentos turbulentos no interior de dutos e de válvulas, como ilustrado na Figura 1.1. No processo representado abaixo, um poço injetor de água é utilizado para manter a pressão no reservatório de óleo. No poço produtor de óleo, o produto final enviado para a estação de produção está geralmente emulsificado (emulsão de água em óleo).

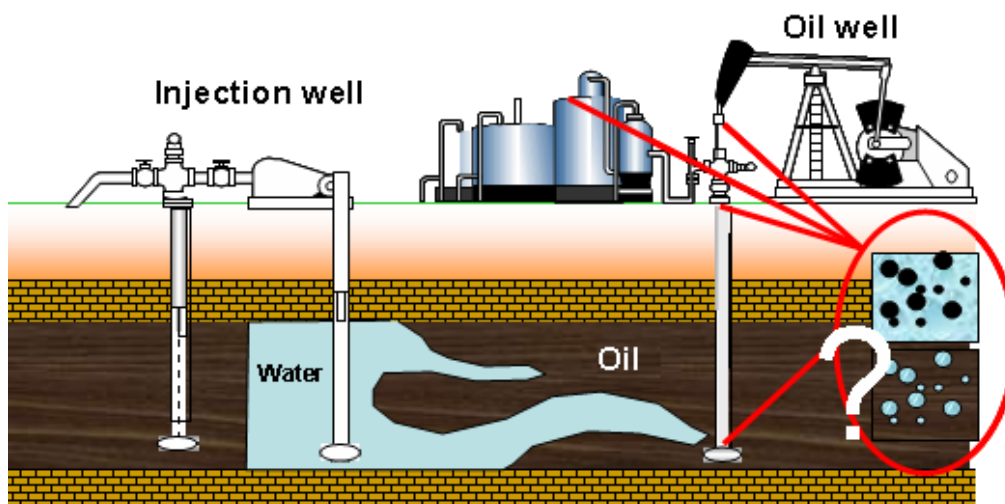


Figura 1.1: Pontos críticos para a formação de emulsão na área de exploração de petróleo. Pena (2007).

As emulsões podem ser produzidas de forma espontânea, ou de forma controlada. Quando em um reservatório de petróleo injeta-se água para a produção de óleo há possibilidade de ocorrer formação de emulsão de forma

espontânea, como indicado em diversos pontos na figura acima. Na indústria petrolífera essa emulsão é indesejada, pois o processo de separação da água e do óleo requer a utilização de equipamentos que podem ser fatores limitantes na produtividade.

A formação de emulsões pode ocorrer devido a um fenômeno chamado *snap-off*, ou quebra de gota. Emulsões de água em óleo são amplamente estudadas na engenharia de petróleo, principalmente com o envolvimento em atividades como recuperações secundárias de óleo. Na Figura 1.2 observa-se um exemplo de recuperação secundária, onde o fluido 1, geralmente água, ou gás é injetado através de um escoamento forçado para o interior do reservatório (meio poroso). O fluido 2, o óleo, é o fluido de a ser produzido neste processo.

