

# Impactos das Tecnologias nas Engenharias 5

**Franciele Bonatto  
João Dallamuta  
Rennan Otavio Kanashiro  
(Organizadores)**

**Franciele Bonatto**  
**João Dallamuta**  
**Rennan Otavio Kanashiro**  
(Organizadores)

# **Impactos das Tecnologias nas Engenharias**

## **5**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias nas engenharias 5 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Bonatto, João Dallamuta, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 5)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-195-4  
DOI 10.22533/at.ed.954191503

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia.  
I. Bonatto, Franciele. II. Dallamuta, João. III. Kanashiro, Rennan Otavio.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Caro leitor(a)

A engenharia, em um aspecto etimológico é derivada do latim ingenium , cujo significado é "inteligência" e ingeniare , que significa "inventar, conceber". A inteligência de conceber define o engenheiro.

Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia. Mostrar parte desta ligação é o principal propósito desta obra.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos, ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. São apresentados vários trabalhos de cunho tecnológico associados a temas como Biodiesel, Offshore, técnicas e ensaios associados a manutenção e segurança, processos químicos, entre outras temáticas. Todos com resultados e discussões enriquecedoras.

Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Editora Atena. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar com suas carreiras e gerar uma reflexão mais aprofundada sobre a relação entre a tecnologia e a engenharia.

Boa leitura!

Franciele Bonatto  
João Dallamuta  
Rennan Otavio Kanashiro

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PRODUÇÃO DE BIODIESEL ATRAVÉS DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO COM ÓLEO RESIDUAL E CATALISADOR DO TIPO ZS/MCM-41	
<i>Heloísa do Nascimento Souza</i>	
<i>Mateus Andrade Santos da Silva</i>	
<i>Carlos Eduardo Pereira</i>	
<i>José Jailson Nicacio Alves</i>	
<i>Bianca Viana de Sousa Barbosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DE ADULTERANTES NO DIESEL S10 COM ÓLEOS VEGETAIS	
<i>Anne Beatriz Figueira Câmara</i>	
<i>Fernanda Maria de Oliveira</i>	
<i>Heloise Oliveira Medeiros de Araújo Moura</i>	
<i>Leila Maria Aguilera Campos</i>	
<i>Clenildo de Longe</i>	
<i>Luciene da Silva Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
BENTONITA CÁLCICA TRATADA QUIMICAMENTE VIA ACIDIFICAÇÃO E IMPREGNADA COM ÓXIDO METÁLICO COMO CATALISADOR NA OBTENÇÃO DE BIODIESEL	
<i>Renan Pires de Araújo</i>	
<i>Yasmin Maria da Silva Menezes</i>	
<i>Erivaldo Genuino Lima</i>	
<i>Adriana Almeida Cutrim</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>32</b>
REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS DA ÁGUA PRODUZIDA UTILIZANDO MICROEMULSÃO COM TENSOATIVO VEGETAL	
<i>Jôsy Suyane de Brito Souza</i>	
<i>Luiz Mário Nelson de Góis</i>	
<i>José Roberto de Souza</i>	
<i>George Simonelli</i>	
<i>Luiz Carlos Lobato dos Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>45</b>
REUTILIZAÇÃO DO CATALISADOR DO TIPO MOO <sub>3</sub> /MCM-41 NA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA	
<i>Heloísa do Nascimento Souza</i>	
<i>André Miranda da Silva</i>	
<i>José Jailson Nicacio Alves</i>	
<i>Bianca Viana de Sousa Barbosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9541915035</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 53**

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO DIESEL APÓS ADIÇÃO DO BIODIESEL EM DIFERENTES PROPORÇÕES

*Lorena Silva Querino da Costa*  
*Tatyane Medeiros Gomes da Silva*  
*Rafael Viana Sales*  
*Anne Beatriz Figueira Câmara*  
*Leila Maria Aguilera Campos*  
*Luciene Santos de Carvalho*

**DOI 10.22533/at.ed.9541915036**

**CAPÍTULO 7 ..... 61**

DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DO MATERIAL LIPÍDICO PRESENTE NO CHORUME: UM POSSÍVEL CAMINHO PARA PRODUÇÃO DE BODIESEL

