



Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Atena
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

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)

134	Impactos das tecnologias na engenharia química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-237-1 DOI 10.22533/at.ed.371190304 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
-----	--

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

APRESENTAÇÃO

Inovações tecnológicas surgem a todo o momento, em todo o mundo, sendo utilizadas como uma ferramenta estratégica para manutenção e crescimento dos negócios nas indústrias. A Engenharia Química foi uma das carreiras que mais contribuiu para a evolução da Era Industrial para a Era Moderna.

A preocupação em desenvolver produtos e processos de produção torna a Engenharia Química responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características.

A Engenharia Química trabalha com a manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementando processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

Neste primeiro volume, organizado para você, apresentamos o papel do Engenheiro Químico no mercado de trabalho, pois este aplica conhecimentos adquiridos no estudo de Química e de Engenharia para criar soluções voltadas à produção ou ao uso de substâncias químicas. É o profissional que constrói um elo entre a ciência e a manufatura. Cabe ao engenheiro químico lidar com a formulação e a solução de problemas associados à indústria química, bem como trabalhar na operação e manutenção de sistemas. Também são expostos, neste volume, trabalhos relacionados ao ensino teórico e prático de Engenharia Química.

Além disso, encontram-se trabalhos relacionados com aplicações estatísticas, simulações e otimização de processos para melhoria de utilização de produtos e subprodutos. Assim como são expostos trabalhos de caracterização de materiais e alterações em processos químicos utilizando novas técnicas de análise de produto, avaliando comportamento, característica de sistemas, propriedades físico-químicas e alteração de composição de produtos já utilizados no mercado.

Baseado nestes trabalhos, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, processos e técnicas na área, mostrando o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O PAPEL DO ENGENHEIRO QUÍMICO NO MERCADO DE TRABALHO: PRODUÇÃO DE UM GUIA PRÁTICO DIGITAL DESTINADO AOS GRADUANDOS E DEMAIS INTERESSADOS NA PROFISSÃO	
Raphael Carlos Rosa Pereira Eder Dias da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3711903041	
CAPÍTULO 2	8
GAMEQ: JOGO PARA O ENSINO NA ENGENHARIA QUIMICA	
Riccardo Cafagna Miguel do Valle Fróes Negreiros Falcão Felipe Emmanouil Martires Stamoglou Ana Lucia Barbosa de Souza Ewerton Emmanuel da Silva Calixto Fernando Luiz Pellegrini Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.3711903042	
CAPÍTULO 3	17
ELABORAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PROTÓTIPO DE REATOR CSTR CONSTRUÍDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO VOLTADO À EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Sauro Franceschi de Carvalho Emeson de Souza Lemos Kevelyn Carolina Motta Sbravati	
DOI 10.22533/at.ed.3711903043	
CAPÍTULO 4	27
PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE MÓDULO CONTÍNUO A PARTIR DE MATERIAIS DE BAIXO CUSTO COMO IMPLEMENTAÇÃO DO ENSINO EXPERIMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Igor Moraes Bezerra Calixto Sauro Franceschi de Carvalho Matheus Macedo Teixeira Rafaela Misseia Cinque de Lima Marco Antônio de Alcântara Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.3711903044	
CAPÍTULO 5	36
O SIMULADOR DO FUTURO APLICADO À INDÚSTRIA	
Fernanda Martins	
DOI 10.22533/at.ed.3711903045	
CAPÍTULO 6	43
TERMODINÂMICA QUÍMICA – COMPREENDENDO DE FORÇAS INTERMOLECULARES A COEFICIENTE DE ATIVIDADE	
Lisandra Ferreira de Lima Admilson Lopes Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3711903046	

CAPÍTULO 7 53

DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO DE SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS (DES) EMPREGANDO A CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Helena Pletsch
Mariana Carolina Gipiela Corrêa Dias
Marcos Rogério Mafra

DOI 10.22533/at.ed.3711903047

CAPÍTULO 8 59

ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR TÉCNICAS ESTATÍSTICAS APLICADAS A SISTEMAS DE BOMBEAMENTO HIDRÁULICO

Rebeca Albino de Jesus
Ezequiel José da Silva Honorato
Fábio George Nogueira Cruz
José Nilton Silva

