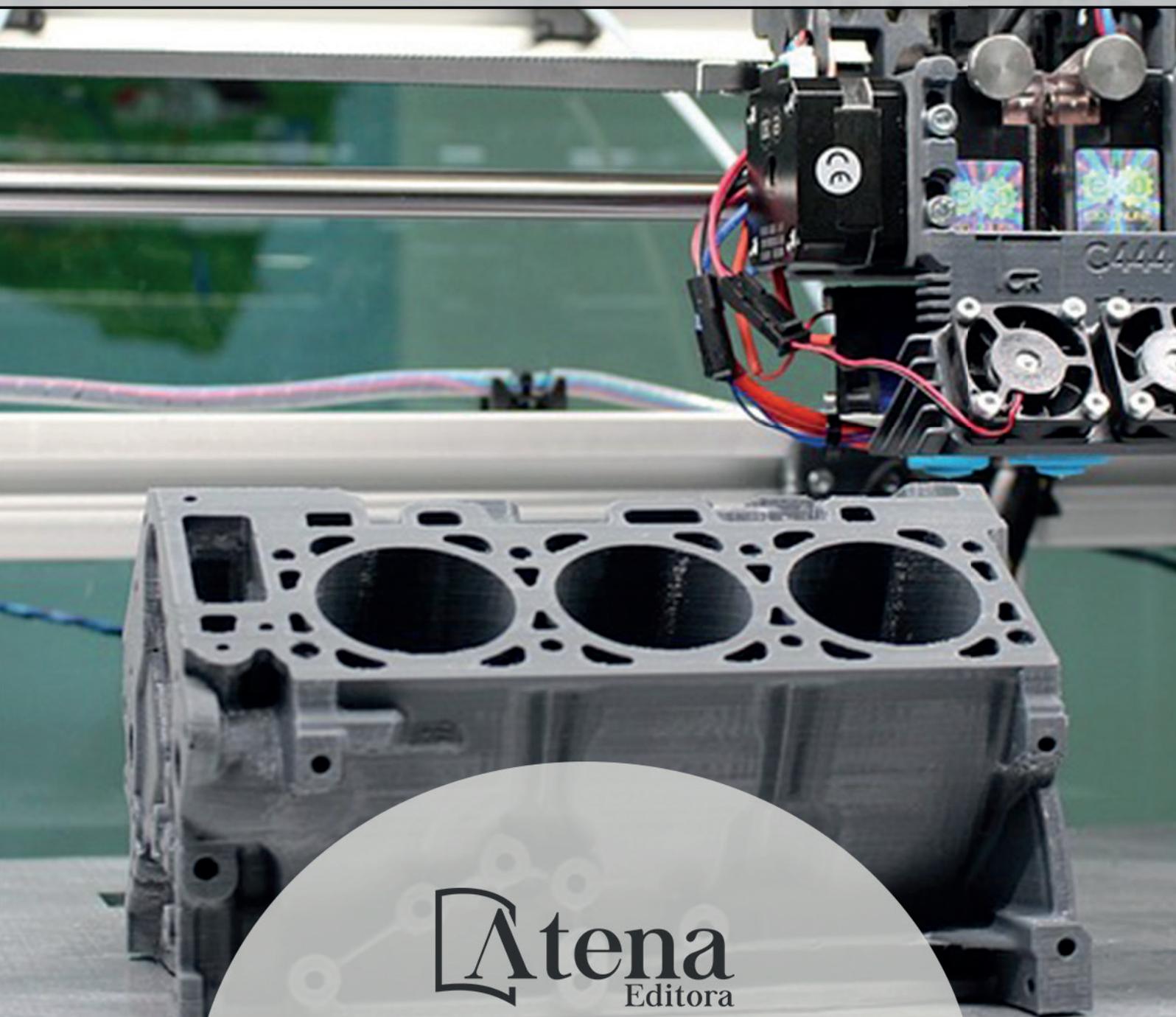


Engenharias Mecânica e Industrial: Projetos e Fabricação

Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



 **Atena**
Editora

Ano 2018

Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Engenharias Mecânica e Industrial: Projetos e Fabricação

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

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)

E57 Engenharias mecânica e industrial [recurso eletrônico] : projetos e fabricação / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
ISBN 978-85-85107-76-5
DOI 10.22533/at.ed.765180511

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica.
3. Produtividade industrial. I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.

CDD 670.427

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.

2018

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

Surgida durante a Revolução Industrial na Europa no século XVIII, a Engenharia Mecânica de maneira sucinta, pode ser definida como o ramo da engenharia que se dedica a projetos, produção e manutenção de máquinas.

Nesta obra é conciliado estes dois fundamentos que são pilares na profissão de engenheiro mecânico; Projetos e fabricação. Felizmente é possível perceber que estes dois fundamentos da engenharia mecânica e industrial continuam sendo pontos fortes da formação de profissionais nesta área e dos docentes pesquisadores envolvidos neste processo.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de projetos e fabricação no âmbito da engenharia.

Trabalhos envolvendo caracterização de materiais são importantes para a execução de projetos dentro de premissas de desempenho e econômicas adequadas. Eles continuam a ser a base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais para o design do produto em concepção.

