

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



TÍTULO DO TRABALHO:

Escoamento Não Isotérmico de Água e Óleo em Conexão Tê na Presença de Vazamento

AUTORES:

Morgana de Vasconcellos Araújo¹, Helton Gomes Alves¹, Flávia Daylane Tavares de Luna¹, Severino Rodrigues de Farias Neto¹, Antonio Gilson Barbosa de Lima²

INSTITUIÇÃO:

¹Departamento de Engenharia Química, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, ²Departamento de Engenharia Mecânica, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 8º PDPETRO, realizado pela a 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 8ºPDPETRO.

ESCOAMENTO NÃO ISOTÉRMICO DE ÁGUA E ÓLEO EM CONEXÃO TÊ NA PRESENÇA DE VAZAMENTO

Abstract

Because the number of accidents involving pipelines in the oil industry, several researches have been seeking the improvement of leak detection technologies, making it necessary the knowledge of the behavior of the fluid inside the pipe. This work aims the thermal study of water-oil flow in a T-junction with leakage. The simulations were performed with the help of the software ANSYS CFX 12.1. The simulations of the flow of the water-oil mixture are non-isothermal and was used the standard κ - ϵ turbulence model. A T-junction with leakage contains two inputs and one output. Simulations of the two-phase flow of water (dispersed fluid) and oil (continuous fluid) were carried out varying the oil volumetric fraction and the temperature of the mixtures in the inlet sections. It was noted that an increase in volume fraction of oil in the mixture produced an increase in the superficial velocity gradient and a decrease in oil pressure upstream of the leak. The temperature have a big influence on the field of oil volumetric fraction.

Introdução

O transporte de óleo e derivados é realizado, em maioria, via dutos, por ser considerados o melhor meio de transporte de fluidos e gases a longas distâncias. Diversos estudos visam melhorar os níveis de segurança de tubulações, visto que muitos são os acidentes que envolvem o rompimento de tubulações, os quais resultam em grandes prejuízos ao meio ambiente e às indústrias. Partes desses acidentes ocorrem devido à presença de vazamento. Se um vazamento, assim como sua localização, é detectado rapidamente, há mais chances de se evitar ou amenizar desastres. Existe atualmente uma variedade de técnicas disponíveis para a detecção do vazamento, variando desde a simples inspeção física até os métodos acústicos, e diversos trabalhos têm sido realizados para aperfeiçoar tais técnicas. Porém, para que se faça a detecção, identificação e localização do vazamento é necessário conhecer o comportamento do(s) fluido(s) no interior do duto.

Aguiar (2010) relata que as técnicas de detecção de vazamento são classificadas em três categorias: observacionais, baseados em hardwares e baseados em softwares. O sistema de detecção baseado na observação é o mais simples e consiste basicamente na inspeção visual, que pode ser feita a partir de câmeras de segurança, inspeções aéreas ou câmeras infravermelho. Os métodos baseados em hardwares usam dispositivos eletrônicos para a detecção e localização direta de um vazamento e são classificados de acordo com o princípio de funcionamento desses dispositivos. Naqueles baseados em softwares, o computador é utilizado como ferramenta auxiliar na detecção de vazamento e trabalha em conjunto com os sensores visando detectar qualquer falha, possuindo, segundo Aguiar (2010), um custo maior, requerendo uma grande capacidade de processamento, tornando-se inviável a sua aplicação em oleodutos curtos.

Alguns autores vêm realizando simulações numéricas de vazamentos em dutos retilíneos, como Ben-Mansour *et al.* (2012), que estudaram o escoamento de água na presença de vazamento. Diversos trabalhos envolvendo o escoamento, em dutos retilíneos, da mistura bifásica água/óleo ou trifásica água/óleo/gás vêm sendo desenvolvidos, a exemplo dos trabalhos de Araújo *et al.* (2013) e Barbosa *et al.* (2012).