DOI 10.22533/at.ed.3711903048

CAPÍTULO 9 73

COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS POR TUBO DE PITOT E POR SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ANSYS CFX

Victor Felipe Arthur Coutinho Ladeia
Rosilanny Soares Carvalho
Anna Clara Marques de Queiroz
João Carlos Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.3711903049

CAPÍTULO 10 80

ENGENHARIA DE PROCESSOS: DIMENSIONAMENTO, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SISTEMAS DE EVAPORAÇÃO MÚLTIPLO EFEITO DE INDÚSTRIAS DE CELULOSE *KRAFT*

Jamilly Marques Gasparoni
Cássia Regina Santos Nunes Almeida
Gustavo Matheus de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.37119030410

CAPÍTULO 11 96

PROJETO DE HIDROCICLONES USANDO OTIMIZAÇÃO ROBUSTA E ESTUDO DO EFEITO DA ROBUSTEZ

Vitor Alves Garcia
Fran Sérgio Lobato
Luiz Gustavo Martins Vieira

DOI 10.22533/at.ed.37119030411

CAPÍTULO 12 111

SELEÇÃO DE VARIÁVEIS E CONTROLE DE COMPOSIÇÃO POR INFERÊNCIA DE TEMPERATURA EM PROCESSO PRODUTIVO DO ETILBENZENO

Arioston Araújo de Moraes Júnior
Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas
Paulo Romero de Araujo Mariz
Emanuella Francisca de Lacerda Vieira
Marcelo da Silva Pedro
Jonas Laedson Marinho da Silva Santos

DOI 10.22533/at.ed.37119030412

CAPÍTULO 13	119
INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE PH, TEMPERATURA E TEMPO DE VAPORIZAÇÃO NO PROCESSO DE TINGIMENTO DE TECIDOS	
Wanyr Romero Ferreira Wilson Costa Resende Aline Pereira Leite Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.37119030413	
CAPÍTULO 14	128
ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA	
Renata de Oliveira Marinho Marcelo Batista Queiroz Eudesio Oliveira Vilar Márcia Cristina de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.37119030414	
CAPÍTULO 15	140
EFEITO DA DENSIDADE DE CORRENTE NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE Co-W OBTIDOS POR ELETRODEPOSIÇÃO	
Arthur Filgueira de Almeida Bianca Oliveira Evaristo Josiane Dantas Costa Mikarla Baía de Sousa Nathália Cristina Morais Lia Fook Renato Alexandre Costa de Santana Ana Regina Nascimento Campos	
DOI 10.22533/at.ed.37119030415	
CAPÍTULO 16	148
FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO E REDE NEURAL ARTIFICIAL NA ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO EM UM REATOR QUÍMICO NÃO ISOTÉRMICO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Marcelo da Silva Pedro Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Jonas Laedson Marinho da Silva Santos Rodrigo Marinho Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.37119030416	
CAPÍTULO 17	153
COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO	
Guilherme Colla Vinícius Heidemann de Souza Fernanda Vieira Berti Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030417	

CAPÍTULO 18	160
IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA	
Ana Carolina Jorge Meyer Emily Marques dos Reis Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030418	
CAPÍTULO 19	167
CENTRIFUGATION STEP CONTROL OF CELLULOSE NANOCRYSTALS SUSPENSION BY pH AND TURBIDITY MEASUREMENTS	
Mayara Felix Santana Bárbara Castro Moreira Flávia Mitsue Yamashita Nilda de Fátima Ferreira Soares José Mauro de Almeida Alvaro Vianna Novaes de Carvalho Teixeira Deusanilde de Jesus Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030419	
CAPÍTULO 20	173
ESTUDO TERMODINÂMICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE CRISTAL VIOLETA EM NANOTUBOS DE CARBONO FUNCIONALIZADOS	
Leonardo Martins Vargas Gabriel Facciochi Dörtzbacher Guilherme Luiz Dotto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030420	
CAPÍTULO 21	181
ESTUDO DA REOLOGIA E DA SALINIDADE DE MICROEMULSÕES À BASE DE GLICERINA PARA SEREM UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO	
Amanda Brito de Carvalho Fabiola Dias da Silva Curbelo Elayne Andrade Araújo Alfredo Ismael Curbelo Garnica	
DOI 10.22533/at.ed.37119030421	
CAPÍTULO 22	196
ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILAS BENTONÍICAS PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE MICROEMULSIONADA	
Renata Rodrigues Magalhães Roxana Pereira Fernandes de Sousa Alfredo Ismael Curbelo Garnica Fabiola Dias da Silva Curbelo Thaine Taumaturgo Caminha	
DOI 10.22533/at.ed.37119030422	

