



## RISCO DE FRATURAS EM TUBULAÇÕES PETROLÍFERAS, UMA ANÁLISE COM SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL USANDO CFX

Paula Rayane Lopes de Andrade<sup>1</sup>; Gracimário Bezerra da Silva<sup>2</sup>; Bianca Thamires Alexandre Silva<sup>3</sup>; Antônio Gilson Barbosa de Lima<sup>4</sup>; José Jefferson da Silva Nascimento<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Mecânica – [paularayanne15@hotmail.com](mailto:paularayanne15@hotmail.com).

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – [gracimario.sjpb@hotmail.com](mailto:gracimario.sjpb@hotmail.com).

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – [biancathamires1@gmail.com](mailto:biancathamires1@gmail.com).

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – [gilson@dem.ufcg.edu.br](mailto:gilson@dem.ufcg.edu.br)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – [jefferson@dema.ufcg.edu.br](mailto:jefferson@dema.ufcg.edu.br)

### RESUMO

O processo de escoamento de sistemas petrolíferos está amplamente associado à presença de bifurcações tipo “T”. Assim este estudo possui importância fundamental e interesse devido ao risco de danos estruturais provocados por flutuações de temperatura, de pressão e velocidade situadas no encontro da formação da geometria citada. Para se analisar e discutir os gradientes das grandezas associadas ao processo em epígrafe acima, é necessário se estabelecer condições de contorno adequadas. Desta maneira, foram realizadas simulações computacionais com uma malha de 18,785 elementos e 24,892 pontos, de forma a se obter independência com os resultados. Os resultados indicam flutuações de velocidade entre 3,77 e 3,88 m/s e de pressão entre 0,02 e 0,01 MPa, e com oscilações de temperatura entre 46 e 91,7 °C. Variações significativas das grandezas citadas podem induzir um nível de tensões que excedam o limite de escoamento do material, ocorrendo neste caso, deformação plástica permanente, e se estes valores ultrapassarem o limite de resistência ocorrerá a fratura na estrutura. Perfis de velocidade, pressão e distribuição de temperatura são analisados e discutidos.

**Palavras-chave:** Simulação; Fratura; Escoamento; Gradientes.

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo apresenta uma série de riscos relacionados tanto aos produtos químicos oriundos da mesma quanto aos equipamentos e estruturas pertencentes ao parque industrial petrolífero.

Estruturas, tubulações, equipamentos, válvulas, entre outros componentes de relevância na composição estrutural da cadeia

exploratória, produtiva e explotatória do petróleo exigem precauções a fim de evitar graves problemas e posteriores acidentes durante as atividades industriais.

Estudos vêm sendo realizados sob vários aspectos com a finalidade de reduzir os riscos de danos estruturais em bifurcações tipo “T”, AYHAN et al [2012].

Uma das alternativas mais eficientes e inovadoras é o estudo com o auxílio de simulações computacionais de



riscos de dano estrutural em bifurcações presentes tanto em plataformas de petróleo como no transporte deste recurso natural.

A geometria em estudo é largamente utilizada em campos produtores de óleo terrestres e marinhos, nos sistemas de injeção de vapor, nas plantas de processo e separação das plataformas, e nas refinarias. Para que se evite a perda de tempo e dinheiro, é possível utilizar técnicas computacionais para prever os riscos de paradas de produção devido a vazamentos durante o escoamento de fluido, provocado por possíveis trincas e fraturas, Fontes et al.[2005].

Neste trabalho será estudado o comportamento de óleo analisando diversos parâmetros de simulação por meio de um software de fluidodinâmica computacional. Serão analisados campos de pressão, velocidade e temperatura em pontos nos quais há concentração de energia consideravelmente alta, apresentando maiores riscos de dano estrutural.

Estudos relacionados a análise de escoamento com transferência de calor e massa em conexões tipo “T” são largamente analisados e discutidos, Gritskевич et al.[2014], Selvam et al. [2015], Ayhan et al. [2012].