Dentro deste livro também são contemplados temas eminentemente práticos emissão de motores de combustão interna, bancadas didáticas de bombeamento, tuneis de vento além de problemas clássicos da indústria como tubulações e lubrificação.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DO AÇO SAE 1020	
<i>Amadeu Santos Nunes Junior</i>	
<i>Rodrigo da Silva Miranda</i>	
<i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>	
CAPÍTULO 2	8
AJUSTE DE CURVAS DOS PARÂMETROS DE SOLIDIFICAÇÃO PARA AÇOS PRODUZIDOS POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO	
<i>Lisiane Trevisan</i>	
<i>Juliane Donadel</i>	
<i>Bianca Rodrigues de Castro</i>	
CAPÍTULO 3	23
CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E DEFINIÇÃO DO PERCENTUAL DE CARBONO DE UM AÇO POR MEIO DA METALOGRAFIA QUANTITATIVA	
<i>Felipe Gomes dos Santos</i>	
<i>Lioudmila Aleksandrovna Matlakhova</i>	
CAPÍTULO 4	37
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE COMPÓSITOS SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE MADEIRA Balsa MEDIANTE ENSAIO DE DOBRAMENTO TRÊS PONTOS	
<i>Denilson Pablo Cruz de Oliveira</i>	
<i>Renata Portela de Abreu</i>	
<i>Pedro Augusto Silva de Sousa</i>	
<i>Abimael Lopes de Melo</i>	
CAPÍTULO 5	46
AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA PELO MÉTODO DE PLACA QUENTE	
<i>Wênio Fhará Alencar Borges</i>	
<i>Eduardo Corte Real Fernandes</i>	
<i>Oyama Douglas Queiroz de Oliveira Filho</i>	
<i>Alex Maurício Araújo</i>	
CAPÍTULO 6	55
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA A PARTIR DA VARIAÇÃO NA REGULAGEM DAS VÁLVULAS DE ADMISSÃO E EXAUSTÃO	
<i>Fernanda de Souza Silva</i>	
<i>Adriano Sitônio Rumão</i>	
<i>Marcos da Silva Gonçalves Júnior</i>	
<i>Daniel Lira da Silva Figueiredo</i>	
<i>Bráulio Alexandre Alves de Lima</i>	
CAPÍTULO 7	66
ANÁLISE DE EMISSÃO DE GASES DO MOTOR HORIZONTAL BRIGGS AND STRATTON INTEK 10 HP BAJA SAE	
<i>Bruno Silvano da Silva</i>	
<i>Daniel Willemam Trindade</i>	
<i>Elias Rocha Gonçalves Júnior</i>	
<i>Virgínia Siqueira Gonçalves</i>	
<i>Claudio Luiz Melo de Souza</i>	

CAPÍTULO 8 79

ROTEIRO TÉCNICO PARA CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA EM CÂMARAS FRIGORÍFICAS UTILIZADAS EM ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS

Ismael de Marchi Neto
Rodrigo Corrêa da Silva
Mateus de Souza Goulart
Rafael Sene de Lima
Ricardo de Vasconcelos Salvo

CAPÍTULO 9 97

UTILIZAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA REFRIGERAÇÃO DE PARADAS DE ÔNIBUS EM TERESINA-PI

Wênio Fhará Alencar Borges
Armystron Gonçalves Ferreira Araújo
Alexsione Costa Sousa
Luciane Norberto Menezes de Araújo
Maria Onaira Gonçalves Ferreira

CAPÍTULO 10 108

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVA DE CURVA CARACTERÍSTICA DE BOMBA CENTRÍFUGA

Janio Marreiros Gomes,
Ighor Caetano Silva Ferreira,
Adriano do Amor Divino Guilhon Serra,
Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho,
Wellington de Jesus Sousa Varella,
Thymisson Sousa da Paixão,

CAPÍTULO 11 120

INTRODUÇÃO À ANÁLISES HIDRÁULICAS ATRAVÉS DO ESTUDO DO COMPRIMENTO CARACTERÍSTICO EM TUBULAÇÕES

Rafael Costa Da Silva
Luiz Carlos Cordeiro Junior

CAPÍTULO 12 132

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MINI TUNEL DE VENTO DIDÁTICO DE BANCADA EXPERIMENTAL PARA ESTUDOS AERODINÂMICOS

Diógenes Leite Souza
Fernando Lima de Oliveira

CAPÍTULO 13 151

ANÁLISE DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS NO MOTOR DO CARRO ARRANCADA

Paulo Rutenberg Madeira Santos
Higor Leandro Veiga da Silva

CAPÍTULO 14 158

ANÁLISE DO ESCOAMENTO DO ÓLEO BASE DE UMA GRAXA MINERAL EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CONTAMINAÇÃO

Ana Cláudia Marques
Bruno Henrique Viana Mendes
Jorge Nei Brito

CAPÍTULO 15 167

MEDIDOR DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM MEIOS LÍQUIDOS NA OBTENÇÃO DE SOLUÇÕES EM ENGENHARIA

Vagner dos Anjos Costa
Cochiran Pereira dos Santos

*Antonio Cardoso Ferreira
Jubiraí José Galliza Júnior
Fabrício Oliveira Silva
Fabio Santos de Oliveira
Silvio Leonardo Valença*

CAPÍTULO 16..... 179

ESTUDO EXPERIMENTAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE ONDAS E CORRENTES MARÍTIMAS

*Reginaldo Nunes da Silva
Patrícia do Nascimento Pereira
Fernando Lima de Oliveira*

CAPÍTULO 17 186

USO DO SENSOR HC – SR04 COM O ARDUINO UNO: UMA ANÁLISE DE ERROS DE MEDIÇÃO ENVOLVENDO AS BIBLIOTECAS ULTRASONIC E NEW PING

*Lucas Santin Bianchin
Rogério Bido
Vanessa Carina Dal Mago
Alexsander Furtado Carneiro*

CAPÍTULO 18..... 198

MODERNIZAÇÃO E ADEQUAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ATRAVES DA IMPLANTAÇÃO DE REDE INDUSTRIAL E SISTEMA SCADA EM WINCC RT

