

## COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE ESCOAMENTO TRIFÁSICO EM DUTOS UTILIZANDO A DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

Daniel Andrade de Lira<sup>1</sup>; Ewerton Emmanuel da Silva Calixto<sup>2</sup> Fernando Luiz Pellegrini Pessoa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutorando Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial; Bolsista da ANP; daniel.lira1991@gmail.com

<sup>2</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; ewerton.calixto@fieb.org.br

<sup>3</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; fernando.pessoa@fieb.org.br

### RESUMO

Um estudo numérico é conduzido para investigar as características de escoamento estratificado de três fases em um duto horizontal. As simulações são conduzidas em uma ampla faixa de fração de líquido e velocidade superficial, o que é comum em gasodutos úmidos e de transporte longo. As características de fluxo investigadas incluem padrão de fluxo, retenção de líquido e queda de pressão. Neste trabalho foi utilizada a formulação matemática volume de fluido (VOF) e Euleriana. A formulação matemática destes modelos gera diferenças na sua convergência, exatidão e desempenho computacional. Este trabalho destaca as diferenças destes dois modelos para aplicações de escoamento trifásico em direção horizontal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escoamento, Trifásico, CFD.

### 1. INTRODUÇÃO

O projeto de um sistema para escoamento multifásico proporciona diversos desafios aos engenheiros envolvidos. Esses desafios incluem avaliar a redução da capacidade de fluxo devido à formação de líquido(s) na tubulação e avaliar o potencial de formação de substâncias indesejáveis (ácidos, ceras, emulsões e hidratos) nas linhas.

A redução da capacidade produtiva talvez seja o maior desafio a ser vencido. O escoamento multifásico em tubos pode resultar em um aumento significativo na queda de pressão quando comparado ao fluxo monofásico. A queda de pressão pode aumentar até 30% para sistemas fluído gás/gás condensado em baixas concentrações (0,5%)<sup>1</sup>.

Atualmente, a maioria dos modelos matemáticos é desenvolvida para avaliar a redução de fluxo em sistemas de duas fases (gás-líquido). Portanto, existe a necessidade de uma ferramenta capaz de estimar a redução de fluxo quando mais de um líquido é formado no tubo.

Outro problema de garantia de fluxo é a formação de hidratos. O transporte simultâneo de água e hidrocarbonetos leves pode criar as condições para a formação desses cristais. A formação desses compostos sólidos pode criar uma restrição ao fluxo ou mesmo obstruir o tubo. Metanol, glicol e outros álcoois são comumente injetados em dutos para inibir a formação de hidratos. Essas substâncias podem facilmente se misturar com a fase aquosa promovendo a formação da fase líquida. Engenheiros precisam mensurar quão impactante é a injeção de inibidores na garantia do fluxo das linhas de transmissão<sup>2</sup>.

A compreensão do comportamento termodinâmico e hidrodinâmico do escoamento trifásico pode ajudar no entendimento de outros problemas de redução de fluxo. Esses problemas estão relacionados à formação potencial de indesejáveis substâncias dentro do sistema de transporte. Essas substâncias podem ser ácidos, hidratos, emulsões, ceras ou compostos asfálticos. Essas questões podem ser tratadas de forma adequada estimando a composição das fases que escoam dentro do tubo. Tal estimativa permite aos engenheiros avaliarem a possibilidade de formação dessas substâncias e como evitar sua ocorrência. Estas análises minimizam as perdas de produção e os investimentos de manutenção necessários para manter esses sistemas de tubulação operando adequadamente.

O objetivo deste estudo é descrever os modelos numéricos em um domínio tridimensional para escoamento trifásico em tubulações. Estes modelos fornecem os meios para obter uma compreensão fundamental dos mecanismos termodinâmicos e hidrodinâmicos envolvidos no escoamento de óleo em tubulações.

Os modelos aqui descritos têm o potencial de estimar a composição das fases que precipitam no tubo e seu potencial de formar substâncias que podem afetar a integridade mecânica do tubo. A ferramenta a ser desenvolvida permitirá realizar uma representação fundamental do fluxo trifásico, auxiliando os engenheiros na tomada de decisão para prevenir ou minimizar a perda da capacidade produtiva das tubulações de óleo bruto.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos últimos anos, as tecnologias de escoamento multifásico se beneficiaram muito do crescimento da dinâmica dos fluidos computacionais (CFD). A aplicação destas tecnologias na indústria do petróleo se tornou indispensável para a melhoria da performance dos reservatórios de óleo.