Evidenciando a importância da base teórica da dinâmica dos fluidos computacional.

As conexões do tipo “T” foram o foco do estudo para este trabalho, Petry [2012].

## 2. METODOLOGIA

As equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia podem ser escritas de forma geral de acordo com Maliska [2004], Petry [2012], Mariano [2008]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (...W) + \frac{\partial}{\partial x} (...uW) + \frac{\partial}{\partial y} (...vW) + \frac{\partial}{\partial z} (...wW) =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} (\Gamma^w \frac{\partial W}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\Gamma^w \frac{\partial W}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\Gamma^w \frac{\partial W}{\partial z}) + s^w ..[1]$$

A equação [1] representa a equação de conservação da massa, quando  $S^w$  for igual a zero e  $W = 1$ . As equações do movimento nas três direções coordenadas são obtidas fazendo-se  $W$  igual a  $u$ ,  $v$  e  $w$  com o apropriado termo fonte, que neste caso, inclui o gradiente de pressão. A equação da energia é obtida fazendo-se  $W = T$ , também com o termo fonte apropriado.  $\Gamma^w$  representa o produto da difusividade pela massa específica da propriedade transportada em consideração.

Assim,  $\Gamma^w = \mu$  e para a equação da energia  $\Gamma^w = k/c_p$ , quando o escoamento é laminar, e é igual a  $\mu_{\text{efetivo}}$  e  $(k/c_p)_{\text{efetivo}}$ , quando o escoamento for turbulento, Maliska [2004].

A modelagem da turbulência é realizada por equações que descrevem os termos adicionais gerados na aplicação das equações médias de Navier-Stokes. Os termos adicionais, Tensores de Reynolds, foram modelados por duas equações. Os modelos diferenciais de duas equações são amplamente utilizados em aplicações industriais e utilizam duas equações de transporte para a modelagem da turbulência. O modelo de turbulência utilizado foi de duas equações,  $k$  –epsilon, embora este modelo seja generalista, é adequado para a maior parte dos equipamentos industriais. O modelo  $k$  –epsilon, correlaciona os termos de flutuação de velocidade com duas equações de transporte, uma de energia cinética turbulenta e uma de taxa de dissipação turbulenta, Maliska [2004].

Para realizar as simulações foi utilizado o software Ansys-CFX. O mesmo é dotado de ferramentas de geração de malha (pré-processamento), solução das equações de conservação discretizadas



(solver) e pós-processamento, onde podem ser calculadas linhas de corrente, perfis e animações, Ansys [2009].

## 2.1 Descrição do Problema Físico

O problema físico em estudo está relacionado com uma mistura de fluidos em temperaturas diferentes em duas entradas numa tubulação do tipo “T”, de modo que possa ser avaliado os gradientes de velocidade, pressão e temperatura, sendo as entradas em cor laranja e vermelho.

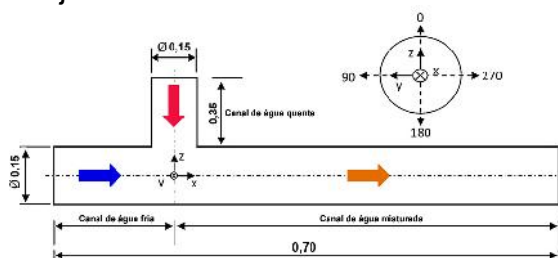


Figura 1: Desenho esquemático do problema físico.

## 2.2 Geração da Malha Numérica

A Figura 2 ilustra a malha não estruturada e conexão estudada, sendo refinada até a obtenção adequada de uma malha com 18785 elementos e 24892 pontos.