*Fabrício Roosevelt Melo da Silva
Diego Antônio de Moura Fonseca
Andrés Ortiz Salazar*

SOBRE O ORGANIZADORES..... 213

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MINI TUNEL DE VENTO DIDÁTICO DE BANCADA EXPERIMENTAL PARA ESTUDOS AERODINÂMICOS

Diógenes Leite Souza

Universidade Estadual do Maranhão
São Luís - MA

Fernando Lima de Oliveira

Universidade Estadual do Maranhão
São Luís - MA

RESUMO: Túneis de vento são dispositivos de suma importância para simulação de escoamentos em estudos aerodinâmicos, facilitando análises e proporcionando suporte prático para melhor compreensão de disciplinas como a mecânica dos fluidos. Dessa forma, este trabalho visa o projeto e construção de um túnel de vento de pequeno porte que servirá para fins didáticos de diversas áreas como mecânica, aeronáutica, entre outras. Para isso definiu-se o desenvolvimento de um dispositivo de circuito aberto e do tipo sugador, realizando análises bibliográficas e cálculos para avaliar as melhores geometrias dos componentes e métodos para controle da camada limite e maior uniformidade do escoamento. Após as etapas de dimensionamento e modelagem foi iniciado o processo de construção de um protótipo com materiais de baixo custo para verificação dos parâmetros abordados no projeto. Posteriormente foi construído o mini túnel de vento final baseado nas análises de possíveis melhorias do protótipo, realizando

cálculos de perda de carga para verificação do acionamento e análise de escoamentos em corpos de prova, de forma a confrontar com resultados simulados.

PALAVRAS-CHAVE: Túnel de vento. Fluidos. Escoamentos..

ABSTRACT: Wind tunnels are extremely important devices for simulation of flows for aerodynamic studies, facilitating analysis and providing practical support for a better understanding of disciplines such as fluid mechanics. In this way, this work aims at the design and construction of a small wind tunnel that will serve for didactic purposes of several areas such as mechanics, aeronautics, among others. For this, the development of an open-circuit and sucker-type device was defined, performing bibliographical analyzes and calculations to evaluate the best geometries of the components and methods to control the boundary layer and greater uniformity of the flow. After the sizing and modeling steps the process of constructing a prototype with low cost materials was started to verify the parameters approached in the project. Subsequently, the final wind tunnel was built based on the analysis of possible improvements of the prototype, performing load loss calculations to verify the drive and analysis of flows in test bodies, in order to confront with simulated results

1 | INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento dos fluidos sempre foi algo que despertou muito interesse e de grande importância ao longo da história da humanidade. Nos tempos antigos já se utilizava noções de aerodinâmica na confecção de flechas e em embarcações movidas à vela, sempre tendo como objetivo a diminuição da força contrária ao movimento denominada arrasto. Porém, a análise de comportamentos dos fluidos sobre diversos tipos e modelos de corpos, devido às suas características, possui certa complexidade e dificuldade de visualização, o que levou à busca de meios que proporcionassem um melhor entendimento, na prática, sobre tais princípios.

Na tentativa de melhorar os estudos destes fenômenos foi que surgiram os túneis de vento. De forma geral, um túnel de vento é uma instalação destinada a produzir, de forma regular e controlada, uma corrente de ar com o objetivo de determinarem-se experimentalmente as condições do escoamento e de medir distribuições de esforços, de temperaturas e acompanhamento de partículas, além de outros elementos relevantes do estudo (GORECKI, 1988).

Ensaio em túneis de vento constituem uma ferramenta confiável para a determinação dos efeitos de cargas de vento sobre diversas estruturas, modelos e protótipos que necessitam ser avaliadas. Mesmo com os computadores de hoje, o túnel de vento ainda é uma ferramenta essencial da engenharia para modelagem de testes, pesquisa experimental e validação dos resultados computacionais (BELL E MEHTA, 1988). Sua aplicação está diretamente relacionada às situações que exigem informações com maior exatidão e confiabilidade ou quando o conhecimento a respeito das cargas de vento recai sobre condições que fogem às previstas nas normas técnicas.

Contudo, a instalação deste equipamento costuma ser onerosa não permitindo que todos os cursos de engenharia mecânica, civil e/ou arquitetura a possuam. No mais, no Brasil existem poucos laboratórios de universidades que os possuem, gerando uma enorme carência nesta área de pesquisa.

Com o intuito de poder mostrar como o vento atua na simulação de um ambiente tipo túnel de vento propõe-se aqui o desenvolvimento de um projeto de um Túnel de Vento (TV) de baixo custo, pequeno porte e fácil construção, com o objetivo de mostrar qualitativamente o comportamento do vento sobre as formas geométricas. O presente trabalho pretende que esta ferramenta laboratorial seja suficiente para no ensino de pequenos modelos de automóveis, corpos esféricos, maquetes de construção residenciais e outras que são muito exigidas pela ação dinâmica do vento. Durante o projeto será feita análises e escolhas dos tipos e melhores parâmetros para a construção de um túnel de vento a ser utilizado em análises de escoamento e

ferramenta prática de ensino na graduação.

2 | METODOLOGIA

Baseado no fluxograma da Figura 1, realizou-se a metodologia completa de concepção do projeto e construção do mini túnel de vento de bancada experimental.

Como primeira etapa, buscaram-se diversas referências bibliográficas de projeto de túneis de vento e recomendações de dimensionamento de autores especializados na área para dar o ponto de partida do projeto.

