

4 Resultados e Caso Base

4.1. Análise de Comportamento do Modelo

Relembrando a parametrização do problema, Figura 4.1, a quebra de gota será determinada quando o raio da interface (R) no ponto central da garganta for igual a zero. Assim, é possível que seja utilizado como referência de formação da gota, o ponto central da garganta.

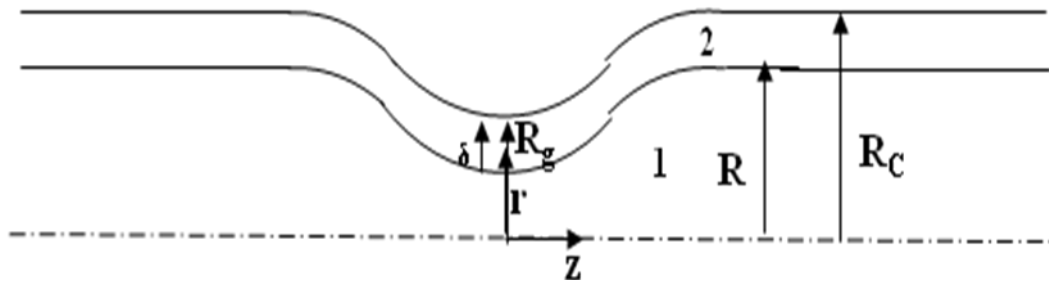


Figura 4.1: Parametrização utilizada no modelo deste trabalho. Pena (2007).

Para que possa ser feita uma análise comparativa para validação dos resultados que serão apresentados no Capítulo 5 é necessário que seja escolhido um caso base. A maioria dos parâmetros do caso base apresentados a seguir foram escolhidos em função dos valores avaliados previamente em estudos anteriores, como no trabalho de Jost (2007). No caso do trabalho deste autor, a viscosidade da fase dispersa foi considerada nula. Outra razão é que não se encontrou na literatura casos de estudos numéricos considerando a aplicação de dois fluidos líquidos e imiscíveis.

$$\text{Caso Base} \begin{cases} \mu_1 = 1cP \\ \mu_2 = 10cP \\ L = 3 \times 10^{-3} m \\ T = L/3 \\ R_c = 100 \mu m \\ R_g = 50 \mu m \\ \delta = 75\% \times R_g \\ \sigma = 0,06 N / m \end{cases}$$

A Figura 4.2 ilustra a variação do raio da interface em função do tempo no ponto central da garganta do capilar.

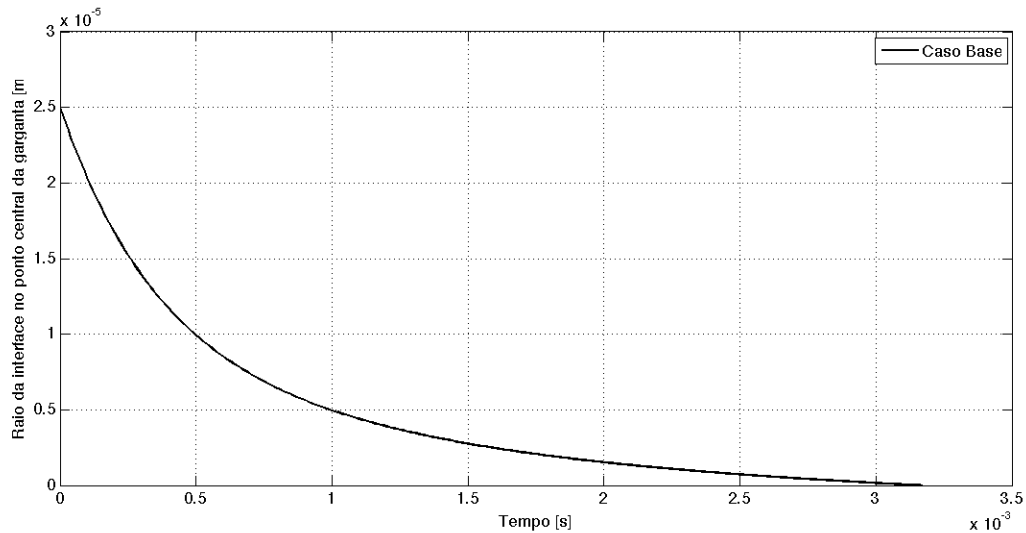


Figura 4.2: Monitoramento da posição do raio da interface no ponto central da garganta.