*Tamara Miranda de Moura*  
*Miguel Martins dos Santos Neto*  
*Daniele da Silva Oliveira*  
*Rafael Oliveira Batista*  
*Anne Gabriella Dias Santos*  
*Luiz di Souza*

**DOI 10.22533/at.ed.9541915037**

**CAPÍTULO 8 ..... 78**

AVALIAÇÃO DO COMPLEXO OXALATO MISTO DE NIÓBIO E TÂNTALO COMO CATALISADOR NA PRODUÇÃO DE BODIESEL VIA ESTERIFICAÇÃO METÍLICA

*Tiago Fernandes de Oliveira*  
*Maria Veronilda Macedo Souto*  
*Angelinne Costa Alexandrino*  
*Carlson Pereira de Souza*  
*Rayane Ricardo da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.9541915038**

**CAPÍTULO 9 ..... 87**

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ZNMCM-41 E NIMCM-41 APLICADOS NA DESSULFURIZAÇÃO ADSORTIVA DO DIESEL CÔMBUSTÍVEL

*Rafael Viana Sales*  
*José Alberto Batista da Silva*  
*Tatiana de Campos Bicudo*  
*Maritza Montoya Urbina*  
*Leila Maria Aguilera Campos*  
*Luciene da Silva Santos*

**DOI 10.22533/at.ed.9541915039**

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

INFLUÊNCIA DO FRACIONAMENTO DE PETRÓLEO POR SISTEMA PRESSURIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DE ÁCIDOS NAFTÊNICOS POR GC/MS E GC×GC/TOF-MS

*Juciara dos Santos Nascimento*  
*Roberta Menezes Santos*  
*Flaviana Cardoso Damasceno*  
*Silvia Maria Silvia Egues*  
*Elton Franceschi*  
*Lisiane dos Santos Freitas*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150310**

**CAPÍTULO 11 ..... 112**

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE ENXOFRE TOTAL EM PETRÓLEO PESADO POR CROMATOGRAFIA DE ÍONS

*Álvaro Gustavo Paulo Galvão*  
*Jildimara de Jesus Santana*  
*Izabel Kaline da Silva Oliveira*  
*Emily Cintia Tossi de Araújo Costa*  
*Djalma Ribeiro da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150311**

**CAPÍTULO 12 ..... 121**

OTIMIZAÇÃO DO MÉTODO DE SEPARAÇÃO SARA E USO DE CORRELAÇÕES MATEMÁTICAS NA AVALIAÇÃO COMPOSICIONAL DE ÓLEOS CRUS

*Keverson Gomes de Oliveira*  
*Heloise Oliveira Medeiros de Araújo Moura*  
*José Alberto Batista da Silva*  
*Valdic Luiz da Silva*  
*Ramoni Renan Silva de Lima*  
*Luciene da Silva Santos*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150312**

**CAPÍTULO 13 ..... 131**

TÉCNICA DE INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA PARA O MONITORAMENTO DO MECANISMO DE DANO EM DUTOS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO

*David Domingos Soares da Silva*  
*Genilton da França Barros Filho*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150313**

**CAPÍTULO 14 ..... 138**

USO DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO BASEADO EM PARÂMETROS MAGNÉTICOS COMO TÉCNICAS AVANÇADAS DE MANUTENÇÃO PARA O MONITORAMENTO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE EQUIPAMENTOS OFFSHORE

*David Domingos Soares da Silva*  
*Genilton da França Barros Filho*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150314**

**CAPÍTULO 15 ..... 144**

SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA (CFD) DE VAZAMENTO DE GASES INFLAMÁVEIS EM PLATAFORMAS OFFSHORE

*Davith da Silva Campos*  
*Anaximandro Anderson Pereira Melo de Souza*  
*Paulo Emanuel Medeiros Paula*  
*Lígia Maria dos Santos Barros Rodrigues*  
*Luís Jorge Mesquita de Jesus*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150315**