A proposta de pesquisa vem dar uma contribuição no estudo de vazamento em conexão tê e auxiliar na compreensão dos fenômenos envolvidos via técnica da fluidodinâmica computacional. O objetivo geral do trabalho é estudar a termofluidodinâmica do escoamento água-óleo em uma tubulação munida de conexão Tê na presença de vazamento. Para isto foi utilizado o pacote comercial ANSYS CFX

versão 12.1. Foi utilizada uma malha hexaédrica. O modelo de turbulência κ - ε padrão foi escolhido de acordo com o estudo de escoamento em conexões Tê feito por Naik-Nimbalkar *et al.* (2010).

Na presença de vazamento, variou-se a fração volumétrica de óleo e a temperatura da mistura água-óleo nas seções de entrada da ramificação principal e da secundária na conexão T, estudando suas perturbações sobre o comportamento da fração volumétrica de óleo, velocidade e pressão.

Metodologia

Definição da geometria – Na Figura 1 está representada a tubulação munida de uma conexão Tê conectada a tubos de diâmetro diferentes, sendo o ramal principal um tubo horizontal de diâmetro 0,05 m contendo um orifício de vazamento após a conexão, com 0,3 cm de diâmetro, cujo centro do orifício está na posição $x = 0,9$ m; $y = 0$ m e $z = -0,025$, na base do duto. As dimensões da tubulação são as mesmas que a usada por Naik-Nimbalkar *et al.* (2010).

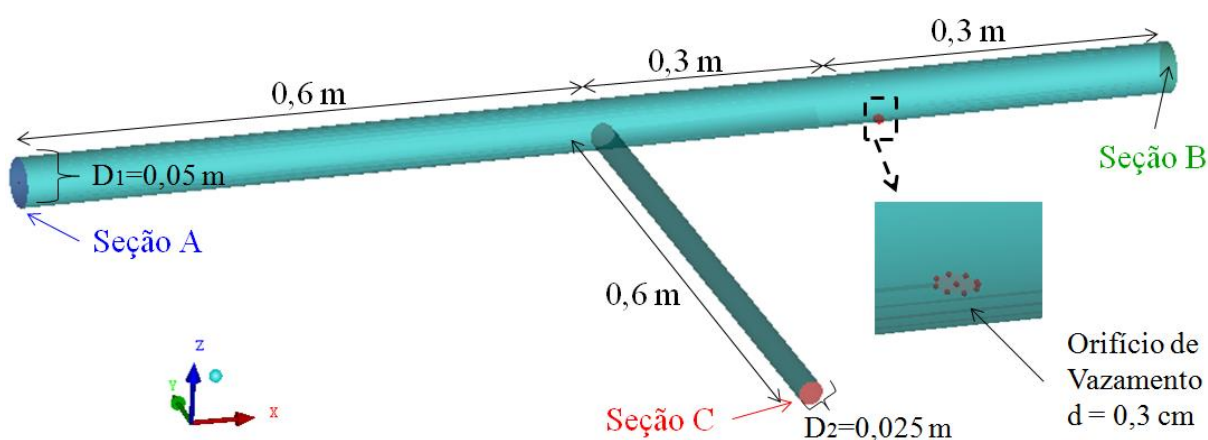


Figura 1: Geometria da conexão tê com orifícios de vazamentos no duto principal.