Na figura acima é evidente a taxa decrescente do raio da interface ao longo do tempo. A taxa decrescente ocorre, pois há um estrangulamento do fluxo de fase contínua na região da garganta à medida que a fase dispersa escoia em direção a cavidade do capilar. Este movimento dos fluidos pode ser ilustrado através da Figura 4.3.

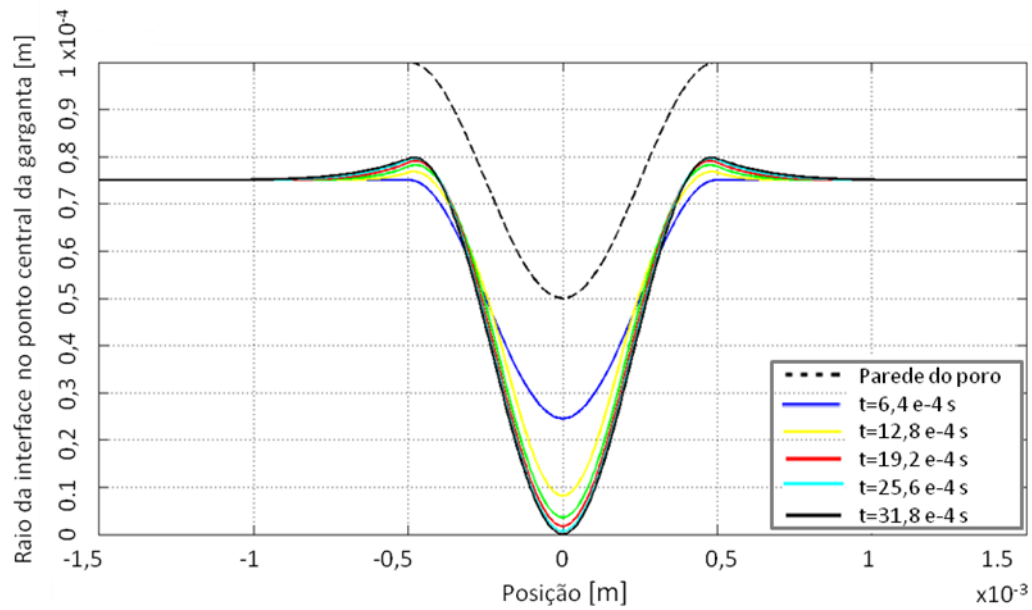


Figura 4.3: Instantes de tempo indicando o movimento da interface para o Caso Base.

A Figura 4.3 ilustra a configuração da interface em alguns instantes de tempo, onde se percebe que a interface se movimenta no sentido de estreitar a passagem de fluido na garganta ao mesmo tempo em que ocorre a formação de um colar. Esse estreitamento reduz a velocidade do fluxo da fase contínua, se traduzindo no amortecimento da taxa de decrescimento da interface. Neste ponto, a interface tende a migrar para o centro do capilar, em resposta ao efeito de formação do colar, ou seja, ao acúmulo de fase contínua.

A medida que o fluido da fase contínua escoar em direção a garganta do capilar, o raio de gota da fase dispersa diminui, aumentando a pressão da fase descrita neste local como ilustrado na Figura 4.4. Desta forma, como será analisada no Capítulo 5, a espessura de filme de fluido da fase dispersa será determinante sobre o efeito do amortecimento da taxa de decrescimento da interface.

