

# 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).

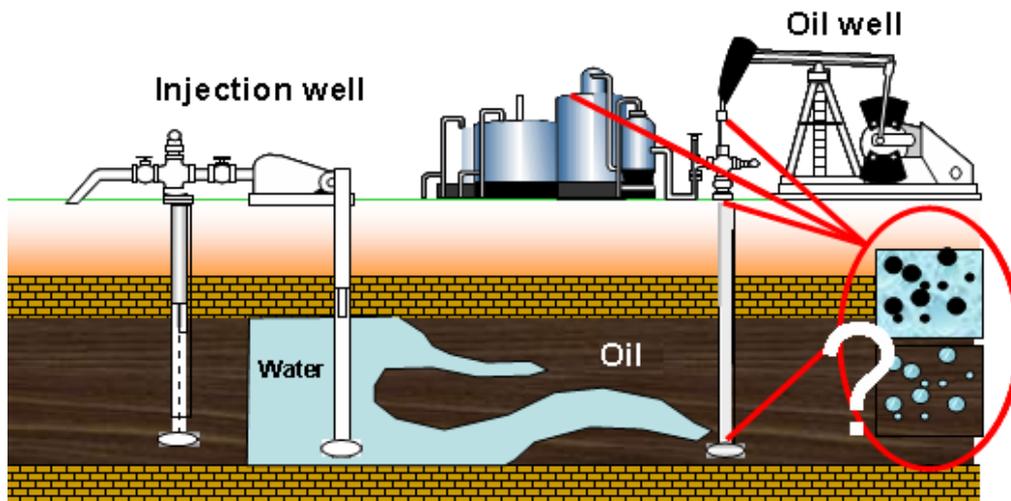


Figura 1.1: Pontos críticos para a formação de emulsão na área de exploração de petróleo. Pena (2007).

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.

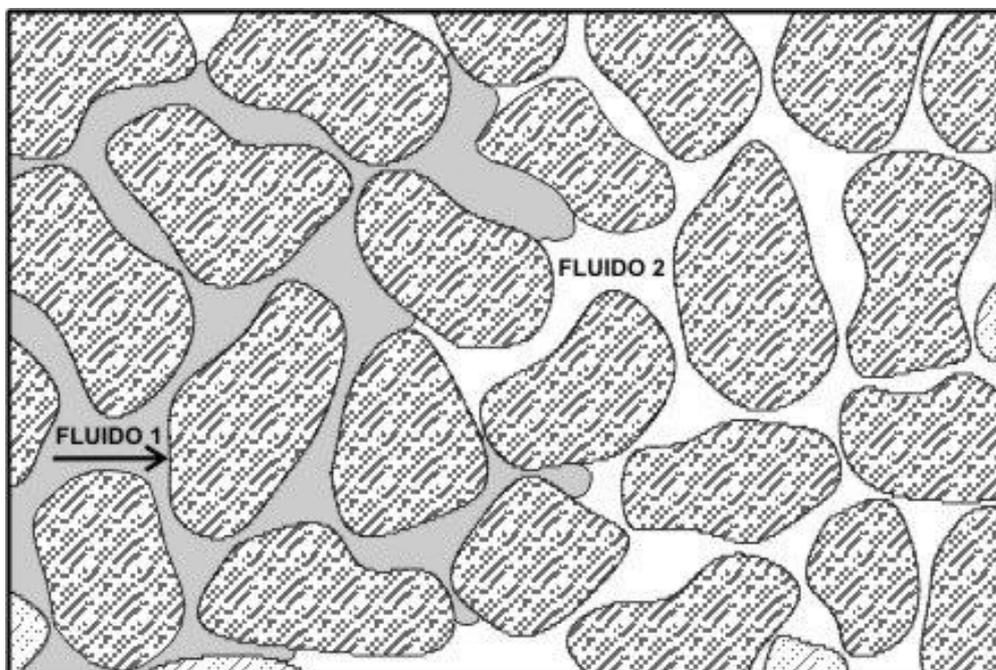


Figura 1.2: Esquema em escala microscópica de injeção secundária em meio poroso. Rossen (1999).

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.