**CAPÍTULO 16 ..... 153**

CONCEPTUAL DEVELOPMENT OF AN UNDERGROUND EXCAVATION TECHNIQUE

*Lidiani Cristina Pierri*  
*Rafael Pacheco dos Santos*  
*Jair José dos Passos Junior*  
*Anderson Moacir Pains*  
*Marcos Aurélio Marques Noronha*

**DOI 10.22533/at.ed.95419150316**

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>164</b>
ANÁLISE DE UM TESTE DE FORMAÇÃO A POÇO REVESTIDO DA BACIA POTIGUAR	
<i>Marcio Murinelly Josino Filho</i>	
<i>João Luiz Porfirio da Silva</i>	
<i>Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado</i>	
<i>Jardel Dantas da Cunha</i>	
<i>Antônio Robson Gurgel</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95419150317</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>172</b>
REMOÇÃO DE ÓLEOS E TURBIDEZ DA ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO UTILIZANDO POLIELETROLITOS COMERCIAIS	
<i>Valécia Dantas de Souza</i>	
<i>João Luiz Porfirio da Silva</i>	
<i>Márcio Murinelly Josino Filho</i>	
<i>Andrea Francisca Fernandes Barbosa</i>	
<i>Rafael Oliveira Batista</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95419150318</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>180</b>
OBTENÇÃO DE ALUMINATO DE ZINCO ATRAVÉS DO MÉTODO HIDROTÉRMICO ASSISTIDO POR MICRO-ONDAS E APLICAÇÃO COMO CATALISADOR NA OBTENÇÃO DO BIODIESEL	
<i>Erivane Oliveira da Silva</i>	
<i>Guilherme Leocárdio Lucena</i>	
<i>Max Rocha Quirino</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95419150319</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>191</b>
ESTUDO DA LUMINOSIDADE EM SOLUÇÃO DE NITRATO DE PRATA PARA DETERMINAÇÃO DE SULFETO EM ÁGUA POR POTENCIOMETRIA	
<i>Larissa Sobral Hilário</i>	
<i>Letícia Gracyelle Alexandre Costa</i>	
<i>Ana Gabriela Soares da Silva</i>	
<i>Henrique Borges de Moraes Juviano</i>	
<i>Djalma Ribeiro da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.95419150320</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>199</b>

## SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA (CFD) DE VAZAMENTO DE GASES INFLAMÁVEIS EM PLATAFORMAS OFFSHORE

### **Davith da Silva Campos**

Universidade CEUMA, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo, São Luís - MA

### **Anaximandro Anderson Pereira Melo de Souza**

Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-graduação em Engenharia da Computação e Sistemas, São Luís - MA

### **Paulo Emanuel Medeiros Paula**

Universidade CEUMA, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo, São Luís - MA

### **Lígia Maria dos Santos Barros Rodrigues**

Universidade CEUMA, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo, São Luís - MA

### **Luís Jorge Mesquita de Jesus**

Universidade CEUMA, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo, São Luís - MA

**RESUMO:** A ampliação nas operações de produção offshore se faz presente em decorrência da crescente demanda de energia. Em atividades de exploração em estruturas offshore há riscos de vazamentos de gases inflamáveis, que em contato com o ar podem sofrer ignição, causando acidentes com explosões que podem ocasionar danos às instalações, aos trabalhadores e ambientais gravíssimos. Mesmo com todo o aparato de segurança envolvido nesse setor, vazamentos de gases ocorrem em pequenas, médias e grandes proporções. Assim, uma correta estimativa do

volume, direção do gás disperso e do local onde ocorre o vazamento é de fundamental importância para se definir ações de remediação. Com esta motivação, este trabalho propõe um estudo através do software ANSYS Fluent de vazamentos de gases inflamáveis em sistemas e equipamentos de uma estrutura offshore de exploração e produção de petróleo. Através da constatação dos principais pontos de ocorrência de vazamentos fez-se uma simulação com o intuito de avaliar o comportamento do volume de gases inflamáveis dispersos no ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** operações offshore, vazamento de gases, ANSYS FLUENT.