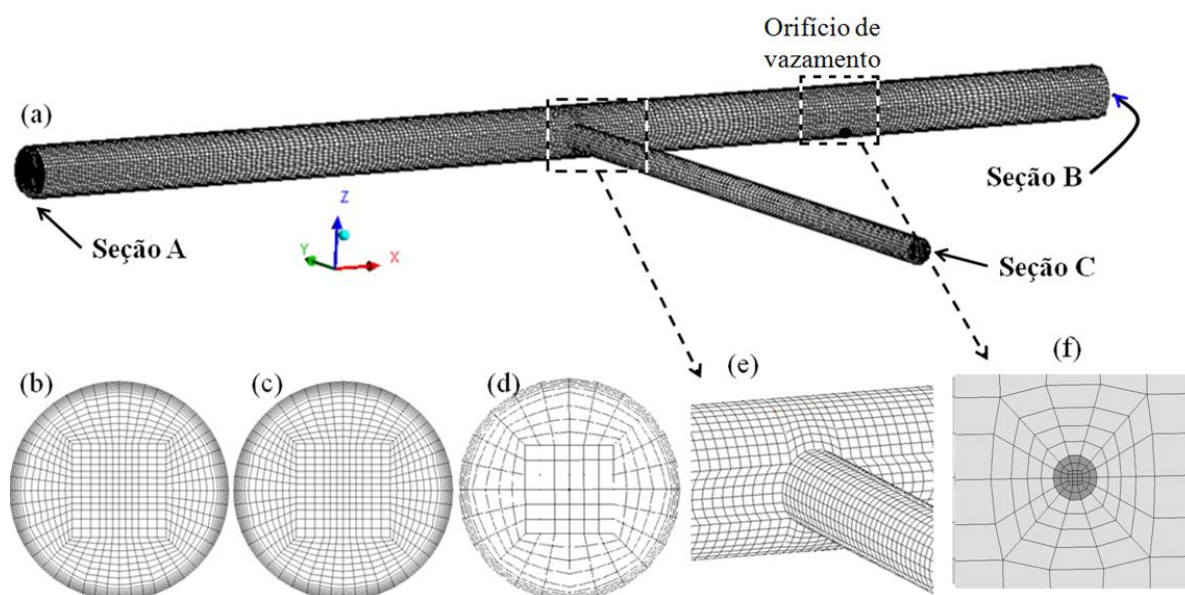


Figura 2: (a) Visualização da malha gerada no tubo e detalhes das (b) seção A, (c) seção B, (d) seção C, (e) ligação entre os dutos e (f) orifício de vazamento

A malha representativa do domínio de estudo, ilustrada na Figura 2, foi gerada usando o ICFM CFD da Ansys CFX, empregando a estratégia de blocagem, e construída com 309720 elementos

hexaédricos. Nas Figuras 2b, 2c, e 2d estão representados os detalhes das seções A, B e C, respectivamente, enquanto que nas Figuras 2e e 2f estão representadas, respectivamente, os detalhes da interseção dos ramos principal e secundário e do orifício de vazamento.

Equações governantes – Para os escoamentos transientes, as equações governantes são a da conservação de massa, a do momento linear e a da energia, dadas respectivamente pelas Equações 1, 2 e 3.

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_{\alpha}\rho_{\alpha}) + \nabla \cdot (f_{\alpha}\rho_{\alpha}\vec{U}_{\alpha}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_{\alpha}\rho_{\alpha}\vec{U}_{\alpha}) + \nabla \cdot [f_{\alpha}(\rho_{\alpha}\vec{U}_{\alpha} \otimes \vec{U}_{\alpha})] + f_{\alpha}\nabla p_{\alpha} - \nabla \cdot \left\{ f_{\alpha}\mu_{\alpha} \left[\nabla \vec{U}_{\alpha} + (\nabla \vec{U}_{\alpha})^T \right] \right\} - \vec{S}_{M\alpha} - \vec{M}_{\alpha} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_{\alpha}\rho_{\alpha}h_{\alpha}) + \nabla \cdot [f_{\alpha}(\rho_{\alpha}\vec{U}_{\alpha}h_{\alpha} - \lambda_{\alpha}\nabla T_{\alpha})] = 0 \quad (3)$$

onde f_{α} é a fração volumétrica da fase α na mistura, ρ_{α} é a massa específica da fase α , $\vec{U}_{\alpha}$ é o vetor velocidade da fase α , p_{α} é a pressão da fase α , μ_{α} é a viscosidade da fase α , $\vec{S}_M$ é o termo fonte, $\vec{M}_{\alpha}$ soma das forças interfaciais onde apenas as forças de arraste são consideradas, h_{α} é a entalpia da fase α , λ_{α} é a condutividade térmica da fase α .

Condições de contorno - O escoamento foi considerado turbulento, não isotérmico, sem reação química. Foi adotado o modelo de turbulência k- ϵ . Na saída do duto e na região de vazamento considerou-se pressão estática média igual à 101325 Pa. As paredes do duto são estáticas, lisas e não há deslizamento. Adotou-se o modelo de partícula Euleriano – Euleriano. A mistura bifásica água/óleo tem comportamento de fluido newtoniano. O óleo se comporta como fluido contínuo e a água como fluido disperso (diâmetro de 0,1 mm).