CAPÍTULO 23	201
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E VOLUMÉTRICAS DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO E DO BIOQUEROSENE	
<p>Idila Rafaela Carvalho Gonçalves Ana Clara Cazarin Queiroz Luciana Loureiro de Pinho Rolemberg de Andrade Sílvia Maria Zanini Sebrão Krishnaswamy Rajagopal</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030423	
CAPÍTULO 24	210
AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE TINTAS ACRÍLICAS COMERCIAIS E ADITIVADAS COM CARGA CONDUTORA	
<p>Alex da Silva Sirqueira Monica Cristina dos Santos Vieira Monica Feijó Naccache Stanley Pires de Alcântara</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030424	
CAPÍTULO 25	222
EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	
<p>Gabryella Cerri Mendonça Cristiano Corrêa Ferreira</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030425	
CAPÍTULO 26	232
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS PARTICULADOS: DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE FERTILIZANTES GRANULADOS NA ESTAGNAÇÃO DE AR	
<p>Hugo Perazzini Maise Tonon Bitti Perazzini Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes João Marcos Cardoso Silva</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030426	
CAPÍTULO 27	248
DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL	
<p>Raquel de Oliveira Silva Ana Paula Silva Capuci Raíssa Araújo de Oliveira Campos Ricardo Amâncio Malagoni</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030427	
CAPÍTULO 28	255
CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO COM ALTAS VAZÕES E VISCOSIDADES ELEVADAS: UMA ALTERNATIVA TÉCNICA À LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE ROYALTIES E PARTICIPAÇÕES ESPECIAIS	
<p>Carlos Eduardo Ribeiro de Barros Barateiro Romulo Carlos da Silva Emerik</p>	
DOI 10.22533/at.ed.37119030428	
SOBRE A ORGANIZADORA	271

COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS POR TUBO DE PITOT E POR SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ANSYS CFX

Victor Felipe Arthur Coutinho Ladeia

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
Campus Montes Claros
Montes Claros- Minas Gerais

Rosilanny Soares Carvalho

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
Campus Montes Claros
Montes Claros- Minas Gerais

Anna Clara Marques de Queiroz

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
Campus Montes Claros
Montes Claros- Minas Gerais

João Carlos Gonçalves

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais –
Campus Montes Claros
Montes Claros- Minas Gerais

RESUMO: Este trabalho propôs a comparação do perfil de velocidades gerados experimentalmente através da medida de alturas manométricas por um tubo de Pitot e computacionalmente gerados por software ANSYS CFX simulando escoamento de ar em um duto de um módulo de calibração onde o tubo de Pitot é usado para realizar as medidas. Os perfis de velocidade foram encontrados por meio do perfil da lei de potência e plotados unicamente em um gráfico. Seis pontos do tubo, variando da parede ao centro, foram selecionados para aplicação dos cálculos. Os

resultados mostraram uma grande discrepância entre o experimento e a simulação quando o ponto de medição estava próximo à parede, apresentando uma diferença de 27%. À medida que o ponto de medição se aproximava do centro do duto, essa diferença chegou a ser reduzida a até 1,6%. A simulação se mostrou uma aliada à realização de práticas de fenômenos de transporte. Os resultados indicaram que o tubo de Pitot não estava instalado corretamente, pois quando era acusado que o ponto de medição estava localizado na parede do duto, na verdade ainda captava variações a uma distância significativa da parede, justificando o alto erro para esse ponto.

PALAVRAS-CHAVE: Tubo de Pitot, CFD e perfil de velocidades.