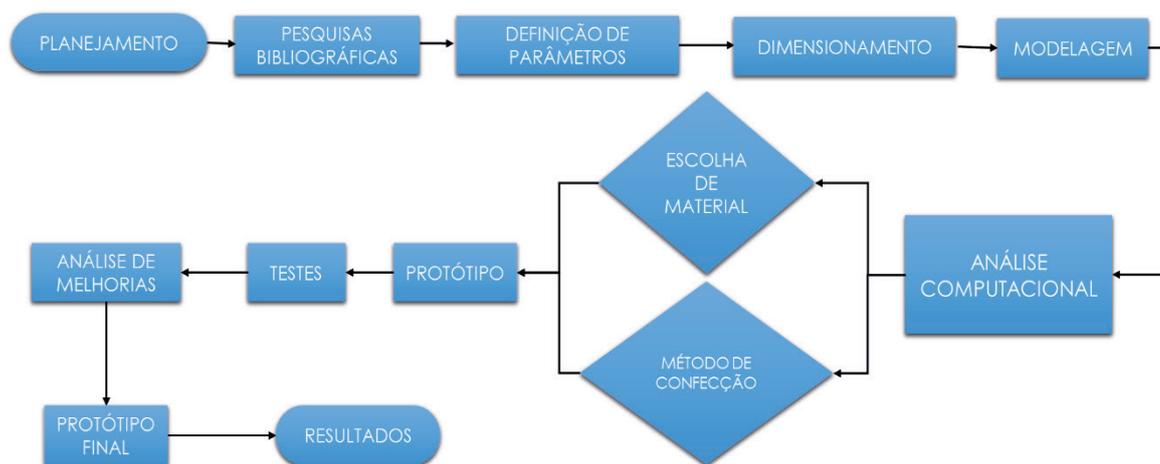


Figura 1 – Fluxograma de metodologia de trabalho.

Fonte: Souza, 2016.

Com objetivo de realizar simulações para auxiliar no dimensionamento do equipamento, utilizou-se também softwares de modelagem e análise numérica.

Também foram estudados modelos e diversas geometrias de túneis de vento bem como possíveis materiais de baixo custo para a confecção. Mas antes da construção final, foi confeccionado um protótipo de papelão de acordo com as especificações propostas, para verificação em escala real do dispositivo e propor possíveis melhorias e habilidades construtivas para o projeto final, além de avaliar os resultados parciais obtidos.

O projeto protótipo foi executado na seguinte linha de ações:

- a) definição de parâmetros;
- b) dimensionamento e modelagem 3D;
- c) construção do protótipo; e
- d) coleta de dados.

2.1. Definições dos Parâmetros

Este projeto visa à construção de um túnel de vento de pequeno porte, que seja de

fácil construção e baixo custo, podendo chegar à sua seção de testes uma velocidade de escoamento de cerca de 10 m/s, de forma que possa atender diversos grupos de engenharia na modelagem de seus ensaios. Dessa forma, entre as geometrias e tipos de túnel de vento analisados, aquela que se encaixa como a mais simples é o do tipo sugador de circuito aberto, como mostra a Figura 2, além de proporcionar um fluxo mais uniforme, conforme a literatura. Os principais componentes deste tipo é a câmara de estabilização (tela e colmeia), bocal de contração, seção de testes, difusor e ventilador.

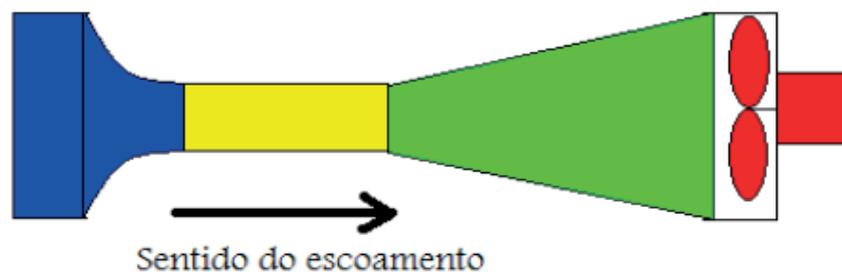


Figura 2 – Desenho de um túnel de vento sugador de circuito aberto.

Fonte: Soethe, 2011(adaptado).

2.1. Definições dos Parâmetros

Após a etapa de definição de parâmetros, foi realizada a etapa de dimensionamento dos componentes do túnel de vento. Para isso, foram realizadas análises e cálculos baseados nas referências bibliográficas e recomendações, com auxílio dos softwares MatLab e Excel.

Para a etapa de modelagem utilizou-se o software *SolidWorks*, para visualização 3D dos componentes e simulação de escoamento do sistema utilizando a extensão *FlowSimulation*, para a verificação de parâmetros do projeto.

De modo geral a metodologia de dimensionamento do projeto segue os passos a seguir:

a) Seção de Testes

Este é o primeiro componente do túnel de vento a ser dimensionado, segundo Ismail (2010). Desse modo, foi definido primeiramente que este teria seção quadrada, com a finalidade de facilitar o processo construtivo e dimensionamento dos demais componentes.

Com o objetivo de projetar um dispositivo com dimensões pequenas que chegasse a cerca de 1,5 metro de comprimento, optou-se por fixar o valor de 150 mm de lado, o que seria suficiente para testar pequenos corpos de prova, gerando uma vazão de cerca 0,225 m³/s. Calculou-se o comprimento em 450 mm, já que esse pode ser até 3 vezes o tamanho do lado da seção (MEHTA e BRADSHAW, 1979), além de

que quanto mais comprida a seção de testes, melhor o comportamento do fluxo. Vide Figura 3.



Figura 3 – Vistas da modelagem da seção de testes.