As propriedades do óleo e da água utilizadas são apresentadas na Tabela 1, exceto as viscosidades da água e do óleo, que variam com a temperatura como definidas pelas Equações 4, 5 e 6, reportadas por Cunha (2010).

Tabela 1: Propriedades dos fluidos

Propriedades	Óleo	Água
Densidade (kg/m³)	860*	997***
Viscosidade (Pa.s)	0,044*	0,0008899***
Calor específico (J/kg.K)	2092**	4181,7***
Condutividade térmica (W/m.K)	0,143*	0,6198***
Tensão interfacial (N.m)	0,031*	

Fonte: *Xu *et al.* (2010); **Cunha (2010); ***Manual CFX 12.1

$$\mu_{\text{agua}} = \frac{2,185}{(40,12 + 0,0051547T_F)T_F - 1000} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{oleo}} = 10^{-5} \exp \left\{ \exp [11,7613 - 2,099 \ln [T_F]] - 1,05 \right\} \quad (5)$$

$$T_F = 1,8T_K - 459,67 \quad (6)$$

sendo T_F a temperatura em graus Fahrenheit e T_K é a temperatura em Kelvin, dos fluidos, válidos no intervalo de 295 à 500 K.

As simulações são divididas em dois grupos. O primeiro corresponde aos casos de 1 a 6, sendo simulações permanentes e sem a presença de vazamento. O segundo grupo reúne as simulações 7 a 12, as quais são transientes e ocorrem na presença de vazamento. Em todas as simulações, a mistura bifásica escoar a uma velocidade de 5 m/s, sendo diferenciadas pelas frações volumétricas de óleo e pela temperatura em que entram na tubulação. As simulações numéricas realizadas estão descritas na Tabela 2.

Para as simulações permanentes, considere as Equações 4 a 6, desconsiderando os termos transientes.

Tabela 2: Simulações numéricas com variações da velocidade de injeção de óleo no duto e da quantidade e localização dos vazamentos.

Caso	Condição de contorno			Condição de vazamento
	Seção A	Seção B	Seção C	
1	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,99$; 25°C	101325 Pa	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,99$; 80°C	Sem vazamento
2	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,95$; 25°C	101325 Pa	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,95$; 80°C	Sem vazamento
3	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,90$; 25°C	101325 Pa	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,90$; 80°C	Sem vazamento
4	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,99$; 80°C	101325 Pa	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,99$; 25°C	Sem vazamento
5	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,95$; 80°C	101325 Pa	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,95$; 25°C	Sem vazamento
6	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,90$; 80°C	101325 Pa	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,90$; 25°C	Sem vazamento
7	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,99$; 25°C	101325 Pa	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,99$; 80°C	Com vazamento
8	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,95$; 25°C	101325 Pa	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,95$; 80°C	Com vazamento
9	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,90$; 25°C	101325 Pa	5 m/s; $f_{\text{óleo}}=0,90$; 80°C	Com vazamento

Resultados e Discussão

Efeito da fração volumétrica de óleo e da temperatura sobre os campos de fração volumétrica na ausência de vazamento – Para verificar o efeito da fração volumétrica de óleo nas entradas, bem como a variação das temperaturas nas entradas sobre os campos de fração volumétrica no plano longitudinal xy, foram construídas as Figuras 3 e 4, onde estão representadas as distribuições da fração volumétrica referentes aos casos 1 a 6 em regime permanente e sem vazamento.

A vazão no duto principal é a maior que a vazão no duto secundário, visto que as velocidades de entrada são iguais, porém com áreas de secção transversal distintas. A viscosidade da mistura na região da tubulação após a conexão é maior nas simulações onde a temperatura do fluido no duto principal é menor, visto que o aumento da viscosidade dificulta o processo de mistura.

Efeito da fração volumétrica de óleo e da temperatura sobre os campos de velocidade na ausência de vazamento – Tomando-se o caso 1 como referência, o campo de velocidade do óleo é apresentado na Figura 5. Observa-se, que o comportamento do fluido no duto principal ao encontrar o fluido do duto secundário se assemelha a um escoamento em torno de um objeto.