ABSTRACT: This work proposed the comparison of the profile of experimentally generated velocities through the measurement of manometric heights by a Pitot tube and computationally generated by ANSYS CFX software simulating air flow in a duct of a calibration module where the Pitot tube is used to perform the measures. The velocity profiles were found by means of the power law profile and plotted solely on a graph. Six points of the tube, varying from the wall to the center, were selected for application of the calculations. The results showed a large discrepancy between

the experiment and the simulation when the measurement point was close to the wall, with a difference of 27%. As the measuring point approached the center of the duct, this difference was reduced to 1.6%. The simulation proved to be an ally to the practice of transport phenomena. The results indicated that the Pitot tube was not properly installed because when it was accused that the measuring point was located on the duct wall, it actually still captured variations at a significant distance from the wall, justifying the high error at that point.

KEYWORDS: Pitot tube, CFD and velocity profile.

1 | INTRODUÇÃO

Nas ciências de engenharia é de extrema importância qualificar e compreender os efeitos de determinado fluido em escoamento seja para evitar transtornos e prever seu comportamento ou até mesmo para aquisição de dados para efetuar o controle sobre determinado processo. Uma forma de estudar o comportamento do fluido é através do perfil de velocidades.

O perfil de velocidades em um tubo pode ser obtido através de medidores de vazão. As velocidades podem obtidas em diferentes pontos no diâmetro do duto por meio do tubo de Pitot. Esse tipo de instrumento não percebe variações rápidas da velocidade e fornece a velocidade média para tempos de vários segundos (Bird *et al.*, 2010). O Tubo de Pitot mede variações de pressão no tubo através de dois orifícios, um paralelo e outro perpendicular ao escoamento. A pressão P da equação de Bernoulli, Equação 1, é a pressão estática (Livi, 2010):

$$\frac{\Delta v^2}{2} + g\Delta z + \frac{\Delta P}{\rho} = 0 \quad (1)$$

onde v é a velocidade de escoamento, g a aceleração gravitacional, Δz a variação de altura do escoamento e ρ a massa específica do fluido. A pressão dinâmica, mostrada na Equação 2, é diferença entre a pressão total, pressão quando a velocidade do fluido é igual a zero, e a pressão estática.

$$P_{\text{dinâmica}} = \frac{1}{2} \rho V^2 = P_{\text{total}} - P \quad (2)$$

Isolando V , obtém-se a Equação 3, usada para calcular a velocidade de escoamento:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_{\text{total}} - P)}{\rho}} \quad (3)$$

A diferença de pressões na Equação 3 é medida através de tomadas de pressão conectadas entre o tubo de Pitot e uma coluna manométrica. Essa diferença de pressão é empregada na Equação 4 para o cálculo da pressão dinâmica:

$$P_{\text{total}} - P = \frac{1}{2} \rho V^2 = g \Delta h (\rho_m - \rho) \quad (4)$$

onde ρ_m é a massa específica do fluido manométrico.

Isolando V na Equação 4, obtém-se a Equação 5, expressão que permite calcular a velocidade através da leitura da altura manométrica:

$$V = \sqrt{\frac{2g\Delta h(\rho_m - \rho)}{\rho}} \quad (5)$$

É possível descrever o perfil de velocidade de um escoamento em um tubo pelo perfil da lei de potência, Equação 6:

$$\frac{\bar{V}}{V_{\text{máx}}} = \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

A velocidade média é calculada pela lei de potência, Equação 7:

$$\bar{V} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \cdot V_{\text{máx}} \quad (7)$$

n é um valor tabelado que depende do número de Reynolds, Re .

Para a aplicação em sistemas mais complexos que retratem a realidade, em geral não há soluções analíticas para a equação da continuidade e para as equações de Navier-Stokes aplicadas em conjunto (FOX *et al.*, 2014). Assim, o cálculo numérico surge para solucionar esses problemas mais complexos. ANSYS CFX é um software para dinâmica de fluidos computacional (CFD em inglês) que combina um solucionador avançado com poderosas capacidades de pré e pós-processamento (CFX User's Manual).