**ABSTRACT:** The increase in offshore production operations is present due to the growing demand for energy. In exploration activities in offshore structures there are risks of flammable gas leaks, which in contact with the air may be ignited, causing accidents with explosions that can cause serious damage to the installations, workers and the environment. Even with all the security apparatus involved in this sector, gas leaks occur in small, medium and large proportions. Thus, a correct estimation of the volume, direction of the dispersed gas and the place where the leak occurs is of fundamental importance to define remediation actions. With this motivation, this work proposes a study through the ANSYS Fluent software

of flammable gas leaks in systems and equipment of an offshore oil exploration and production structure. By means of the verification of the main points of occurrence of leaks, a simulation was done in order to evaluate the behavior of the volume of flammable gases dispersed in the environment.

**KEYWORDS:** offshore operations, gas leakage, ANSYS FLUENT.

## 1 | INTRODUÇÃO

O petróleo é um recurso energético fóssil extremamente importante para o desenvolvimento econômico mundial, através dele podem ser extraídos diversos derivados na forma de combustíveis ou de matéria prima para a indústria petroquímica.

Plataformas para extração de petróleo e gás são largamente utilizadas no Brasil e no mundo. A maioria da produção de óleo e gás brasileiras provém de reservas marítimas, situadas em águas profundas (entre 400 e 1000 metros) e ultra profundas (a partir de 1000 metros) [FLECK, 2008]. Segundo Thomas et al. [2004], essas unidades se dividem basicamente nos seguintes tipos de sistemas: plataformas fixas, auto eleváveis, submersíveis, *tension legs*, semissubmersíveis e os navios adaptados, como navios-sonda e plataformas do tipo FPSO (*Floating, Production, Storage and Offloading*).

Em decorrência do descobrimento da camada pré-sal, operações de produção offshore de petróleo vem crescendo exponencialmente nas últimas décadas, sendo responsável por mais de 90% da produção total brasileira [OLIVEIRA et al, 2009].

Nas atividades petrolíferas de exploração e produção, em estruturas *on* e *offshore* há sempre o risco de vazamento de óleo ou gás, que sofrendo ignição pode causar incêndio e explosões acarretando problemas às instalações operacionais, ambientais e à vida dos trabalhadores. Por isso, deve-se considerar, durante o projeto destas plataformas, sistemas de detecção de vazamentos a fim de evitar tais situações [FLECK, 2008].

As plataformas petrolíferas oferecem riscos aos trabalhadores tendo em vista que estes trabalham em espaços confinados em locais de difícil acesso a resgate. Diante disso, faz-se necessário a implantação de um sistema de detecção, objetivando diminuir o risco associado aos vazamentos de óleo ou gás [Pupe *et al.*, 2006].

Os vazamentos em plataformas offshore resultam em problemas de grandes proporções, com isso, uma estimativa precisa do cenário que estas se encontram é extremamente importante para a previsão do potencial impacto do vazamento. Além disso, as informações dos sistemas de detecção contribuem na definição de ações preventivas a fim de minimizar os prejuízos.

O Brasil foi palco de acidentes relacionados a vazamento de gases e explosão. Como a “catástrofe” ocorrida em 2001, com a considerada maior plataforma do mundo, P-36, localizada na Bacia de Campos, a qual perdeu sua estabilidade estrutural, após o

vazamento de gás e explosão, este acidente culminou no naufrágio da plataforma e causou a morte de 11 trabalhadores.

As simulações em CFD (*Computational Fluid Dynamics*) tem se mostrado cada vez mais eficientes em decorrência da evolução tecnológica e, além disso, permitem análises sem desperdício de capital, tempo e de materiais. O presente estudo introduz uma abordagem CFD, mostrando seus benefícios para a indústria petrolífera no combate a problemas de vazamentos de gás.

## 2 | DETECÇÃO DE GASES

No sentido de evitar as ocorrências de vazamento de gases, medidas de minimização dos riscos devem ser tomadas como, por exemplo, a instalação de detectores levando-se em conta diversos cenários de dispersão, diferentes taxas e direções de vazamento em combinação com as condições de ventilação que a plataforma está sujeita.

O sistema de detecção de gases em plataformas offshore é composto por dois subsistemas: um para a detecção de gases inflamáveis e outro para a detecção de gases tóxicos, especialmente gás sulfídrico ( $H_2S$ ). Estes subsistemas são responsáveis por monitorar as concentrações de gases com o intuito de preservar a vida dos trabalhadores, assim como, minimizar danos à estrutura e aos equipamentos da plataforma [FLECK,2008].

