

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo numérico do escoamento bifásico óleo pesado e gás natural na queda de pressão em dutos com uma junção de 45° utilizando o software CFX

AUTORES:

Rogério Leão Costa Falcão , Davi Nascimento Ferreira , José Luís Gomes Marinho.

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Alagoas

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

**ESTUDO NUMÉRICO DO ESCOAMENTO BIFÁSICO ÓLEO PESADO E GÁS
NATURAL NA QUEDA DE PRESSÃO EM DUTOS COM UMA JUNÇÃO DE 45°
UTILIZANDO O SOFTWARE CFX**

Abstract

Biphasic flow is very important to petroleum production, since reservoirs can produce oil and gas (liquid-gas) or oil and water (liquid-liquid) simultaneously. These fluids must flow to marine surface by wells and then to production platform, where a complex system of pipes is used to move the fluids. Usually in platforms and some types of refineries, where there is a lack of space, the use of special tools (valves, flow meters, etc.), pipe connections (elbows, bends, restrictions, etc.) and possible fouling of paraffinic oil, reduce the flow area, causing the rise of turbulence and resulting in pressure drops, that occurs because of the friction of the fluid against the walls of the tube. Due to its importance, the pressure drop must be determined with precision, in order to obtain an economic and well dimensioned pumping system, thus reducing the cost per pumped volume. Nowadays, with more efficient codes to simulate different kinds of flow, it is possible to compare the analytic and numeric predictions of pressure drop in a liquid – gas flow.

Keywords: Biphasic flow, pressure drop, 45° elbow.

Introdução

O escoamento multifásico é uma constante na indústria do petróleo, pois a produção do óleo é comumente acompanhada pela produção de partículas de areia, argila e gás natural. Suas aplicações, porém, não se restringem somente a indústria petrolífera, tendo utilidade na indústria química e petroquímica, destacando – se o uso de condensadores e refulverdores, na indústria nuclear, em sistemas de refrigeração, além de estar presente em inúmeros fenômenos naturais como avalanches, névoa, chuva, fluxo de detritos, fluxo do sangue no interior do corpo humano, entre outros (BRILL e MUKHERJEE, 1999).

Para que ocorra a produção do petróleo, é necessária a exploração dos reservatórios, para conhecimento de suas reservas e de seu valor econômico, perfuração e completação e, por fim, elevação do óleo à superfície, a qual será realizada por meio de tubulações.

Com relação à indústria petroquímica, temos que a produção dos fluidos contidos em uma rocha-reservatório é dependente de um gradiente de pressão suficiente, influenciado pelo seu histórico prévio de produção e suas propriedades, considerando todo o ambiente constituído pelas rochas e fluidos. Como importantes mecanismos de produção de reservatórios destacam – se o mecanismo de gás em solução e o mecanismo de capa de gás. Destaca-se em ambos a formação de fluxo bifásico na tubulação (ROSA, CARVALHO e XAVIER, 2006). Além da formação de um escoamento bifásico líquido – gás decorrente da dinâmica dos mecanismos de produção citados, temos que, nos reservatórios, o petróleo e o gás natural aparecem frequentemente associados.

Visando redução de custos e otimização de espaço disponível, são utilizadas junções. Esse benefício acontece ao decorrer do dimensionamento e construção das linhas de transmissão do fluido produzido, já que fatores como acidentes topográficos, regiões de alto risco, restrições espaciais e alto custo dos condutos limitam o comprimento da tubulação. Contudo, a presença de junções na tubulação contribui significativamente para o aumento da queda de pressão no escoamento e da complexidade de sua previsão, visto que, na literatura, há uma falta de metodologias analíticas para o cálculo da queda de pressão em junções. A análise da queda de pressão utilizando uma junção de 45° é encontrada em Kim, Kojasoy e Guo (2008) e Bandyopadhyay e Das (2013), sendo no primeiro estudo desenvolvida uma correlação para o cálculo da queda de pressão em joelhos de 45° e 90°.

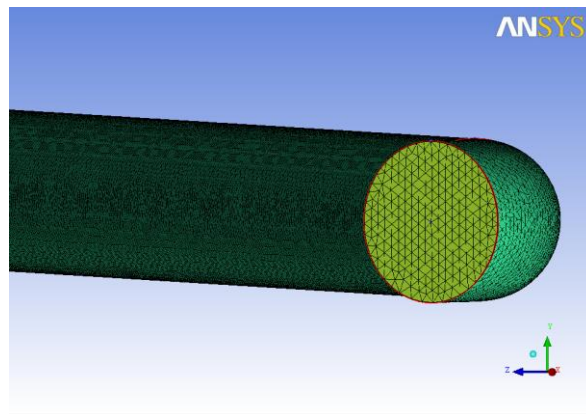
Tendo em vista a escassez de trabalhos científicos empregando junções de 45°, associada também a falta de procedimentos para o cálculo da queda de pressão em instalações com junções, o presente trabalho analisa a queda de pressão em tubulação com junção de 45°, para um escoamento bifásico petróleo-gás natural, utilizando o software comercial ANSYS e correlações empíricas.