Para este trabalho foi utilizada a versão Academic oferecida pela ANSYS com o objetivo de simular o escoamento de ar em um tubo, gerar perfis de velocidades e comparar os resultados computacionais com os experimentais. Com essa comparação é possível validar a simulação e tornar o software um instrumento que auxilie o desenvolvimento da aprendizagem da disciplina Laboratório de Fenômenos de Transportes do IFNMG – *Campus Montes Claros*.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a parte experimental, foi utilizado o módulo de calibração do laboratório de Fenômenos de Transportes do IFNMG – *Campus Montes Claros*, Figura 1:

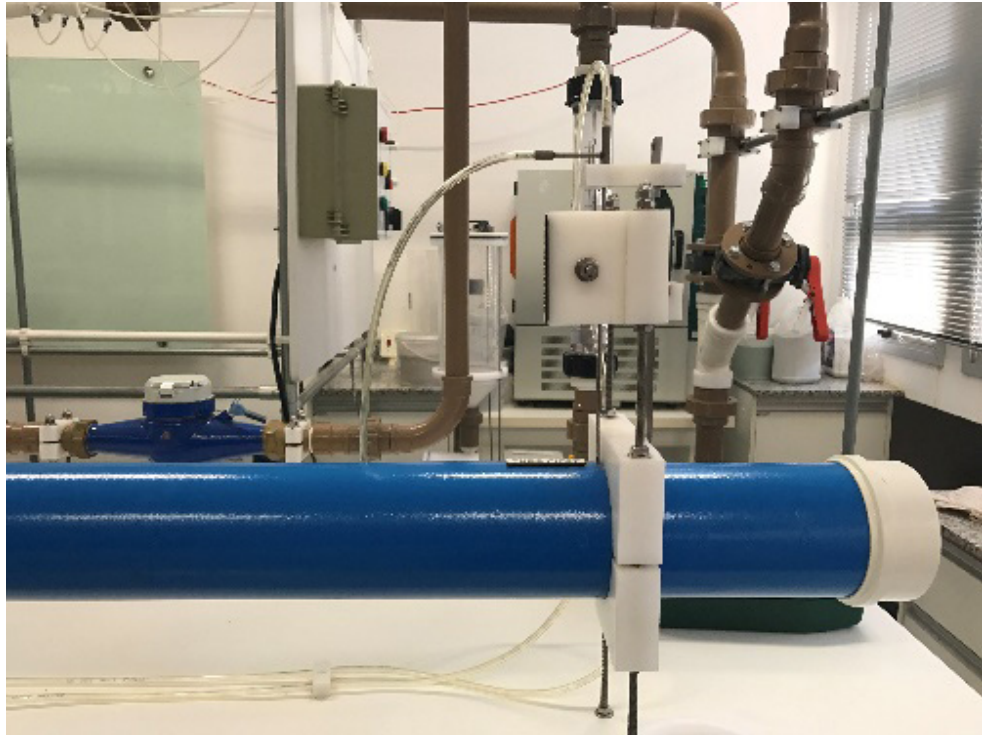


Figura 1 – Tubo de Pitot instalado

As velocidades experimentais foram obtidas com auxílio de um anemômetro de ventoinha dotado de termômetro. A média da temperatura do fluido de escoamento, o ar, foi utilizada para determinar o valor da massa específica do ar, assim como a temperatura ambiente foi utilizada para a determinação das propriedades físicas do fluido manométrico. Os valores foram consultados em PERRY *et al.* (2008). Foi fixado um valor no inversor de frequência ligado ao soprador do módulo de calibração para se ter uma vazão constante. A variação da altura manométrica foi medida em triplicata para seis diferentes pontos do diâmetro do tubo.

As velocidades experimentais foram então calculadas pela Equação 5 e a velocidade máxima foi empregada nas Equações 6 e 7.

Para a simulação, a geometria do tubo foi feita no DesignModeler e a malha foi gerada no Meshing, ambos softwares da ANSYS. As mesmas dimensões do tubo do módulo de calibração foram utilizadas para a construção da geometria. A malha da Figura 2 contém 21889 nós e 108361 elementos. A velocidade média e a temperatura média calculadas pelo experimento foram utilizadas como condições iniciais da simulação.