Os perfis de velocidade são tomados na posição L_1 (Figura 6) em função da posição adimensional y^* , que é dada pela Equação 7.

$$y^* = \frac{y}{R_m} \quad (7)$$

onde y é a posição radial e R_m é o raio do tubo do ramal principal.

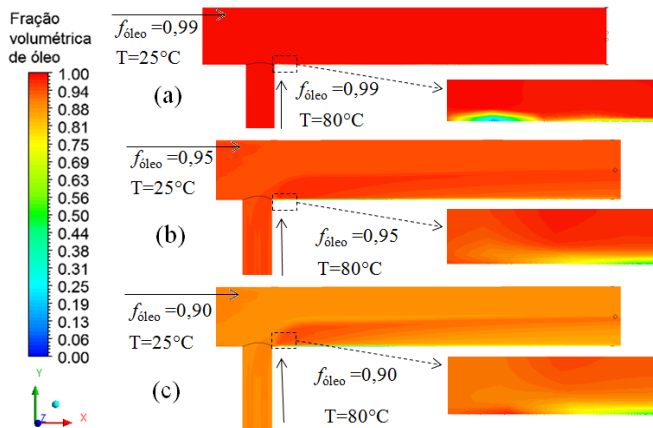


Figura 3: Campo de fração volumétrica de óleo sobre o plano longitudinal xy com a temperatura na Seção A 25°C e Seção C 80°C: (a) $f_{\text{óleo}} = 0,99$ (Caso 1); (b) $f_{\text{óleo}} = 0,95$ (Caso 2) e (c) $f_{\text{óleo}} = 0,90$ (Caso 3).

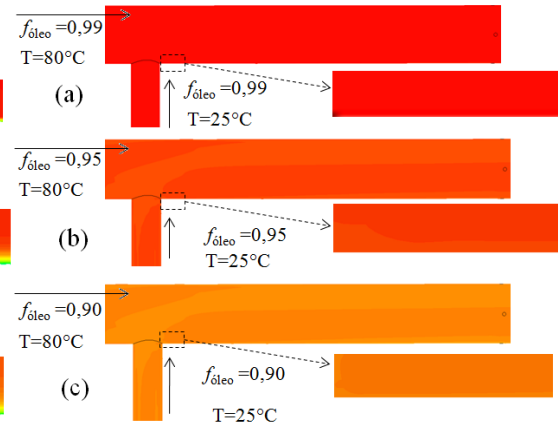


Figura 4: Campo de fração volumétrica de óleo sobre o plano longitudinal xy com a temperatura na Seção A 80°C e Seção C 25°C: (a) $f_{\text{óleo}} = 0,99$ (Caso 4); (b) $f_{\text{óleo}} = 0,95$ (Caso 5) e (c) $f_{\text{óleo}} = 0,90$ (Caso 6).

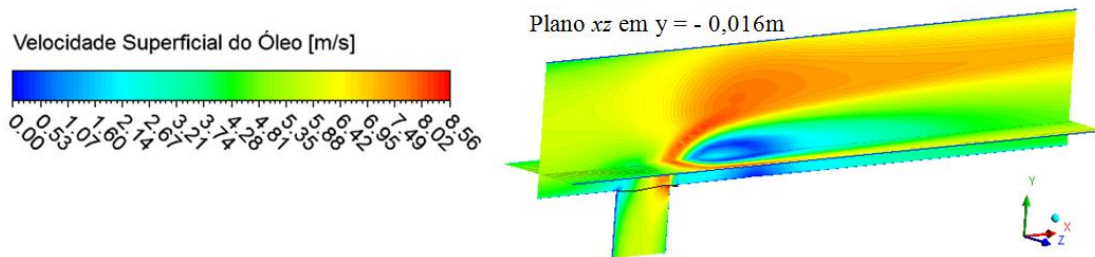
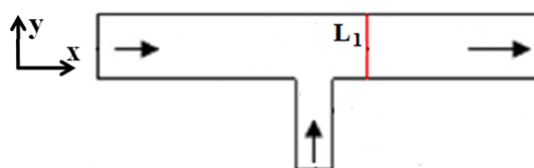


Figura 5: Campo de velocidade do óleo do Caso 1 sobre o plano xy e sobre o plano xz nas posições (a) $y = 0$ m e (b) $y = -0,016$ m.