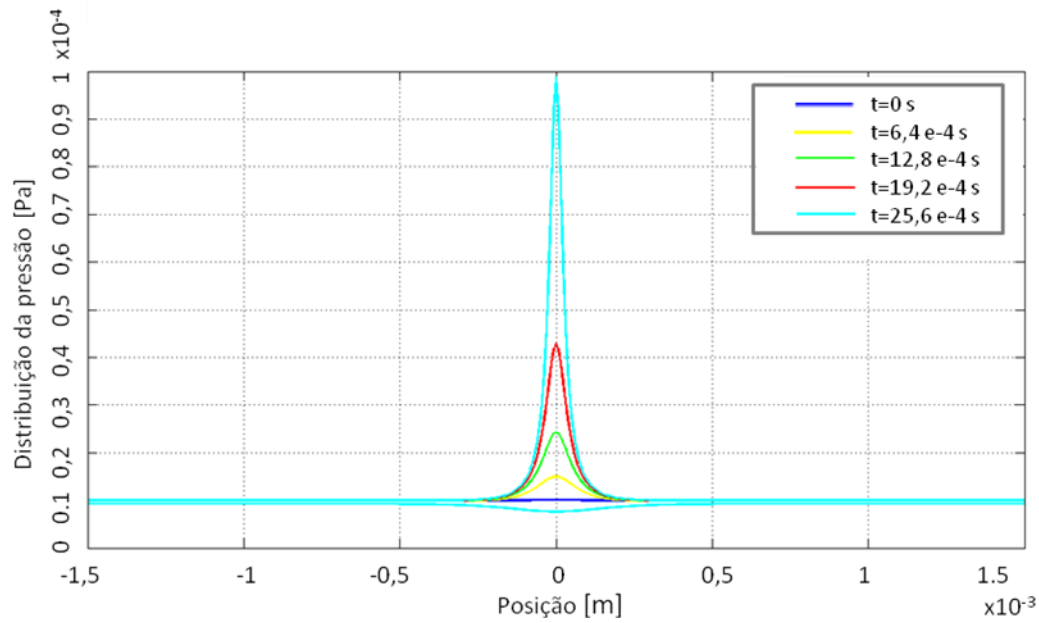


Figura 4.4: Instantes de tempo indicando a variação da distribuição de pressão nos fluidos de fase dispersa e contínua.

A Figura 4.4 ilustra a distribuição de pressão da fase dispersa e contínua. Nas curvas de pressão positiva estão os instantes de tempo da distribuição para o fluido de fase dispersa, já nas curvas negativas estão as da fase contínua, que não apresenta variações significativas na distribuição da pressão ao longo dos diferentes instantes de tempo, razão esta que será explicada no Capítulo 5.

4.2. Análise de Independência com o Tamanho da Malha

É importante que os resultados obtidos pelo modelo não apresentem dependência com a malha utilizada para os cálculos numéricos. Vale ressaltar que uma malha pouco refinada implica em resultados com grande incerteza associada. Por outro lado, uma malha com excesso de números de nós trará incremento no uso da memória computacional, pois haverá aumento do tempo de simulação, uma vez que para a solução numérica será necessário a inversão da matriz Jacobiana intrínseca ao método de Newton. Uma análise da independência dos resultados com o tamanho de malha foi realizado no presente trabalho.

O gráfico da Figura 4.5 apresenta a comparação de tempo de quebra de gota para o caso base utilizando malhas de 401 e 801 nós. Como pode ser observado na figura, a quebra de gota ocorre em $3,18 \times 10^{-3} s$ para ambas as malhas. Neste instante, a interface dos fluidos no ponto central da garganta obteve um deslocamento de $25,0 \times 10^{-6} m$, ou 25 microns, formando uma gota.

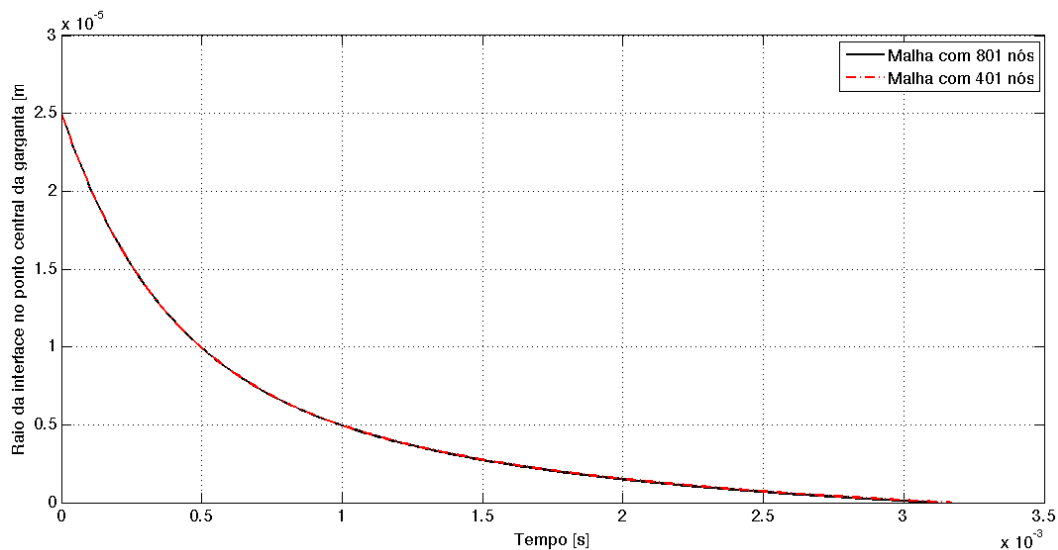


Figura 4.5: Variação da posição da interface no ponto central da garganta ao longo do tempo. Modelos com 401 e 801 nós.