Metodologia

• Descrição do modelo

O problema analisado neste trabalho consiste em uma tubulação, composta por uma parte reta horizontal de 1 m seguida de uma junção de 45° com comprimento de 0,0699 m. Toda a tubulação apresenta o raio de 25,15 mm. A rugosidade da tubulação é correspondente à existente no aço comercial, sendo equivalente a 0,045 mm (ÇENGEL e CIMBALA, 2007).

Figura 1 – Malha correspondente a geometria do problema



Fonte : Autor.

• Modelagem matemática

A modelagem matemática do problema é fundamentada nas equações de conservação de massa (1) e momento (2), provenientes da mecânica dos fluidos, e nas correlações de Lockhart e Martinelli (1949), utilizada na parte reta, e Kim, Kojasoy e Guo (2008), utilizada na junção de 45°.

$$\frac{\partial(\rho)}{\partial t} + \nabla(\rho u) = S_M \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U) + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu(\nabla U + \nabla U^T)) + S_M \quad (2)$$

A correlação de Lockhart e Martinelli (1949) baseia-se na determinação da perda bifásica por meio das pressões monofásicas multiplicadas por seu respectivo multiplicador Y (3), obtido graficamente. Esta é aplicável para regime permanente, isotérmico e com equilíbrio termodinâmico entre as fases.

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{BF} = \gamma_L \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_L = \gamma_G \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_G \quad (3)$$

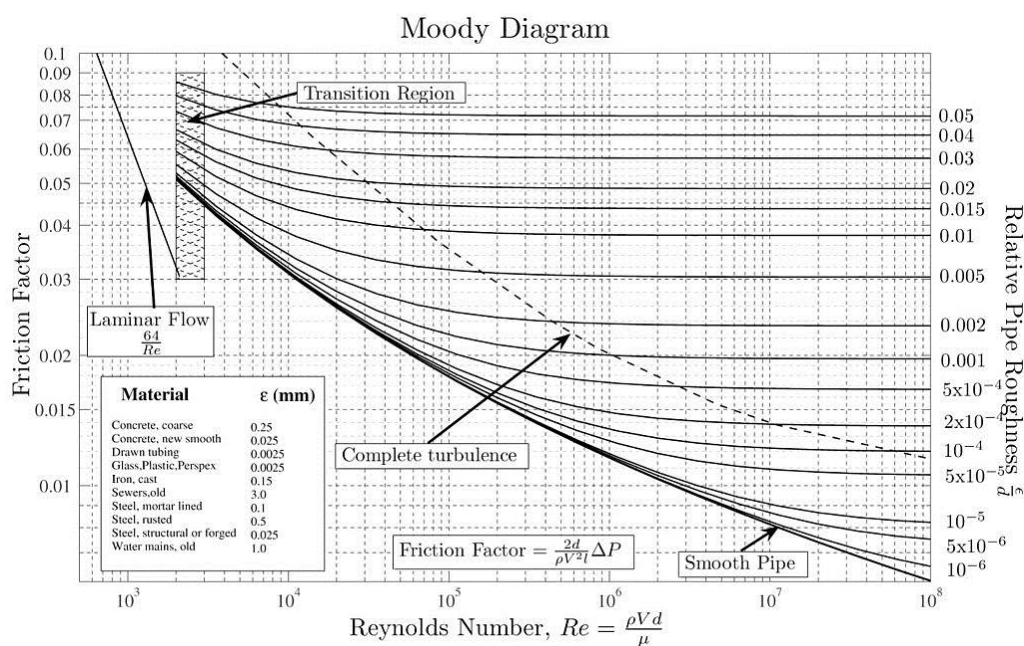
A correlação de Kim, Kojasoy e Guo (2008) é derivada de Lockhart e Martinelli (1949), sendo o multiplicador ϕ (4) calculado a partir dos parâmetros X e X_m , os quais dependem das perdas do gás e do líquido, tanto por atrito quanto pela influência da curva. A partir do multiplicador calcula-se a perda bifásica (5).

$$\phi_F^2 = \left[1 + \frac{1}{X_M^2} \right] + \frac{\left[1 + \frac{1}{X_M^2} \right]^{\frac{1}{2}} C}{X} + \frac{1}{X^2} \quad (4)$$

$$\phi_F^2 = \frac{\left(\frac{dp}{dz} \right)_{Ff}^{20}}{\left(\frac{dp}{dz} \right)_{Ff}} \quad (5)$$

Para o cálculo do fator de atrito foi utilizado o diagrama de Moody (1944) , presente na figura a seguir.