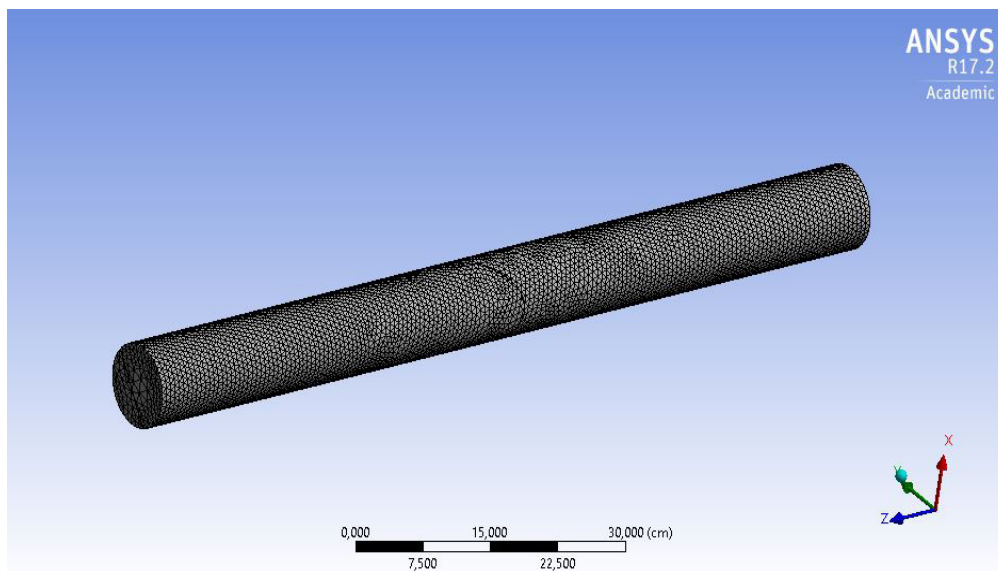


Figura 2 – Malha utilizada na simulação

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 contém os valores da variação da altura manométrica para cada ponto de medição do tubo de Pitot, além de conter as respectivas velocidades calculadas, as velocidades experimentais e as velocidades obtidas por simulação.

Ponto	r/R	Δh (mm)	Velocidade calculada (m/s)	Velocidade Experimental (m/s)	Velocidade Computacional (m/s)
1	-1	4,25	15,063013	17,13	12,502772
2	-0,8	5,03	16,382401	17,33	15,157255
3	-0,60042	5,7	17,43477	17,87	16,853611
4	-0,4	5,8	17,59184	18,23	17,309114
5	-0,19979	6,67	18,864107	18,7	17,419063
6	0	6,93	19,225368	19,23	17,43477

Tabela 1 – Resultados experimentais e computacionais

A simulação foi concluída em tempo hábil, menor que um minuto. Foi gerada uma distribuição de velocidade em três dimensões. Para fim de análise, um plano foi gerado no centro do duto, facilitando a visualização da distribuição de velocidades no duto. Essa distribuição é ilustrada na Figura 3:

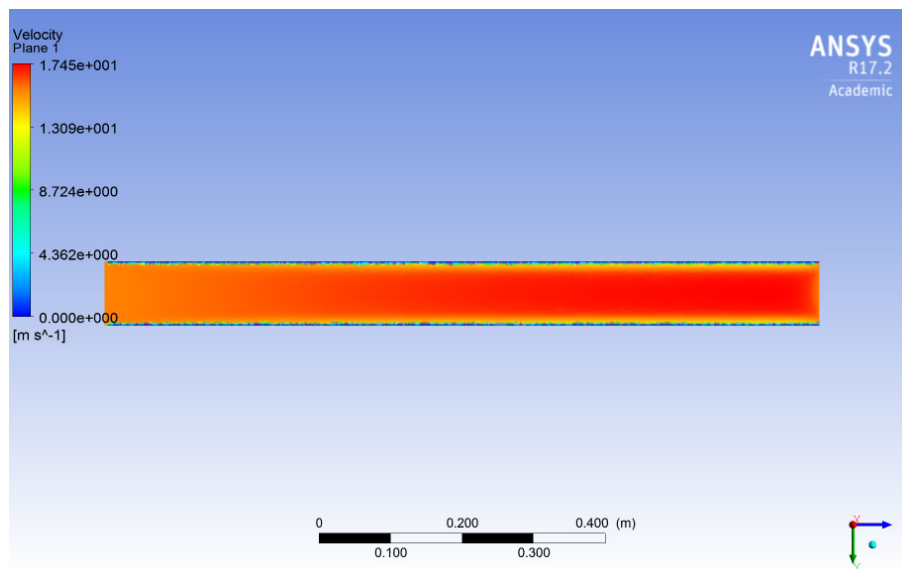


Figura 3 – Resultado da simulação

Percebe-se que somente no final, cores alaranjadas mais fortes, é onde o escoamento se encontra em estágio completamente desenvolvido. A distribuição de cores está de acordo com o que se espera para um escoamento turbulento: pouca variação no centro do duto passando para uma variação considerável próximo às paredes do mesmo.