L_1 (0,625 m; 0 m; 0 m)

Figura 6: Representação das posições das linhas na tubulação onde são tomados os valores de velocidade.

De acordo com a Figura 7, observa-se que os perfis de velocidade são praticamente idênticos na região próxima a parede inferior imediatamente após a bifurcação T ($y^* \leq -0,3$). Por outro lado, na parte superior observa-se que a fração volumétrica influencia no comportamento da velocidade do óleo. Nota-se que a inversão dos valores das temperaturas nas seções A e C modificam o comportamento dos perfis de velocidade, em especial, na parte superior do tubo ($y^* > -0,4$). Nota-se, nas vizinhanças da parede ($y^* > 0,8$), maiores variações de velocidade ou gradientes de velocidade, quando, na seção A, a temperatura do fluido é igual a 80°C. Este fato pode ser explicado pela redução das forças viscosas.

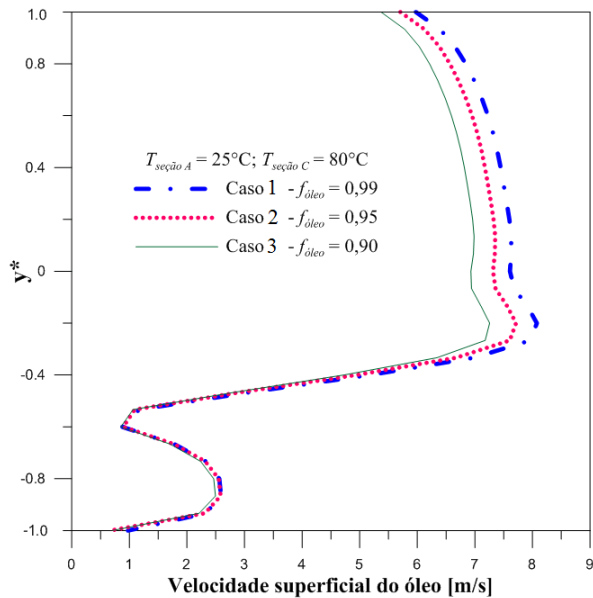


Figura 7: Velocidade superficial do óleo na linha L_1 para os Casos 1, 2 e 3.

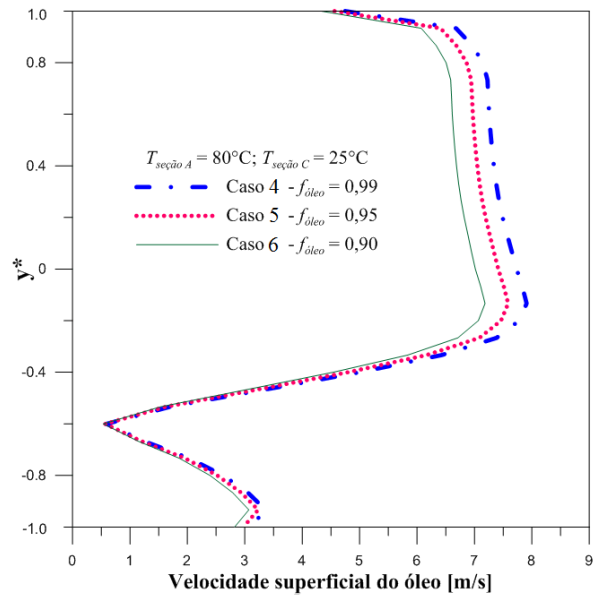


Figura 8: Velocidade superficial do óleo na linha L_1 para os Casos 4, 5 e 6.

Efeito da fração volumétrica de óleo sobre o escoamento na presença de vazamento – Para verificar a influência da fração volumétrica de óleo na mistura escoando na conexão tê sobre a evolução da pressão, medida a montante da bifurcação, com o tempo medido a partir do instante que ocorre o vazamento, foram tomados os casos 7 a 9. Os resultados plotados na Figura 9 exibem um pico decrescente da pressão no intervalo inicial de 0,0025 s indicando a perturbação causada pela presença do vazamento, para, em seguida, o escoamento atingir um novo regime permanente, após 0,005 s.