Fonte: Autor.

b) Bocal de contração

A saída deste elemento é ligada a seção de testes, portanto tem como dimensão 150mmx150mm. Obedecendo a recomendação de que a razão entre as áreas de entrada e saída deve estar entre 6 a 10, sendo que a razão ótima encontrada por Bell e Mehta (1988) deve ser cerca de 7.7, fixou-se o valor de 8 o qual proporcionou uma área de entrada de com dimensões de 424 mm por 424 mm. Ainda segundo Bell e Mehta (1988), a relação entre o comprimento do bocal e a metade da altura da entrada do bocal (L/H_e) deve ser entre 0.89-1.79. Foi adotado um comprimento de 350 mm que gerou uma razão de 1.64, garantindo o dimensionamento dentro das recomendações.

Para traçar a curva do bocal, utilizou-se o método de Morel e otimizado por Bell e Mehta (1988) para a equação do quinto grau, a qual foi utilizada em uma rotina no MatLab para plotar o gráfico mostrado abaixo.

$$Y(X/L) = H_e - (H_e - H_s)[6(X/L)^5 - 15(X/L)^4 + 10(X/L)^3] \quad (1)$$

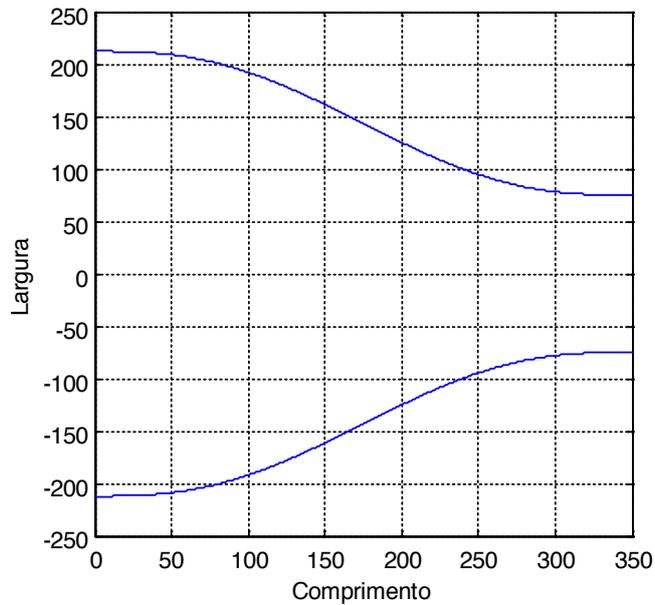


Gráfico 1 - Curvatura do Bocal. Fonte: Próprio autor.

Fonte: Autor.

Com a aquisição dos pontos do gráfico e das demais dimensões foi possível modelar de forma mais precisa o bocal, resultando na Figura 4.

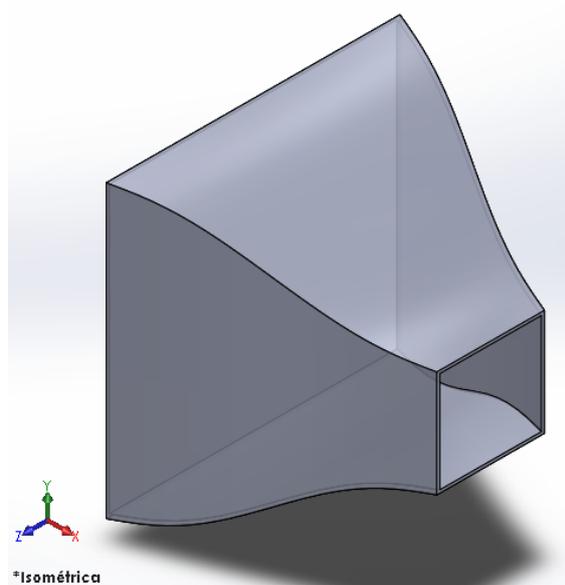


Figura 4 - Modelagem do bocal de contração.

Fonte: Autor.

c) Câmara de Estabilização

A câmara de estabilização é composta pela colmeia e a tela de turbulência as quais tem o objetivo de laminar e uniformizar a velocidade do ar. Seguindo as bases bibliográficas, a câmara deve possuir comprimento com cerca de 20% da maior dimensão do bocal (Mehta (1977), gerando assim, o valor de 85 mm.

Segundo MEHTA (1979), o aumento da velocidade média do fluido é maior para telas de plástico do que de metal, já que as não uniformidades produzidas pelas telas de metal no escoamento eram maiores, devido à rugosidade superfície do material. A tela foi escolhida baseada em dados comerciais, de forma a facilitar o processo construtivo e, seguindo as referências bibliográficas, escolheu-se de material plástico. Seu diâmetro do fio é de 2 mm.

Para as colmeias, por motivo de custos e facilidade de encontrar no mercado, decidiu-se usar canudos para a confecção. Como possuem diâmetro de 5mm, o comprimento da colmeia, que deve ser de 7 a 10 vezes desse valor Mehta (1977), foi de 35 mm. Foram utilizados cerca de 6500 de células para completar a câmara. Vide Figura 5.