Com o auxílio de softwares de modelagem CFD é possível prever o comportamento do volume de gases vazado e detectar as medidas necessárias para evitar problemas de grandes proporções em casos de vazamento, pois os pontos de vazamento serão identificados e corrigidos rapidamente.

## 3 | FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD)

A fluidodinâmica computacional é uma ferramenta bastante utilizada na predição e simulação de fluxos de fluidos, transferência de calor e massa, reações químicas e fenômenos correlatos. É formada pela união de três disciplinas da ciência, a física (dinâmica dos fluidos, transferência de calor, reações químicas, etc.), a matemática (resolução das equações de governo e métodos numéricos) e a ciência da computação (programas e os códigos de CFD) cuja função é entender os eventos físicos do fluxo de fluidos internos ou externos à objetos [MARTINS, 2016].

### 3.1 Utilização na indústria do petróleo

A crescente utilização da técnica CFD tem se tornado muito importante na

indústria petrolífera, pois através desta técnica é possível simular o comportamento de fluxo multifásico em dutos, modelagem de trocadores de calor, estudar a coalescência de gotículas de água e, principalmente, simular a dispersão de gases em decorrência de vazamentos em sistemas e equipamentos.

O fenômeno de dispersão pode ser classificado de duas formas, a primeira em relação as características do fluido que pode ser classificado como neutro, positivo ou negativo em relação ao seu empuxo e a segunda com relação a fonte geradora do vazamento.

O fluido que é classificado como neutro possui densidade bem próxima a do ar, enquanto que os negativos são os que possuem alta densidade, ou seja, possuem densidade superior à do ar como, por exemplo, gás de amônia, o GLP e o . Por último, os positivos como é o caso do gás metano que possui baixo peso molecular e tende a subir, pois são mais leves que o ar. Por último, os positivos que incluem gases com baixo peso molecular e gases quentes, que tendem a subir pois são mais leves que o ar [FIATES, 2015].

O tipo de emissão pode ocorrer de três formas, são elas: contínua, instantânea ou intermediária. Na contínua geralmente ocorre a formação de uma pluma (conforme Figura 1), na instantânea levará a formação de um *Puff* (conforme Figura 2) ou intermediária que pode se comportar entre ambos a depender das condições [FIATES, 2015].

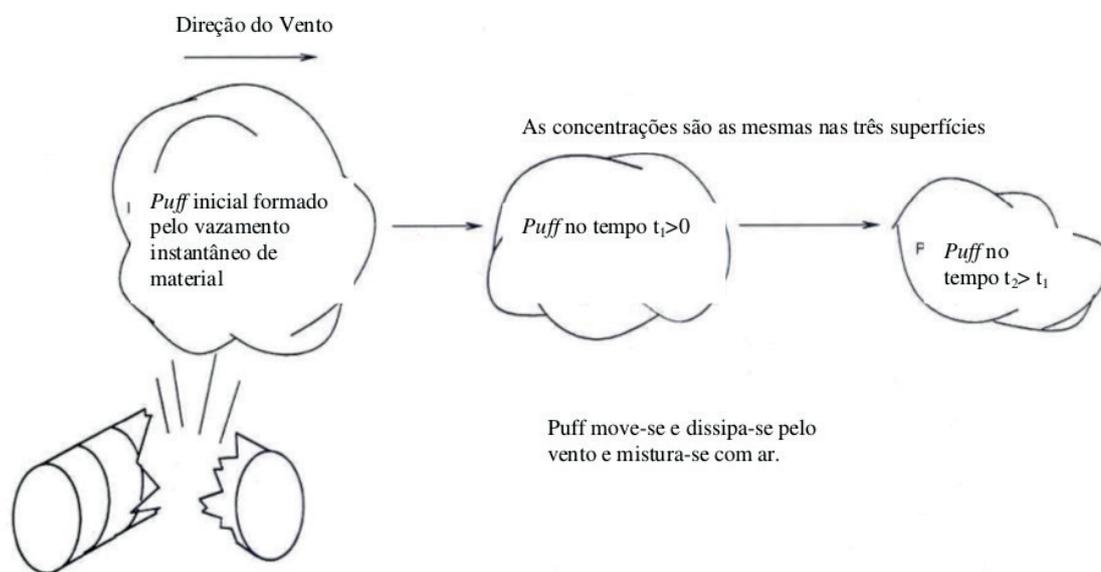


Figura 1: Puff formado por um vazamento instantâneo [CCPS (2000) apud Fleck (2008)].