Com estes resultados pode-se dizer que o modelo é independente do tamanho da malha, e desta forma será utilizada a malha de 401 nós para os testes deste trabalho, com objetivo de otimizar o tempo de simulação.

4.3. Análise de Independência com o Passo de Tempo

Semelhante com a análise de independência ao tamanho da malha na seção anterior, a independência com passo de tempo da solução obtida também é fundamental.

Nesta seção utilizou-se para o mesmo caso base três passos de tempo distintos, $1 \times 10^{-4} s$, $1 \times 10^{-5} s$ e $1 \times 10^{-6} s$ em simulações independentes. Novamente vale ressaltar que o fenômeno de quebra de gota em capilares com garganta pode ocorrer em algumas dezenas de micrônios de segundos. Ou seja, passos de tempos maiores do que $1 \times 10^{-4} s$ podem acarretar “saltos” de soluções numéricas, gerando instabilidade no modelo. Ao mesmo tempo, passos de tempo inferiores a $1 \times 10^{-6} s$ estão geralmente associados a um aumento desnecessário do tempo de simulação.

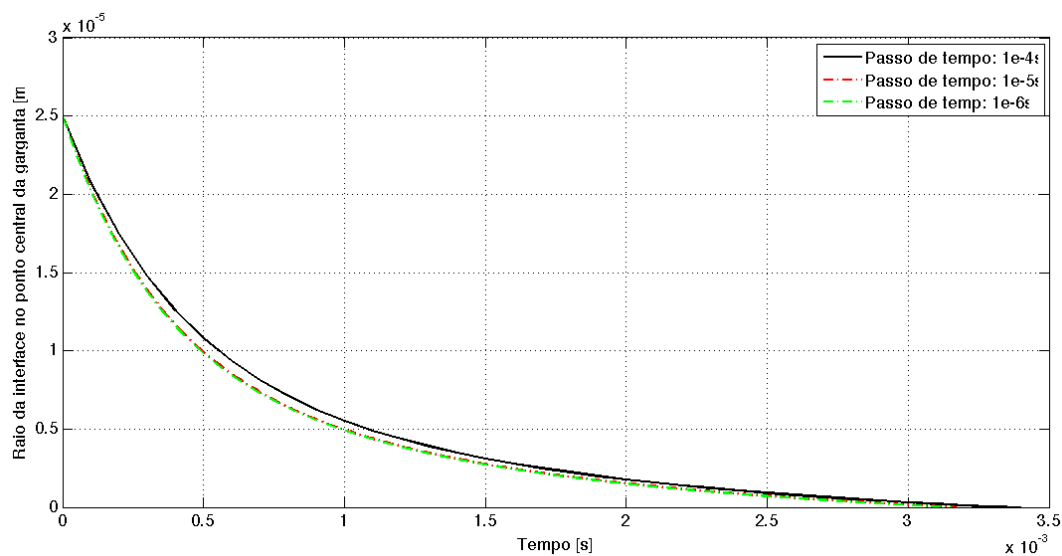


Figura 4.6: Variação da interface dos fluidos no ponto central da garganta. Modelo com passos de tempo diferentes.

Na Figura 4.6 pode-se observar que para uma mesma malha, parâmetros e condições iniciais, ao se alterar o passo de tempo de $1 \times 10^{-5} s$ para $1 \times 10^{-6} s$, os resultados apresentados foram os mesmos. Contudo para um passo de tempo de $1 \times 10^{-4} s$ ocorre ligeira diferença na solução numérica.

Desta forma, o modelo pode ser considerado como independente do passo de tempo para valores inferiores a $1 \times 10^{-5} s$, uma vez que as soluções numéricas

das duas simulações são idênticas. Por este ser o menor valor considerado como independente das condições e parâmetros do modelo será utilizado como passo de tempo nos testes e casos a serem analisados no Capítulo 5.