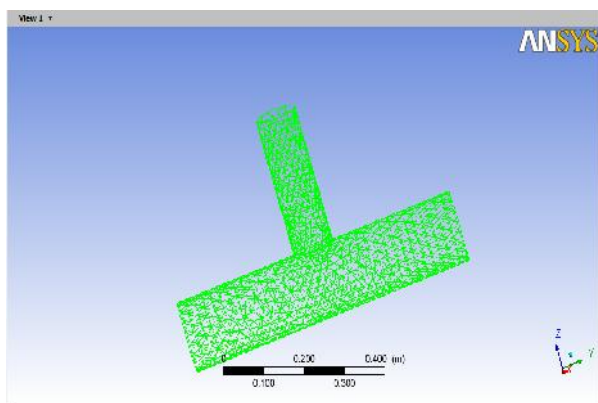


Figura 2: Visão frontal da malha.

## 2.3 Condições Iniciais e de Contorno

Assim, as condições de contorno, no primeiro estudo de caso, no *inlety* (entrada y) foi uma temperatura de 10°C e

no *inletz* (entrada z) a 90°C. No segundo estudo de caso no *inlety* a 30°C e no *inletz* a 150°C. No terceiro estudo de caso teve as temperaturas de 1°C no *inlety* e 90°C no *inletz*.

No estudo final, temos o quarto e último estudo de caso onde as temperaturas de 2°C no *inlety* e 63°C no *inletz*.

Para as velocidades tem-se uma entrada no *inlety* (com velocidade de 3,0 m/s) e no *inletz* (com velocidade de 5,0 m/s), as pressões em todos os casos foram: 1 atm para os inlets e 0 atm para o outlets.

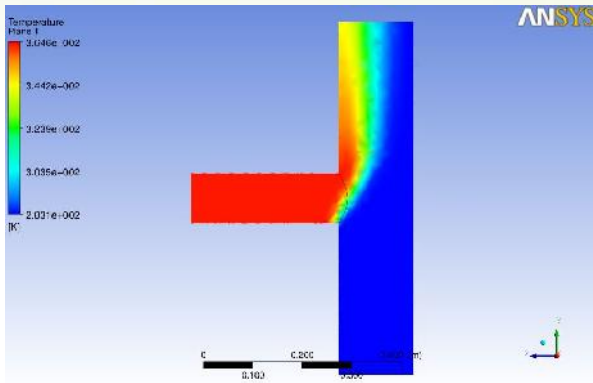
## 2.4 Propriedades dos Fluidos e Parâmetros de Simulação

Os dados do material estudados foram os seguintes: Petróleo com densidade de 951 Kg/m<sup>3</sup> e viscosidade dinâmica de 0,5 N.s/m<sup>2</sup>. No caso do solver, usamos um critério de convergência de 10<sup>-8</sup>.

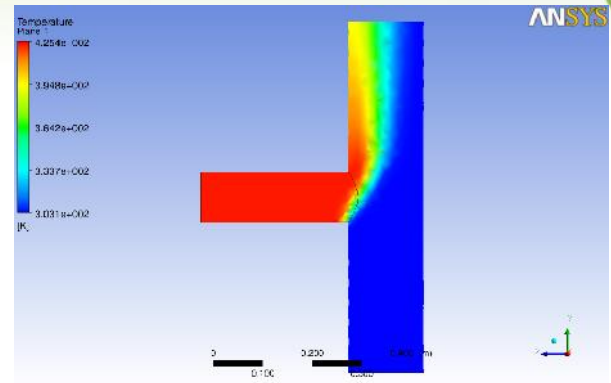
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo de caso 1:

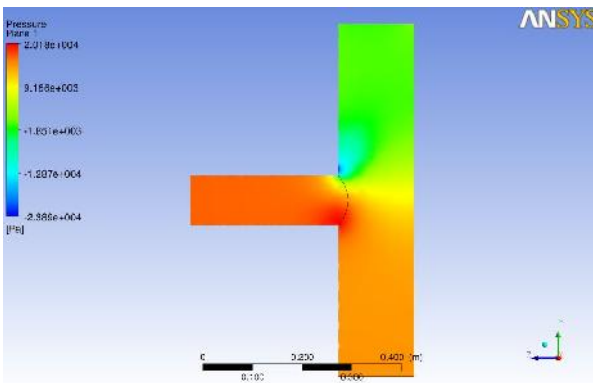
Na Figura 3 a seguir pode se observar a representação do primeiro estudo de caso realizado, com petróleo a 10 e 90°C. Sendo mostrados os perfis de temperatura, velocidade e pressão.