Figura 2 – Diagrama de Moody (1944)



Fonte : MOODY , 1944.

• Dados utilizados nas simulações

Nas simulações foi utilizado o modelo homogêneo , regime permanente e isotérmico com temperatura de 30°C e com ambos fluidos utilizados presentes como fases contínuas. Foram utilizadas como condições de contorno : velocidades de entrada nos valores de 8,5 m/s , 9 m/s , 9,5 m/s , 10 m/s e 10,5 m/s, de forma a testar com mais eficiência a precisão do resultado numérico com relação às correlações empíricas ; saída do duto com pressão a 1 atm e fração volumétrica de gás e óleo correspondentes a 50% cada. A tabela a seguir representa as propriedades dos fluidos utilizados.

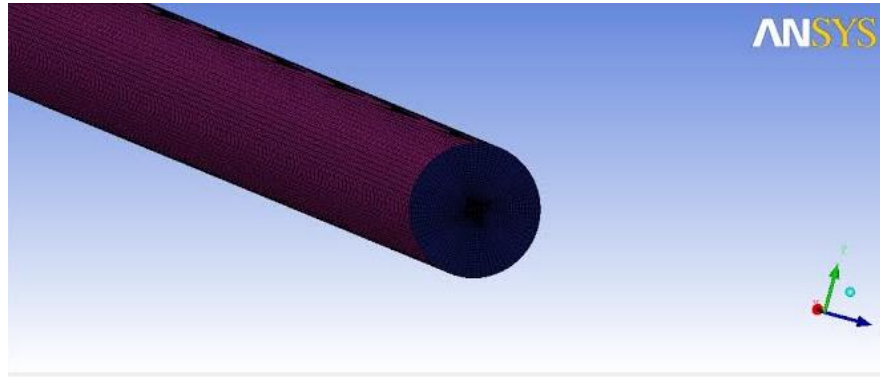
Tabela 1 – Propriedades dos fluidos

Fluido	Densidade(kg / m ³)	Calor específico (J/(kg.K))	Viscosidade Dinâmica(Pa.s)	Massa molar (g/mol)
Óleo pesado	925,4864865	1951.642481	0,371	600
Gás natural	0,68	2200	0,000010245	18

- **Malhas numéricas**

Utilizando o ANSYS ICEM CFD foram desenvolvidas duas malhas : uma referente ao trecho reto , visando encontrar a velocidade de entrada na curva , e uma de toda a tubulação , visando encontrar a queda de pressão total.

Figura 3 – Malha correspondente à parte reta do tubo



Fonte : Autor.

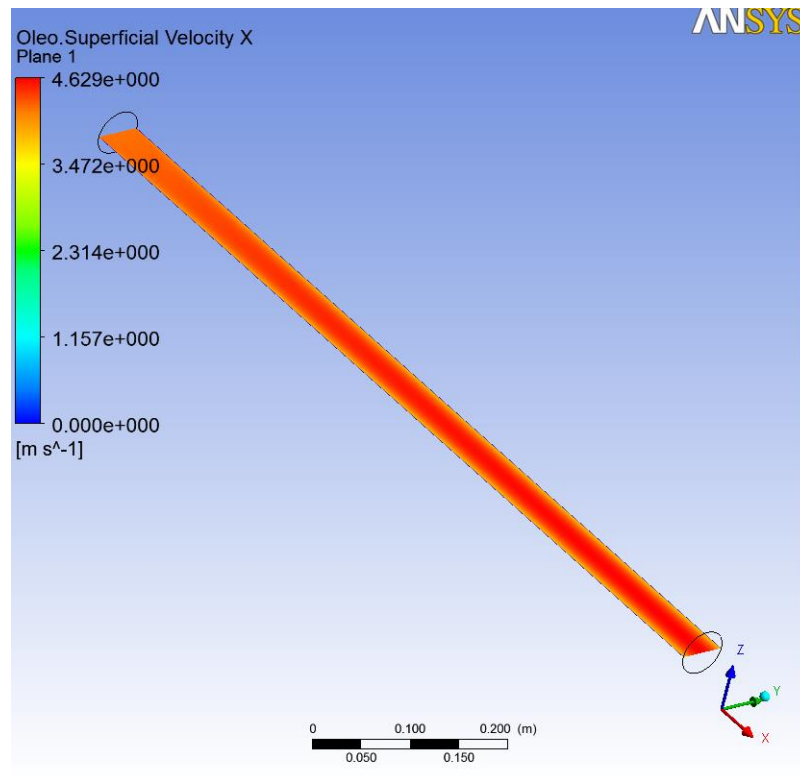
Tabela 2 – Informações das malhas

Informação	Malha do trecho reto	Malha de toda geometria
Número de nós	556000	103019
Número de elementos	567511	597861