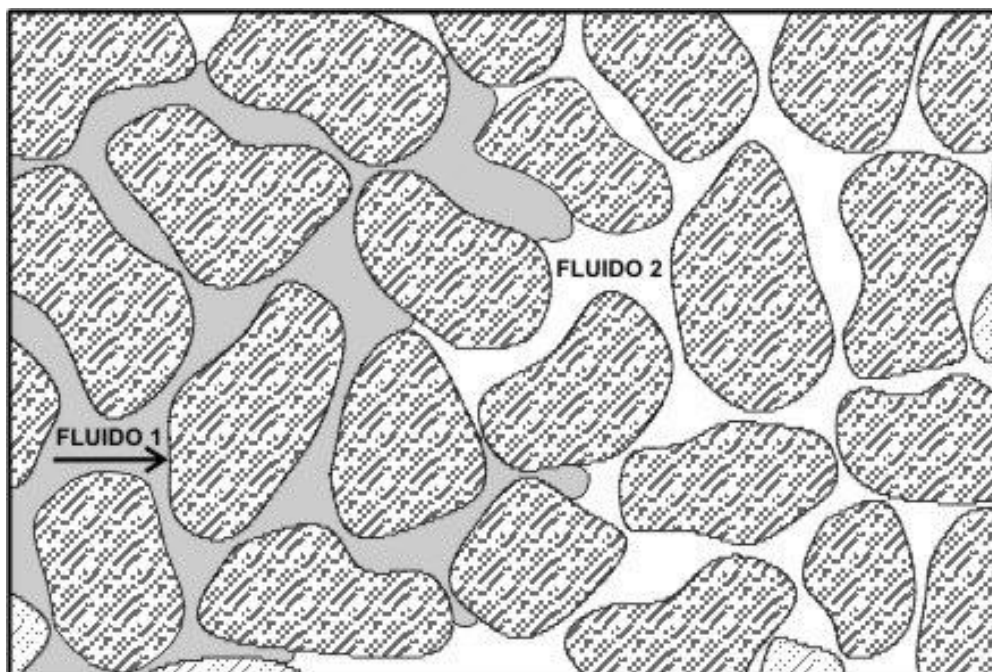


Figura 1.2: Esquema em escala microscópica de injeção secundária em meio poroso. Rossen (1999).

Ao ser reduzida a escala da figura acima para uma escala capilar, com foco na interface entre dois grãos de rocha do reservatório é possível entender melhor o fenômeno de formação de emulsão espontânea. A Figura 1.3 representa a figura acima em escala reduzida.

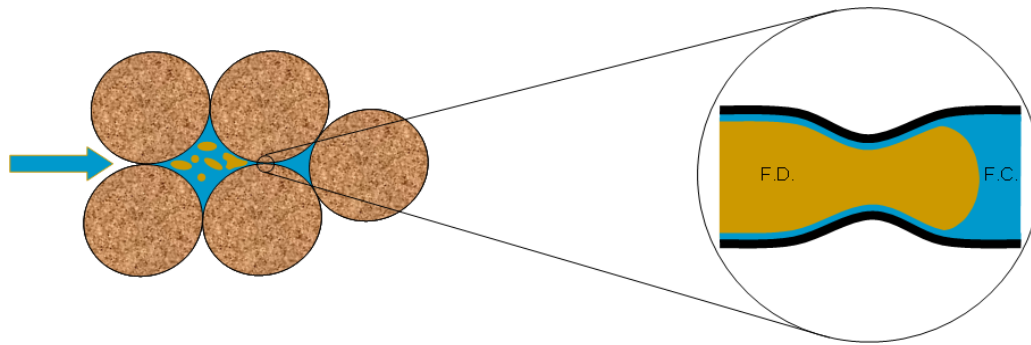


Figura 1.3: Emulsão de água em óleo (W/O). No detalhe, a fase contínua (água), a fase dispersa (óleo) na região da restrição (garganta). Pena (2007).

No lado esquerdo da Figura 1.3 é possível identificar os grãos de rocha do reservatório, e os dois fluidos presentes em seu interior. A seta indica o sentido do fluxo da injeção do fluido 1, neste exemplo representado pela água. O fluido 2, neste caso representado pelo óleo está originalmente presente no reservatório, e será conduzido de forma forçada pela água através do capilar.

O detalhe ao lado direito da Figura 1.3 ilustra o formato da interface de dois grãos de rocha do reservatório. Esta interface forma uma constrição, ou uma garganta de um capilar. Em seu interior está representada a situação em que uma gota de óleo (F.D.) é conduzida pela água (F.C.) através do espaço entre os grãos do meio poroso.

A Figura 1.4 auxilia na compreensão do processo de formação de emulsão. O acúmulo de água na região da garganta do capilar faz com que seja formado um bulbo de óleo. Na região da garganta, à medida que se aumenta a concentração de água, reduz-se o diâmetro do filamento de óleo, que por fim se rompe formando uma gota. A repetição deste processo ocasiona a formação de emulsão, neste caso de óleo em água.