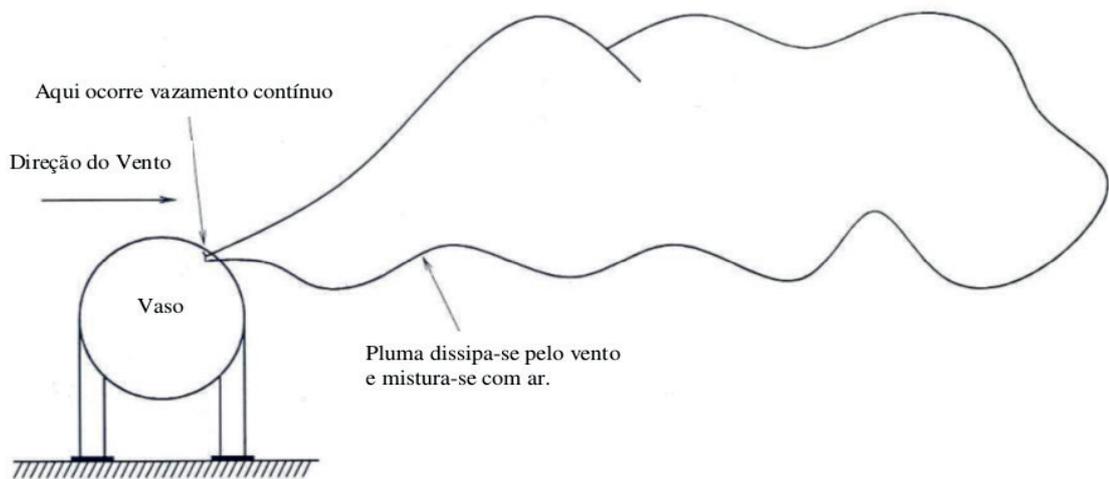


Figura 2: Pluma formada por um vazamento contínuo [CCPS (2000) apud Fleck (2008)].

### 3.2 Modelagem matemática

A forma de modelar matematicamente depende do tipo de regime de escoamento, este pode ser: laminar, transiente ou turbulento. O pacote computacional ANSYS é um software de simulação que resolve numericamente problemas de mecânica dos fluidos e transferência de calor, empregando a metodologia de volumes finitos, usando estruturas espaciais e gerando malhas.

As etapas para a montagem da simulação ocorrem conforme a seguir:

- Descrição da geometria;
- Discretização e geração da malha;
- Especificação das condições de escoamento;
- Seleção dos modelos;
- Especificação dos parâmetros numéricos;
- Solução do escoamento;
- Pós-processamento: análise e visualização dos resultados.

### 3.3 Tipos de escoamento

Na mecânica dos fluidos existem três tipos de escoamento: o laminar, transiente e o turbulento. Devido à falta de uma descrição precisa do fenômeno físico o escoamento transiente é caracterizado por altas imprecisões e erros. A solução das equações de Navier-Stokes normalmente não apresenta dificuldades fundamentais para fluxos laminares. Entretanto, a simulação de fluxos turbulentos resulta em problemas que

precisam ser resolvidos com o auxílio de equações mais sofisticadas, como as equações do tipo *Reynolds-Averaged Navier-Stokes*, ou RANS [MARTINS, 2016].

### 3.3.1 Fluxos laminares e turbulentos

O fluxo laminar caracteriza-se por ocorrer de forma ordenada, formando camadas ou lâminas numa mesma direção e com velocidade constante que se movem suavemente sem grande mistura de partículas dentro do fluido, enquanto que o fluxo turbulento apresenta movimento aleatório macroscópico, ou seja, componentes transversais da velocidade se cruzam em relação ao movimento do fluido. O tipo de regime de um fluido está relacionado à razão entre forças inerciais e viscosas, que são expressadas pelo número de Reynolds [MARTINS, 2016].