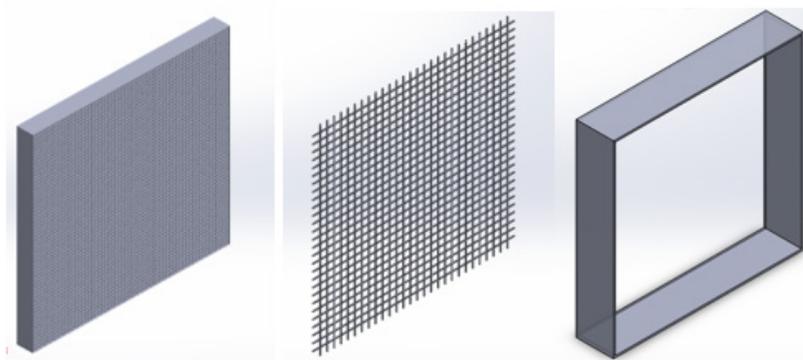


Figura 2 - Modelagem colmeia, tela e seção da câmara

Fonte: Autor.

d) Difusor

O difusor é um aumento de área destinado a reduzir a velocidade a fim de recuperar a altura de pressão do escoamento e por ser um projeto de um túnel de vento de pequeno porte, trata-se de um difusor com ângulo de abertura baixo. Este componente tem a sua entrada conectada a seção de testes e foi dimensionado com o a angulação de 10° para melhor recuperação da perda de pressão e a razão entre as áreas (Mehta e Bradshaw, 1979) foi fixada em 4, de forma que o lado da saída do difusor ficou em 300mm, seguindo as recomendações (3 a 5) e o seu comprimento em 425mm. Através da análise da Figura 6, verificou-se que não será necessária a utilização de telas no difusor e na Figura 7 encontra-se a modelagem do difusor.

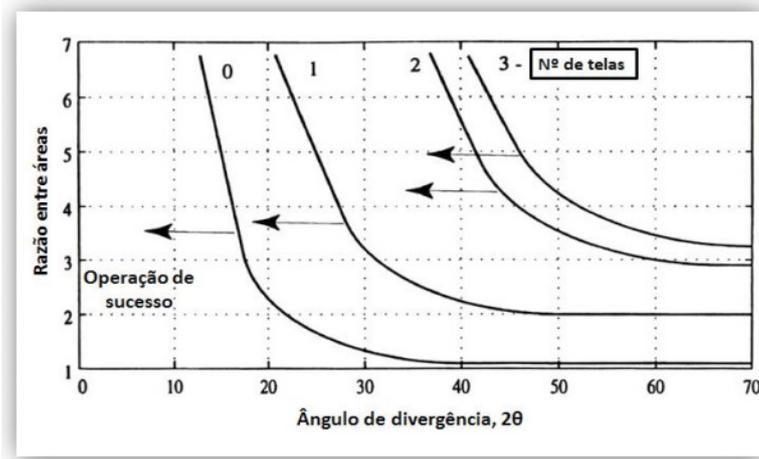


Figura 6 - Limites de projeto para difusores com telas.

Fonte: Mehta e Bradshaw, (1979) (Traduzido)

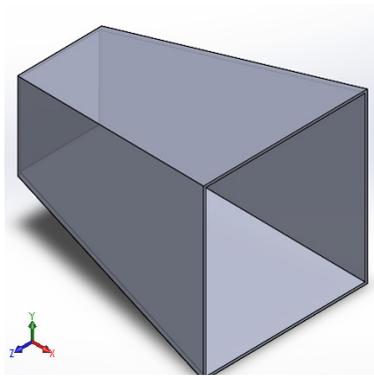


Figura 7 - Modelagem do difusor.

Fonte: Autor.

e) Ventilador

O ventilador a ser escolhido para um túnel de vento com a finalidade de obter a vazão necessária para visualização do escoamento e potência superior às perdas de carga. O ventilador a ser utilizado foi do tipo exaustor com diâmetro de 300mm e comprimento da seção de 200mm, com a finalidade de deixar o túnel de vento com cerca de 1,5 metro. Sua vazão é de 1500 m³/h e potência 130 w, encontrado facilmente no mercado e a baixo custo. Vide Figura 8.



Figura 3 - Exaustor escolhido

Fonte: Autor.

A modelagem completa do túnel de vento pode ser verificada na Figura 9.

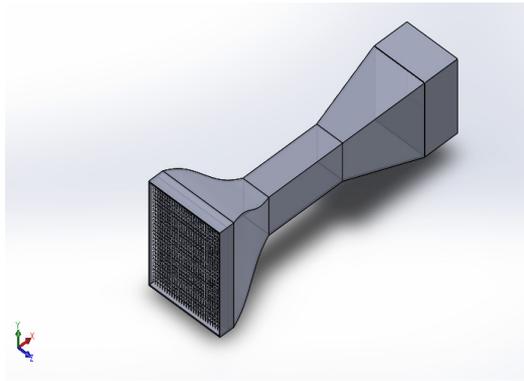


Figura 9 - Modelagem do túnel de vento.

Fonte: Autor.

2.2. Construção do Protótipo

Na construção do protótipo utilizou-se o software *AutoCad* para realizar os desenhos 2D dos componentes. Posteriormente, fez a impressão em tamanho real dos desenhos de forma a colá-los em folhas de papelão, com a finalidade de preparar um gabarito para facilitar a realização dos cortes para a montagem dos componentes. Vide Figura 10.



Figura 10 - Corte dos componentes no papelão

Fonte: Autor.

2.3. Coleta de Dados

No protótipo, como pode ser verificado na Figura 11, foi analisado se a velocidade do escoamento, a qual foi medida com o auxílio de anemômetro digital em várias partes do túnel, estava condizendo com os dados, podendo-se avaliar se houve pequenas diferenças nos valores teóricos para o real.