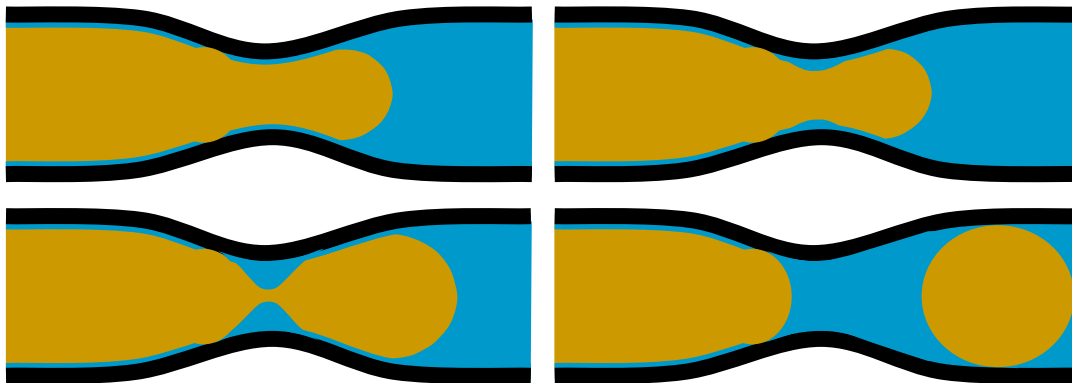


Figura 1.4: Mosaico ilustrativo de sequência de eventos para quebra de gota em um capilar com garganta. Pena (2007).

A sequência de eventos ilustrados pela figura acima é uma representação do fenômeno físico gerado pela pressão capilar. A pressão capilar é a diferença entre as pressões dos fluidos de fase contínua e dispersa devido a presença de uma interface curva. O valor da pressão capilar é dado pela razão entre a tensão interfacial e o raio de curvatura da interface.

Conforme ilustrado na Figura 1.5, por consequência do raio de curvatura da garganta (R_g) ser menor que o raio do capilar (R_c), o gradiente de pressão gerado ao longo do capilar induz um fluxo do fluido de fase contínua em sentido oposto ao do fluxo da fase dispersa. Desta forma, o fluido de fase contínua, tem como direção de escoamento a garganta do capilar, e o fluido de fase dispersa escoar para fora da garganta.

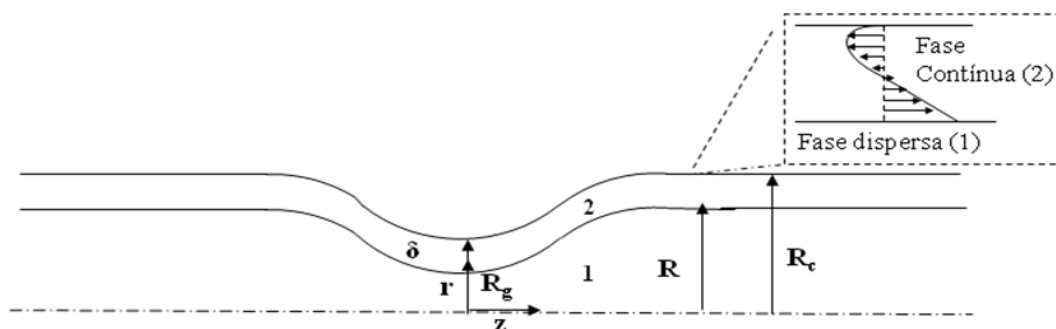


Figura 1.5: Reversão do fluxo da fase contínua (2), por consequência do aumento da pressão capilar a jusante da garganta. Escoamento do sistema está orientado no sentido oposto ao fluxo da fase contínua. Pena (2007).

A quebra de gota ocorre, pois a tensão interfacial passa a não ser suficiente para manter íntegra a camada de fluido da fase dispersa. Em outras palavras, quando a pressão da fase contínua a jusante da garganta é maior do que a pressão dessa mesma fase a montante ocorre um fluxo reverso do filme de água. Isto gera um acúmulo desta fase na região da garganta, estrangulando o filme de óleo e, por conseguinte formando uma gota. Quebra de gotas consecutivas de forma espontânea em um espaço de tempo curto tem como resultado a formação espontânea de emulsão.