O valor de n da Equação 7 foi determinado através do número de Reynolds, encontrando o valor igual a 7. Com isso, a razão V/V_c foi calculada e os perfis de velocidade para os resultados calculado, experimental e computacional puderam ser construídos. A Figura 4 mostra os perfis para os três casos:

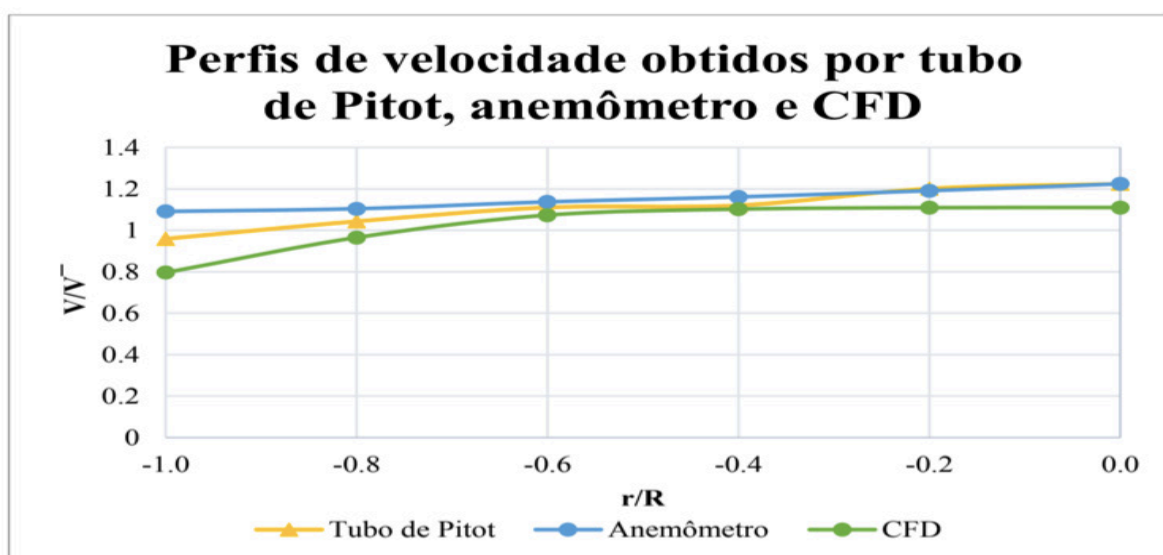


Figura 4 – Perfis de Velocidade

Para a razão dos raios igual a -1, os perfis têm valores significativamente distintos. Fisicamente é impossível medir a queda de pressão em $r = R$. O tubo de Pitot só

será capaz de medir as quedas de pressão satisfatoriamente, quando $r < R$. Pode-se perceber no módulo que mesmo quando o paquímetro acoplado ao tubo de Pitot indicava que o ponto do raio era igual raio real do tubo, o orifício do tubo de Pitot não se alinhava à parede do duto. Essa falta de regulagem explica a grande diferença de 27% em relação à velocidade experimental e de 17% em relação à velocidade teórica calculada.

4 | CONCLUSÃO

A comparação de perfis de velocidades gerados experimentalmente por Tubo de Pitot e computacionalmente gerados pelo software ANSYS CFX mostrou que o uso de simulações CFD são grandes aliadas aos processos experimentais. O resultado da simulação chegou a ser 27% diferente do resultado experimental. Devido a esse resultado, foi percebida a necessidade da correta instalação do tubo de Pitot no módulo de calibração usado. Conforme os pontos experimentais foram se aproximando do duto onde havia o escoamento de ar, a diferença de resultados chegou a 1,6%, mostrando que para essa região a simulação pode ser validada.

REFERÊNCIAS

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Fenômenos de transporte**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

FOX, R. W.; MCDOLNÁLD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

LIVI, C. P. **Fundamentos de Fenômenos de Transportes: Um texto para Cursos Básicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

PERRY, J.; PERRY, R.; GREEN, D. **Perry's Chemical Engineers Handbook**. 8 ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-237-1