Resultados e Discussão

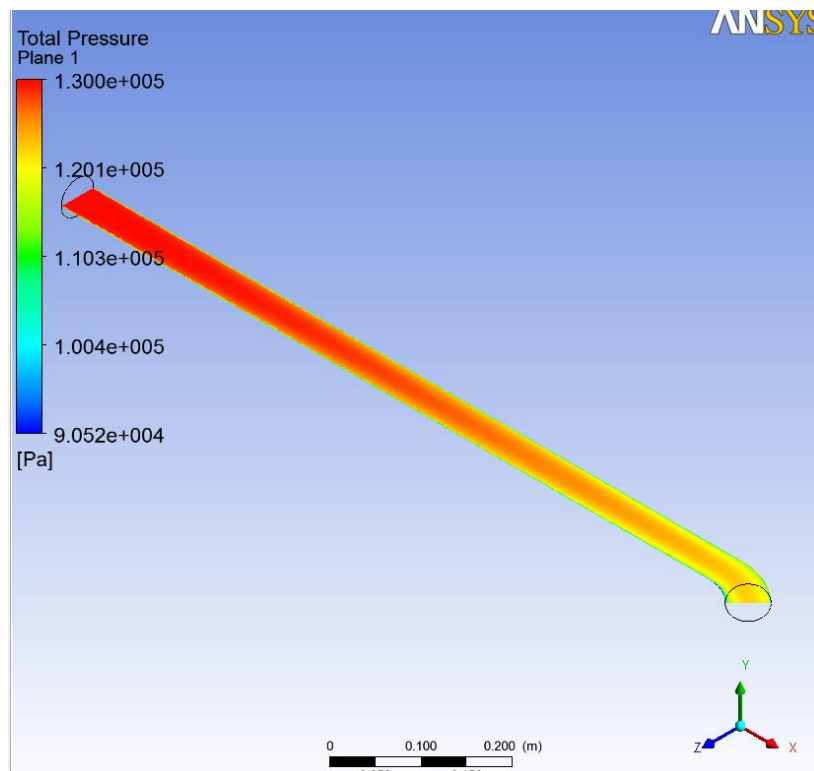
Todas as simulações foram realizadas no ANSYS CFX 13.0. Primeiramente , por meio de simulações usando a malha da parte reta , foram obtidas as velocidades médias de saída da tubulação reta e entrada na parcela curva, por meio da análise do perfil de velocidades no eixo x. A figura a seguir ilustra a distribuição da velocidade na parte reta , sendo a velocidade inicial de 8,5m/s.

Figura 4 – Distribuição da velocidade superficial média do óleo



A partir da velocidade superficial média de saída da parte reta são calculadas as perdas de carga para a junção de 45°. Por meio da análise da diferença de cores presente na figura, observa-se a velocidade média é menor nas extremidades que no centro do conduto. Posteriormente foram efetuadas simulações utilizando toda a tubulação visando obter os valores da queda de pressão total. A figura a seguir demonstra o perfil de queda de pressão total para a velocidade inicial de 8,5 m/s.

Figura 5 – Perfil de queda de pressão



Analisando a figura acima , percebemos que a queda de pressão é maior no centro do conduto , menos em suas extremidades e mais intensa na primeira metade do trecho reto da tubulação.