## 4 | EXEMPLO NUMÉRICO

O exemplo numérico trata da simulação do vazamento de um tanque em um ambiente de trabalho. Parte-se primeiramente de uma geometria que pode ser modelada de acordo com a necessidade do usuário, a geometria utilizada neste exemplo pode ser visualizada na figura 3.

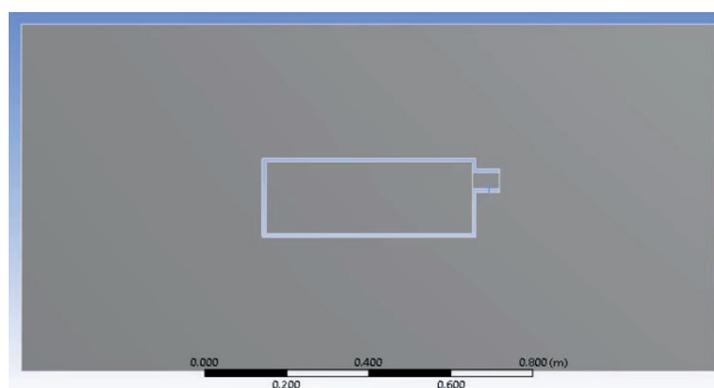


Figura 3 – Geometria do Tanque

A partir da geometria, é necessário a geração de uma malha de volumes finitos de forma que o domínio possa ter seus valores calculados em cada ponto, quanto maior o refino da malha, melhor são os resultados, entretanto o tempo de processamento se torna impraticável e, portanto, deve-se buscar o equilíbrio entre esses dois fatores. A figura 4 demonstra a malha utilizada no exemplo.

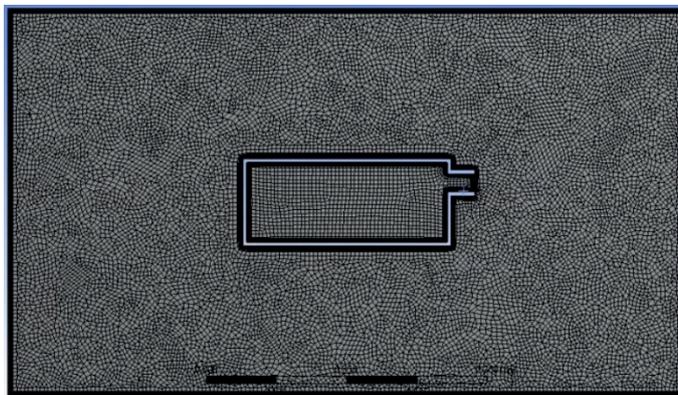


Figura 4 – Malha de volumes finitos

A partir da simulação, o usuário pode visualizar os resultados no formato de contorno onde os pontos em tonalidade de vermelho mostram maior grau em relação a variável utilizada. Nas figuras 5, 6 e 7 estão demonstrados os contornos de velocidade, pressão e temperatura do exemplo simulado.