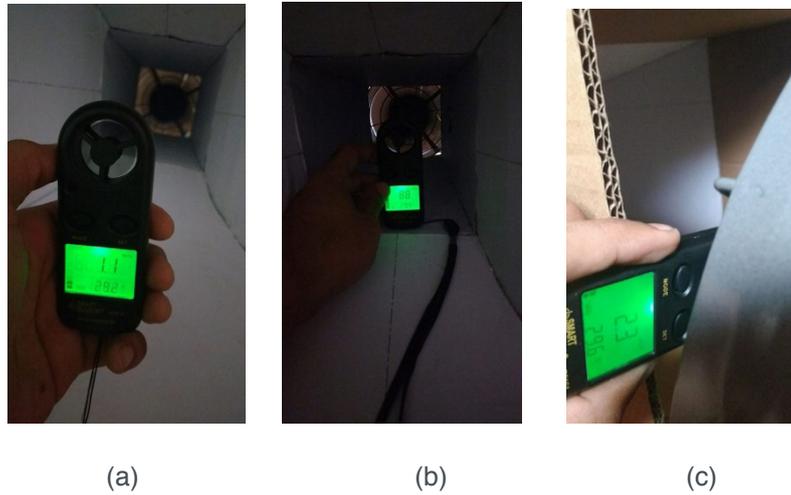


Figura 11 - Velocidade do escoamento (a) no bocal, (b) na seção de testes e (c) no final do difusor.

Fonte: Autor.

2.2. Construção do Protótipo Final

Com base na construção e nos bons testes do protótipo, partiu-se para a construção do mini túnel de vento final. Para isso, adotou-se os mesmos parâmetros e substituiu-se os materiais empregados de forma a dar maior resistência estrutural e melhor visualização dos escoamentos. Assim, os materiais empregados foram:

- 01 Folha de compensado de 4 mm;
- 01 placa de acrílico;
- Canudos;
- Uma tela de célula 7mm e diâmetro 0,7 mm;
- 2 dobradiças;
- Máquina de fumaça e exaustor;
- Cano;
- Alfinetes e tachinhas.

Utilizou-se as mesmas dimensões projetadas para o protótipo, aproveitando-se os desenhos 2D para realizar os cortes das peças na máquina a laser para posterior montagem, utilizando a folha de compensado e a placa de acrílico na seção de testes para que fosse possível a verificação dos ensaios. Para o projeto final, adicionou-se mais uma peça de vedação do fim do túnel, de forma que esta proporcionasse a velocidade desejada na seção de testes, diminuindo o erro encontrado no protótipo.

A colmeia foi confeccionada com canudos colados em fileiras como pode ser visto na Figura 12.



Figura 4 - Confeção colmeia de canudos.

Fonte: Autor.

Para a visualização do escoamento, utilizou-se uma máquina de fumaça modelo F -1000 EPP de 750 W, a qual é capaz de gerar a fumaça necessária para a visualização do escoamento. Porém, adaptou-se uma tubulação para canalizar a fumaça e proporcionar que a mesma chegue o mais uniforme possível na seção de testes, conforme Figura 13. Para melhorar a visualização também, utilizou-se um papel de cor preta para forrar a parede da seção de testes.



Figura 13 – Máquina de fumaça adaptada.

Fonte: Autor

Assim como no protótipo, confeccionou-se o mini túnel de vento final, seguindo os passos adotados no projeto.

Com a finalidade de flexibilizar as análises e modelagem de testes no mini túnel de vento, implementou-se um *Dimmer* de forma a variar a velocidade do ventilador e obter a visualização dos escoamentos para diferentes experimentos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise Computacional

Com a modelagem 3D realizou-se simulações de escoamento através da extensão *FlowSimulation* do *SolidWorks*, sendo possível verificar as linhas de escoamento assim como vorticidade, velocidades e pressão em diferentes trechos do túnel de vento projetado. Vide Figura 14, Figura 15 e Figura 16.

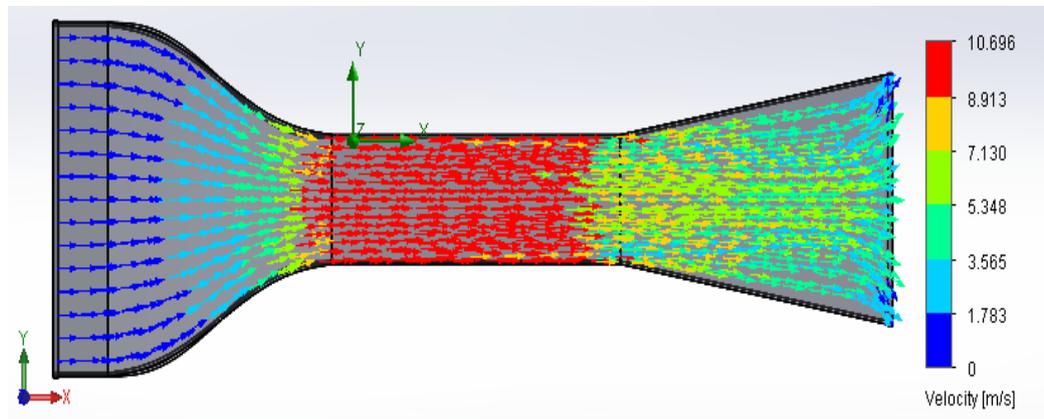


Figura 14 - Velocidade e linhas de escoamento.

Fonte: Autor

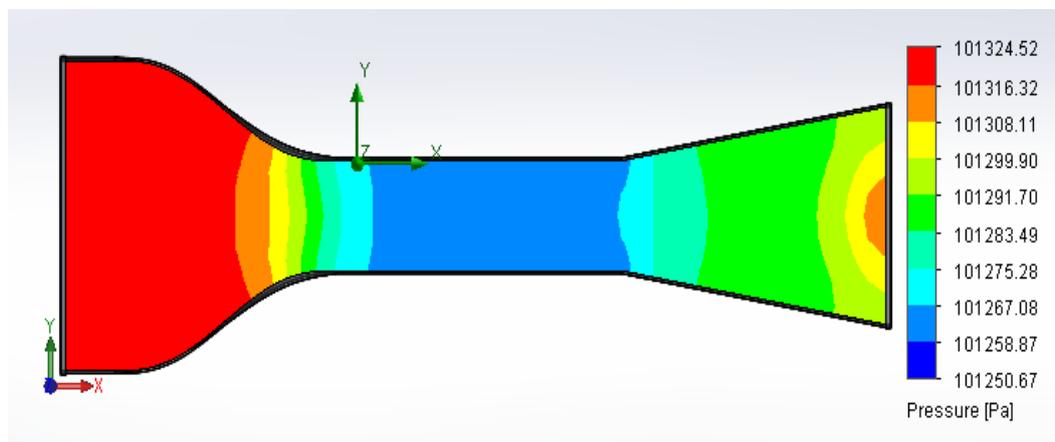


Figura 15 – Análise da pressão no túnel de vento.