As emulsões geradas de forma controlada são desejadas em alguns processos industriais, por exemplo, na fabricação de esponjas. Na indústria farmacêutica, a formação de emulsões controladas é alvo de estudos, onde objetiva-se a otimização do processo em escala industrial.

Com o foco na indústria do petróleo, e no estudo para o controle do processo de emulsões espontâneas, diversos trabalhos no campo experimental já foram desenvolvidos. Autores consagrados nesta área, como Rossen (1999) e Roof (1970), determinaram diversas correlações e formas para a geração de emulsão espontânea e controlada. Porém no campo numérico, para análises das características predominantes na formação de emulsão espontânea há relativamente poucos trabalhos desenvolvidos, o que limita a comparação com o modelo elaborado para esta dissertação.

1.2. Descrição do Problema

A parametrização implementada no presente trabalho considerou a geometria de um capilar com garganta de seção circular como uma geometria simétrica de um poro de rocha. A parametrização implantada pode ser visualizada na Figura 1.6.

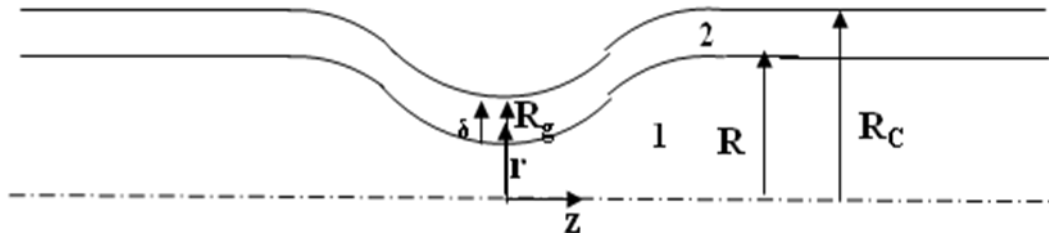


Figura 1.6: Parametrização do sistema. Pena (2007).

Os fluidos 1 e 2 estão presentes em todo o capilar, e apresentam uma condição inicial tal que, a interface entre os dois também é simétrica ao longo de toda a circunferência do capilar. O fluido 2, ou fluido de fase contínua possui uma camada com espessura δ , equivalente a diferença entre o raio local do capilar (R_c) e o raio local da interface (R). O fluido 1, ou fluido de fase dispersa ocupa o restante do capilar, e é imiscível com o fluido 2. O capilar possui uma garganta de raio equivalente a R_g , que se localiza na origem do sistema de coordenadas cilíndricas (r, z).

Não há escoamento forçado, entretanto por haver variação do raio da interface ao longo da extensão do capilar, há uma variação da diferença de pressão entre as fases, e por consequência escoamento. Conforme já explicitado na Seção 1.1, a fase contínua escoar em direção ao centro da garganta do capilar, e é responsável pela formação das gotas de fluido de fase dispersa devido ao acúmulo de fluido de fase contínua na região da garganta. No Capítulo 4 serão indicados parâmetros da geometria e propriedades dos fluidos, que serão analisados para determinação das suas influências no tempo de quebra de gota.

1.3. Objetivo

A quebra de gotas em capilares com garganta é um fenômeno que ainda necessita de modelos e estudos mais aprofundados. Este trabalho visa o entendimento do processo de formação de emulsões em meios porosos, onde a formação de emulsões é indesejável.

A analogia entre capilares com garganta e meios porosos é uma tentativa de simular os efeitos físicos de um escoamento na escala de poros. Modelos em laboratório desenvolvidos por Rossen (1999) e Roof (1970) utilizam diversas formas de capilares com garganta em seus estudos. Nesta dissertação pretende-se desenvolver um modelo numérico, onde será possível analisar de que forma os parâmetros geométricos de um capilar com garganta de seção circular e as propriedades dos fluidos contribuem para a formação de emulsão.

Também se deseja comparar os resultados obtidos com trabalhos experimentais. Espera-se que com um modelo numérico calibrado, este possa auxiliar novos experimentos e estudos de formação emulsões.