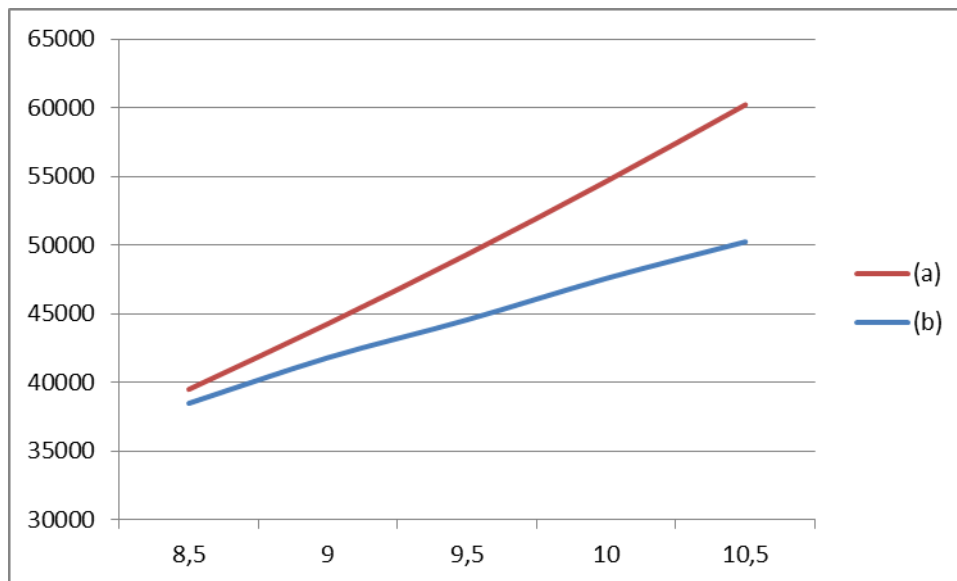
Por fim , foi calculado o erro numérico relativo às perdas de carga obtidas analiticamente , pelo somatório da parte reta , Lockhart e Martinelli (1949) , com a junção de 45° , Kim, Kojasoy e Guo (2008). Os valores obtidos para as diferentes velocidades de entrada estão agrupados na tabela a seguir.

Tabela 3 – Erro relativo das quedas de pressão para cada velocidade analisada

Velocidade inicial de fluxo	Queda de Pressão Analítica (Pa)	Queda de Pressão Numérica (Pa)	Erro relativo
8,5 m/s	38482,67544	39499,3	2,641772%
9 m/s	41813,29919	44280,2	5,899799 %
9,5 m/s	44566,91241	49328,6	10,684356 %
10 m/s	47582,52358	54644,2	14,840900 %
10,5 m/s	50246,49997	60224,5	19,85831%

Foi traçado um gráfico relacionando as quedas de pressão analítica (b) e numérica (a) para as respectivas velocidades analisadas.

Gráfico 1 – Queda de pressão por velocidade analisada



Foi observado que com o crescimento da velocidade da mistura óleo-gás natural ocorre um aumento da queda de pressão , devido a uma resistência da mistura ao escoar pela tubulação. Nota-se que a medida que a velocidade do fluido aumenta , o resultado numérico se afasta do analítico , o que mostra a necessidade de ajustes na modelagem matemática para adequação com os resultados numéricos.

Conclusões

A partir da análise dos resultados obtidos , observa – se que utilizando uma formulação analítica combinada entre a correlação de Lockhart e Martinelli (1949) e a de Kim, Kojasoy e Guo (2008) ,

para o cálculo queda de pressão de um escoamento óleo pesado – gás natural , em uma tubulação com trecho reto e uma junção de 45° , os resultados numéricos correspondem satisfatoriamente às previsões analíticas para as velocidades iniciais de fluxo de 8,5 m/s e 9 m/s. A elevação da velocidade superficial de entrada da tubulação ocasiona também o maior erro relativo entre as quedas de pressão analítica e numérica , sendo observados erros superiores a 10% para as velocidades de 9,5 m/s , 10 e 10,5 m/s.

Agradecimentos

Agradecemos ao suporte oferecido pelo Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos (LASSOP) , a ajuda oferecida por colegas na condução do projeto e à Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Referências Bibliográficas

BANDYOPADHYAY , T. K. e DAS , S.K. **Non – Newtonian and Gas Non – Newtonian Liquid Flow Through Elbows – CFD Analysis**. Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 6, No. 1, pp. 131-141, 2013

BRILL, J.P; MUKHERJEE,H. **Multiphase Flow in Wells**. Society of Petroleum Engineers, Richardson, Texas, 1999.

ÇENGEL , Y.A ; CIMBALA, J.M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. McGraw-Hill, 2008, 850p.

KIM, S.; KOJASOY, G.; GUO, T. **Two-phase minor loss in horizontal bubbly flow with elbows: 45° and 90° elbows**. Chemical Engineering Journal. Pennsylvania, p. 1-6. 21 ago. 2008.

LOCKHART, R. W; MARTINELLI, R.C. **Proposed Correlation of Data for Isothermal Two-Phase, Two Component Flow in Pipes**, Chemical Engineering Progress – Vol. 45, 1949.

MOODY, L. F. **Friction factors for pipe flow**. Transactions of the ASME – Vol .66, p. 671–684, 1944.

ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, J. A. D. **Engenharia de Reservatórios de Petróleo**. Editora Interciência, Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 2006.