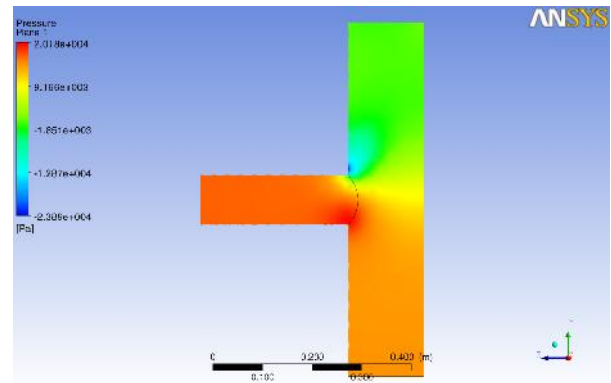
(a)



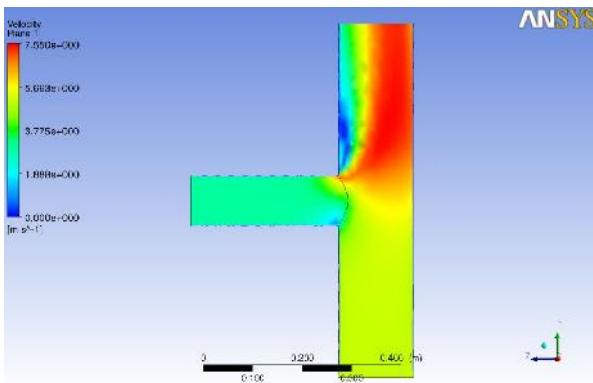
(a)



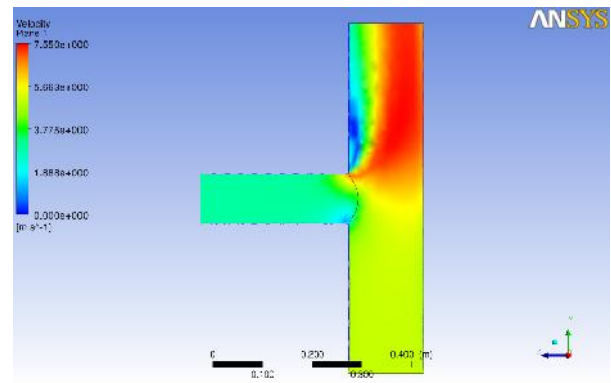
(b)



(b)



(c)



(c)

Figura 3: Estudo de caso 1 (plano zy) com distribuição da a) temperatura, b) pressão e c) velocidade do petróleo.

Figura 4: Estudo de caso 2 (plano zy) com distribuição da a) temperatura, b) pressão e c) velocidade do petróleo.

Estudo de caso 2:

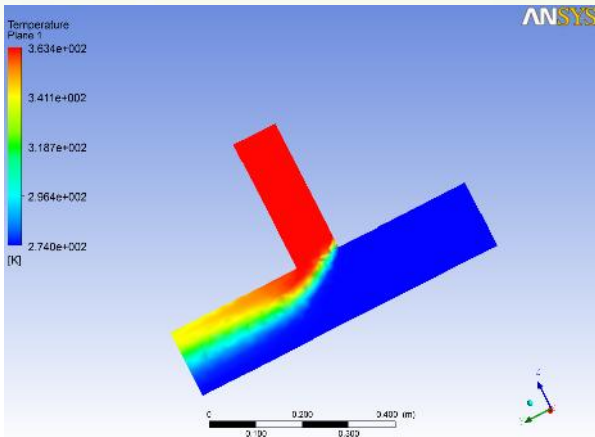
A Figura 4 ilustra o estudo de caso 2 com petróleo a 30 e 150°C. Perfis de temperatura, pressão e velocidade são ilustrados na mesma.