O escoamento trifásico gás-óleo-água em tubos adota vários padrões de fluxo, os quais dependem, principalmente, das taxas de fluxo das fases, das propriedades físicas dos fluidos, do diâmetro e da inclinação do tubo. A retenção de líquido e o aumento da queda de pressão são características significativas de sistemas de fluxos bifásico e trifásico<sup>4</sup>. Os problemas comuns encontrados em sistemas de fluxo trifásico incluem capacidade de fluxo reduzida devido ao aumento da queda de pressão, diminuição da vida útil do equipamento devido à corrosão e distribuição desigual dos inibidores de corrosão. A extensão da queda de pressão do fluxo trifásico está associada ao tipo de padrões de fluxo gás-líquido e líquido-líquido em condições específicas de vazão e pressão. Portanto, as informações dos padrões de fluxo e as características associadas em diferentes taxas de fluxo ajudam a aumentar a eficiência dos sistemas de transporte, otimizando a gama de parâmetros críticos<sup>2</sup>.

A identificação de padrões de fluxo e queda de pressão é necessária. Para isto, a aplicação de geometrias computacionais que representem de forma satisfatória o tubo real bem como modelos numéricos validados a partir de dados experimentais é fundamental para validação das simulações CFD. Os dois modelos numéricos utilizados amplamente pela literatura são o (i) volume de fluido (VOF: Volume of fluid), e o (ii) Euleriano.

A perspectiva VOF resolve as equações de continuidade e momento para a média das propriedades dos fluidos envolvidos. Um benefício desta abordagem é que ela economiza tempo computacional; entretanto, ao se calcular a média das fases, algumas informações sobre o comportamento da fase são perdidas. O cálculo da média das propriedades do fluido é realizado usando regras de mistura convencionais com base na fração de fase dentro de uma célula. Por exemplo, a viscosidade da mistura ou a viscosidade média da fase é calculada como:

$$\bar{\nu} = (1 - \alpha)\nu_g + \alpha\nu_l \quad (1)$$

Na Equação 1,  $\alpha$  é a fração líquida em uma célula computacional,  $\nu_g$  e  $\nu_l$  são, respectivamente, a viscosidade do gás e a do líquido. A fração  $\alpha$  é descrita como:

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{se a célula é ocupada totalmente por líquido} \\ 0 < \alpha < 1 & \text{se a célula contém gás e líquido} \\ 0 & \text{se a célula só contém gás} \end{cases}$$

Na abordagem Euleriana, cada fase coexiste em todos os pontos do espaço, movendo-se de forma contínua. A solução das equações da continuidade e de momento das fases presentes e o acoplamento entre as fases são obtidos através dos coeficientes de troca de pressão e interfase. Para cada fase K, a equação de conservação é escrita como uma função da fração de volume da fase  $\alpha_K$ . Neste método, ambas as fases podem ser calculadas sobre um volume fixo. A fração de volume de cada fase é calculada da seguinte forma (Equação 2):

$$\alpha = \frac{1}{V} \int X(r) dVr \quad (2)$$

onde V é o volume médio, e X(r) é a função característica.

O avanço na capacidade de processamento dos computadores tornou o CFD, uma ferramenta robusta para estudar a dinâmica do fluxo na faixa desejada de parâmetros e geometrias. A análise CFD em fluxo de duas fases foi realizada por diversos autores<sup>5</sup>. No entanto, a análise CFD do escoamento trifásico em tubos é escassa na literatura. A análise terá como objetivo simular o escoamento trifásico em um tubo utilizando os modelos volume de fluido (VOF) e Euleriano.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Simulações CFD é um método capaz de prever a dinâmica do fluxo trifásico gás-líquido-líquido. Este trabalho realizou uma comparação entre dois modelos CFD em um fluxo horizontal. Os métodos estudados são os modelos Euleriano e VOF. Os resultados disponíveis mostram que o modelo Euleriano requer mais tempo de simulação do que o modelo VOF usando a mesma malha. Na previsão dos regimes de escoamento o modelo VOF possui mais acurácia. Os dois modelos apresentam deficiência em prever o comportamento do regime de escoamento para altas velocidades de gás. A precisão dos modelos pode ser aumentada com o acoplamento de novos modelos CFD.

### Agradecimentos

Ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em particular ao PRH 27.1 ANP/FINEP/SENAI CIMATEC, pelo financiamento da bolsa de Doutorado.

### 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> Roberts P.A., Azzopardi B.J., Hibberd S. **The split of horizontal semi-annular flow at a large diameter T-junction**. International Journal of Multiphase Flow, 1995.
- <sup>2</sup> Shmueli A., Unander T.E. **Characteristics of Gas/Water/Viscous Oil in Stratified-Annular Horizontal Pipe Flows**. OTC Brasil, Rio de Janeiro, 2015.
- <sup>3</sup>Yaqub, Muhammad Waqas., Pendyala, Rajashekhar. **CFD simulations of gas-liquid-liquid three-phase co-current flow in horizontal pipe by tracking volume fractions using VOF model**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.
- <sup>4</sup> Hernandez-Perez V., Abdulkadir M., Azzopardi B. **Grid generation issues in the CFD modelling of two-phase flow in a pipe**. The J. of Comp. Multiphase Flows, 2011.
- <sup>5</sup> Bhramara P et al. **CFD analysis of two-phase flow in a horizontal pipe—prediction of pressure drop Momentum**. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008.