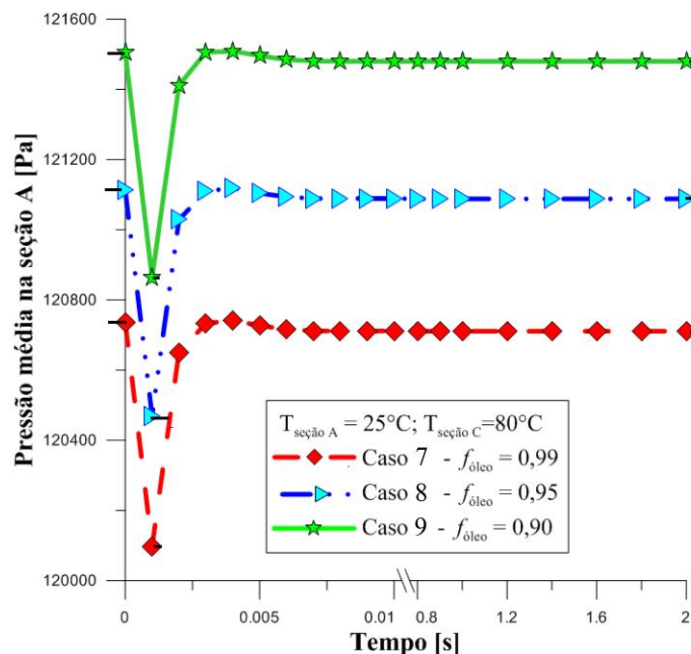


Figura 9: Variação da pressão média na entrada da Seção A em função do tempo para os Casos 15, 16 e 17.

Conclusões

Baseando-se nos resultados obtidos são descritas as seguintes conclusões:

- As simulações numéricas indicam que a mistura ao entrar pelo duto principal com temperatura maior que a do duto secundário apresenta uma distribuição da fração volumétrica de óleo homogênea nas situações avaliadas;
- O comportamento do fluido no ramal principal ao encontrar o fluxo do ramal secundário se assemelha a um escoamento em torno de um cilindro;
- O perfil de velocidade superficial do óleo foi influenciado pela variação da fração volumétrica de óleo;
- A existência de um vazamento no duto causa inicialmente uma queda de pressão que se estende ao longo da tubulação, seguida de uma elevação até atingir a estabilidade.
- Quanto menor a fração volumétrica de óleo no escoamento, maior a pressão a montante do vazamento;

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES, FINEP e CNPq.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, F. G. **Utilização de redes neurais artificiais para detecção de padrões de vazamentos em dutos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

ARAÚJO, M. de V., FARIAS NETO, S. R. e de LIMA, A. G. B. **Theoretical Evaluation of Two-Phase Flow in a Horizontal Duct with Leaks**. Advances in Chemical Engineering and Science, v. 3, p. 6-14, 2013.
<http://dx.doi.org/10.4236/aces.2013.34A1002>

BARBOSA, L. M.; LIMA, A. G. B. e FARIAS NETO, S. R. **Non-isothermal transient three-phase flow (heavy oil, water and gas) in vertical pipeline: the effect of leakage**. International Journal of Modeling and Simulation for Petroleum Industry, v. 6, n.2, p. 23-31, 2012.

BEN-MANSOUR, R.; HABIB, M.; KHALIFA, A.; YUCEF-TOUMI, K. e CHATZIGEORGIOU, D. **Computational fluid dynamic simulation of small leaks in water pipelines**. Computers & Fluids, v. 57, p. 110-123, 2012.

CUNHA, A. L. **Recuperação avançada não-isotérmica de óleos pesados em reservatórios de petróleo via simulação numérica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

NAIK-NIMBALKAR, V. S.; PATWARDHAN, A.; BANERJEE, I.; PADMAKUMAR, G. e VAIDYANATHAN, G. **Thermal mixing in T-junctions**. Chemical Engineering Science, v. 65, n. 22, p. 5901-5911, 2010.

XU, J.; LI, D.; GUO, J E WU, X. **Investigations of phase inversion and frictional pressure gradients in upward and downward oil-water flow in vertical pipes**. International Journal of Multiphase Flow, v. 36, n. 11-12, p. 930-939, 2010.