Estudo de caso 3:

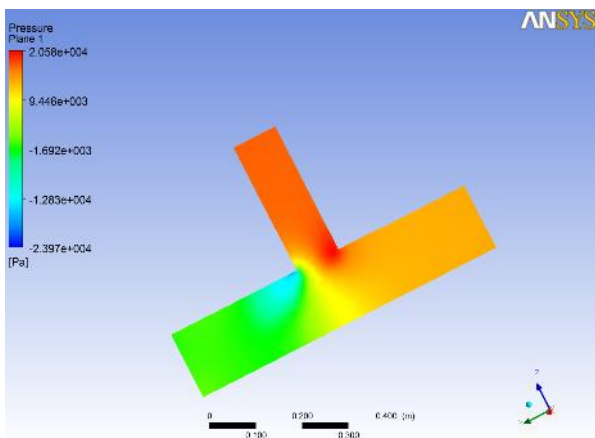
A Figura 5 ilustra o estudo de caso 3 com petróleo a 1 e 90°C. Perfis de temperatura, pressão e velocidade são ilustrados na mesma.



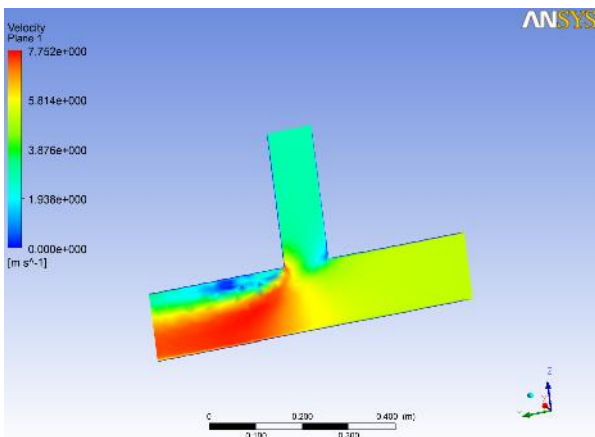
temperatura, pressão e velocidade são  
ilustrados na mesma.



(a)



(b)

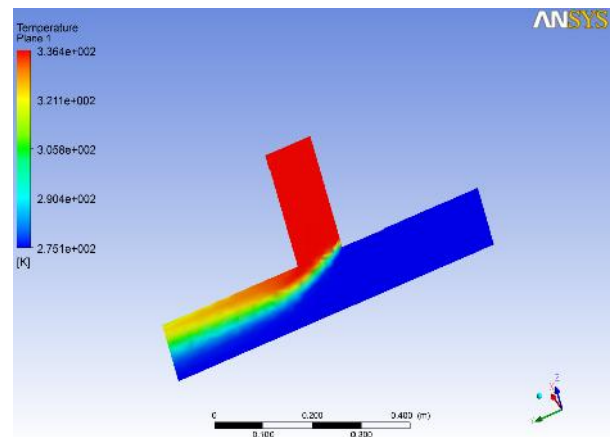


(c)

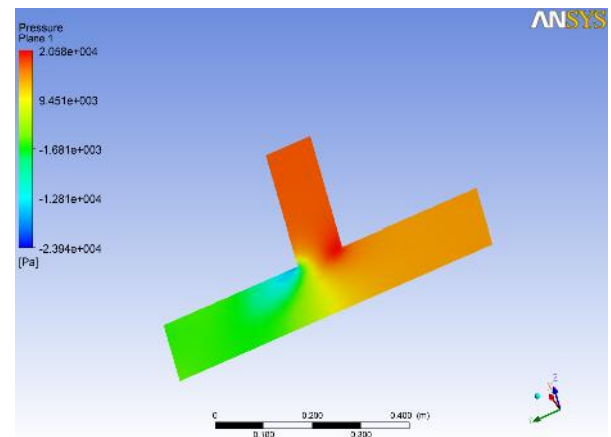
Figura 5: Estudo de caso 3 (plano yz) com distribuição da a) temperatura, b) pressão e c) velocidade do petróleo.