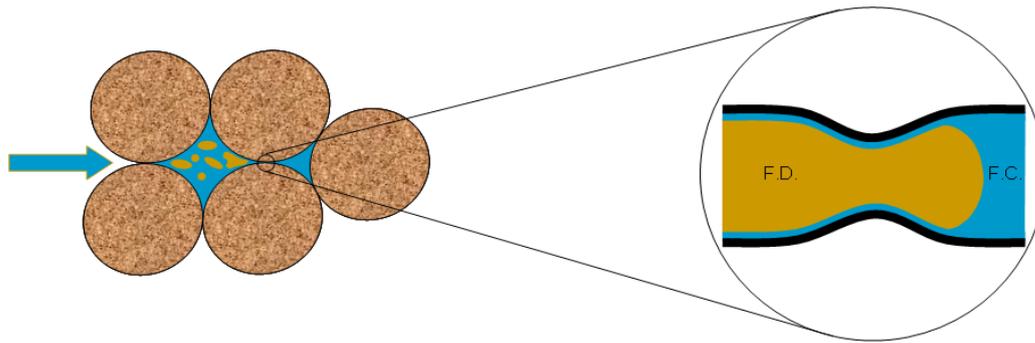


Figura 1.3: Emulsão de água em óleo (W/O). No detalhe, a fase contínua (água), a fase dispersa (óleo) na região da restrição (garganta). Pena (2007).

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.

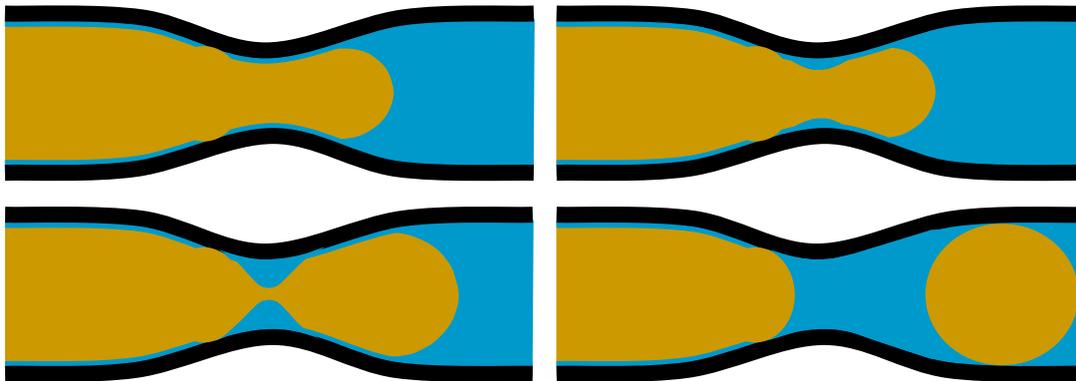


Figura 1.4: Mosaico ilustrativo de sequência de eventos para quebra de gota em um capilar com garganta. Pena (2007).

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 escoam para fora da garganta.

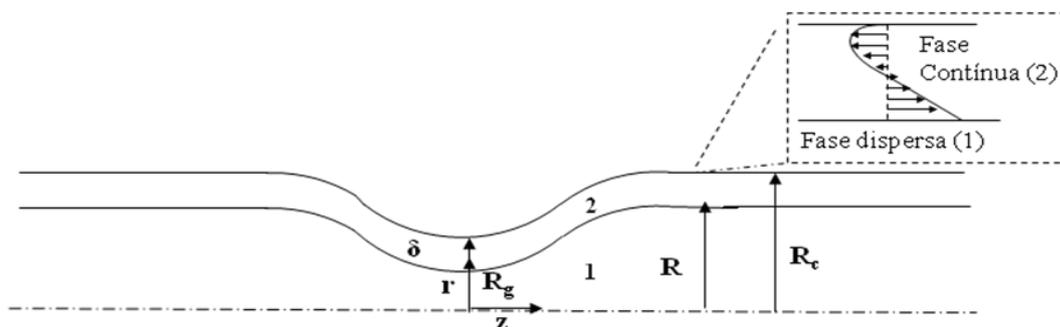


Figura 1.5: Reversão do fluxo da fase contínua (2), por consequência do aumento da pressão capilar a jusante da garganta. Escoamento do sistema está orientado no sentido oposto ao fluxo da fase contínua. Pena (2007).

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.

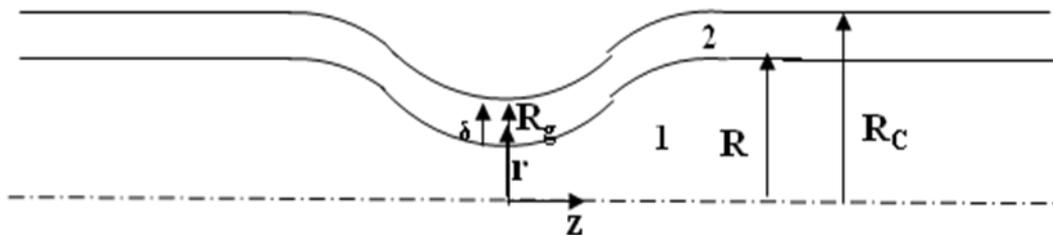


Figura 1.6: Parametrização do sistema. Pena (2007).

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  $\delta$ , 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.