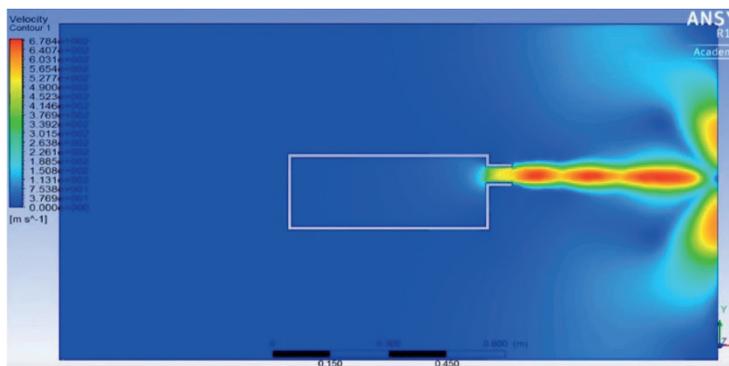


Figura 5 – Contorno de Velocidade

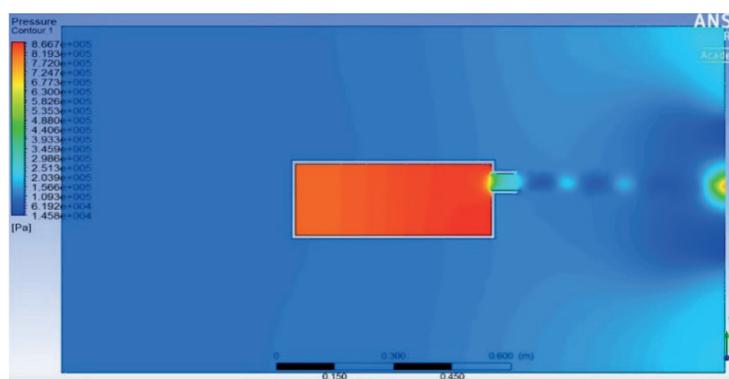


Figura 6 – Contorno de Pressão

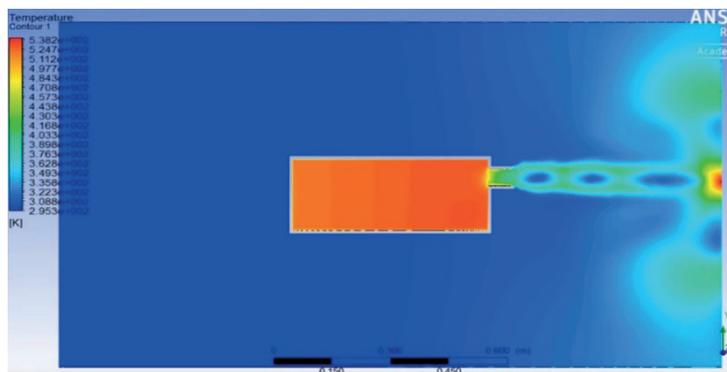


Figura 7 – Contorno de Temperatura

## 5 | CONCLUSÃO

O modelo computacional empregado usando o software ANSYS Fluent permitiu fazer a simulação da dispersão de gás sob diferentes condições de contorno. Este estudo possibilitou a visualização da direção e intensidade do vazamento de maneira simples e precisa. Reforçando, assim, a importância e a necessidade da utilização de técnicas de fluidodinâmica computacional (CFD) na indústria de modo geral, principalmente, aquelas que trabalham com gases inflamáveis, pois nessas existe a possibilidade da ocorrência de acidentes de magnitude elevada em decorrência dos vazamentos de gases inflamáveis que podem sofrer ignição e em contato com o ar geram incêndios e explosões. A abordagem CFD apresentada se mostrou apta a descrever e prevenir acidentes de grandes proporções utilizando recursos ínfimos em relação aos danos causados em cenários onde ocorrem vazamentos de gases inflamáveis.

## REFERÊNCIAS

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY OF THE AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd Edition, Library of Congress Cataloging-in-Publication**, New York, 2000.

FIATES, Juliane. **Desenvolvimento de uma Metodologia Para Simulação de Dispersão de Gás Inflamável por meio de CFD Utilizando OPENFOAM**. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2015.

FLECK, André Brenner. **Dispersão de Gases Inflamáveis em Plataforma Offshore: localização de detectores**. 2008. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MARTINS, Vinícius Antônio Messias. **Fluidodinâmica Computacional Aplicada à Geração e Propagação de Ondas em um Reservatório**. 2016. 64 f. TCC (Graduação)

OLIVEIRA, Barbara Yuri de; MARIANO, Gabriel Cassemiro; QUADRI, Marinho Bastos (Ed.). **Um estudo cfd de vazamento de óleo a partir de dutos submersos. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, Minas Gerais, p.1-6, 27 jun. 2009.

Pupe, C.G., da Silva, A.S. ***O uso de CFD na previsão da dispersão de gases em plataformas offshore.*** Dissertação de Projeto Final - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

Thomas, J.E. ***Fundamentos de Engenharia de Petróleo,*** 2a edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2004.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-195-4