Estudo de caso 4:

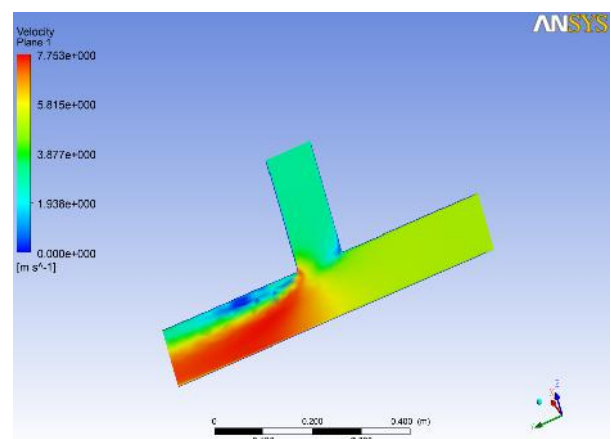
A Figura 6 ilustra o estudo de caso 4 com petróleo a 2 e 63°C. Perfis de



(a)



(b)



(c)

Figura 6: Estudo de caso 4 (plano yz) com distribuição da a) temperatura, b) pressão e c) velocidade do petróleo.



Em todos aos casos estudados, as concentrações de energia se encontram na ligação dos tubos, onde se forma a conexão “T”, assim têm-se os maiores gradientes das grandezas estudadas nestas regiões, que são mais susceptíveis a fraturas ou trincas.

Quando as flutuações das grandezas citadas induzirem a tensões internas que ultrapassem o limite de escoamento do material dos tubos, teremos deformação plástica, e se estas ultrapassarem o limite de resistência, então acontecerá um dano estrutural de fratura na tubulação. Assim, evidenciam-se resultados que associado a análise estrutural, possam evitar na prática, parada de produção com vazamento de petróleo e danos mais significativos.

#### 4. CONCLUSÕES

Os estudos de casos realizados evidenciam gradientes significativos das grandezas estudadas (velocidade, temperatura e pressão) no encontro dos dutos que formam a conexão “T”, assim danos estruturais poderão surgir quando o limite de escoamento e/ou de resistência for ultrapassado. O processo de simulação dos estudos de casos mostrou-se eficiente.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSYS, I., **Fluent 12 Users Guide**, April 2009.

AYHAN, H., SOKMEN, C. N., CFD modeling of thermal mixing in a T-junction geometry using LES model. **Nuclear Engineering and Design**, 253 (2012) 183– 191, 2012.

CFX 14.0, **Solver Theory Guide**, Ansys Inc., Berkeley.

FONTES, C.E., SILVA, L.F.L.R., LAGE, P.L.C., RODRIGUES, R.C., **Introdução a Fluidodinâmica Computacional**. Escola Piloto Virtual, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FRANK, T., LIFANTE, C., PRASSER, H.M., MENTER, F., **Simulation of turbulent and thermal mixing in T-junctions using URANS and scale-resolving turbulence model in ANSYS CFX**. Nucl. Eng. Des. 240, 2313–2328, 2010.

GRITSKEVICH, M. S., GARBARUKA, A. V., FRANK, Th., MENTER, F.R., **Investigation of the thermal mixing in a T-junction flow with different SRS approaches**. 2014.

MALISKA, C. R., **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. LTC Editora. 2004.

MARIANO, G. C. **Estudo do Escoamento Imiscível Água/Óleo Mediante Experimentação em Célula de Hele-Shaw e Simulação CFD**. 102p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008.

PETRY, F. **Avaliação de Ambiente Condicionado por Cálculo de Balanço Térmico e Simulação CFD**. 51p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2012.

SELVAM, P. K., KULENOVIC R., LAURIEN, E., **Large eddy simulation on thermal mixing of fluids in a T-junction with conjugate heat transfer**. 2015.