Fonte: Autor

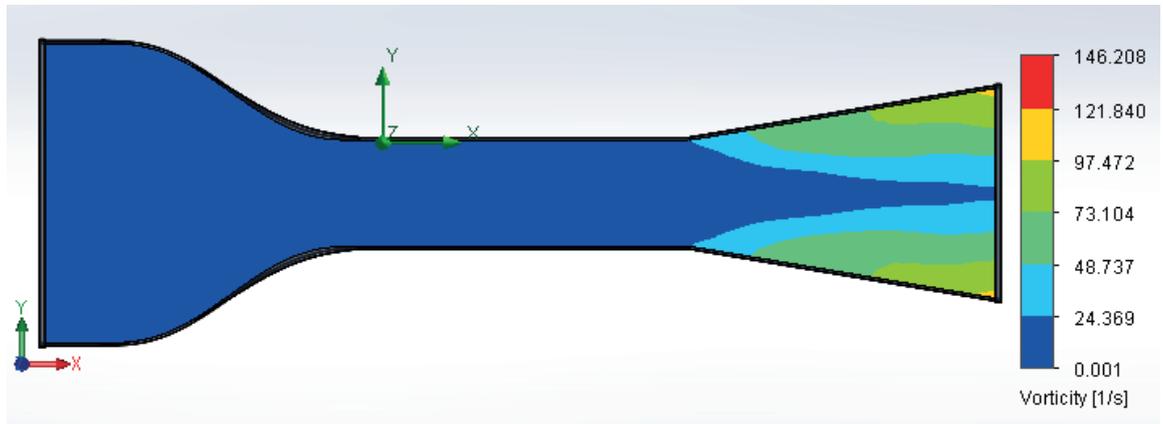


Figura 16 – Análise de vorticidade

Fonte: Autor

Pôde-se verificar que o fluxo mostrou bom comportamento segundo a simulação, mostrando que as velocidades desejadas são atendidas, além de possui uma boa distribuição de escoamento. Verificou-se também que houve vorticidade praticamente nula na seção de testes, mostrando que o dimensionamento atendeu aos requisitos de garantir que o ar chegue o mais uniforme possível nos corpos de prova segundo a simulação.

3.2. Análise de Velocidades e Construção dos Protótipos

Com o protótipo inicial construído (Figura 17), coletaram-se os dados nos pontos indicados na figura abaixo e realizou-se a comparação entre os valores calculados e os medidos com auxílio do anemômetro digital. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 1.



Figura 17 – Protótipo inicial construído.

Fonte: Autor

SEÇÃO	VELOCIDADE (m/s)		ERRO (%)
	Teórico	Medido	
Bocal (início)	1,25	1,1	12
Seção de testes	10	8,8	12
Difusor (fim)	2,5	2,3	8

Tabela 1 – Comparação entre dados coletados e medidos.

Fonte: Autor

Através dos dados tabelados foi possível averiguar que houve uma considerável diferença percentual de velocidade dentro da seção de testes, fazendo com que o protótipo inicial não chegasse à sua meta.

Um dos motivos dos erros percentuais da medição da velocidade deve-se ao material empregado na confecção, já que o papelão possui muitas imperfeições e devido ao método de confecção com cola instantânea impossibilitou um vedamento mais eficaz do equipamento, além de apresentar maiores rugosidades na superfície, devido ao dobramento deste material. Por isso, para o projeto final utilizou-se chapa de compensado, de forma a eliminar essas imperfeições e agregar maior rigidez ao projeto, mas colocando em evidência ainda o baixo custo, a facilidade construtiva e garantida um peso relativamente baixo. Além disso, realizou-se o vedamento no final do túnel, na seção do ventilador, já que esta é quadrada e o ventilador possui formato circular. Vide Figura 18.



Figura 18 – Vedação na parte final do túnel de vento.

Fonte: Autor.

Com a análise das melhorias a serem feitas para o protótipo final, realizou-se a construção mini túnel de vento. Vide Figura 19 e Figura 20.



Figura 19 - Mini Túnel de Vento construído.

Fonte: Autor.



Figura 20 - Detalhes máquina de fumaça e câmara de estabilização.

Fonte: Autor.

Com o túnel de vento pronto, novamente aferiu-se a velocidade na seção de testes e foi encontrado o valor de 10 m/s, anulando o erro encontrado no protótipo em relação aos parâmetros de projeto, conforme Figura 21.



Figura 21 - Aferição da velocidade na seção de testes.

Fonte: Autor.

3.3 Análises de Escoamentos

Posteriormente iniciaram-se os testes com os corpos de prova. Como forma de comparar e validar os resultados obtidos realizou-se, por meio do *Flow Simulation*, a simulação de escoamentos dentro da seção de testes com alguns corpos de prova os quais foram escolhidos um bloco, uma esfera e o conjunto bloco-esfera. As comparações podem ser vistas na Figura 22, Figura 23 e Figura 24, sendo possível verificar que o túnel de vento construído conseguiu reproduzir experimentalmente as análises computacionais.

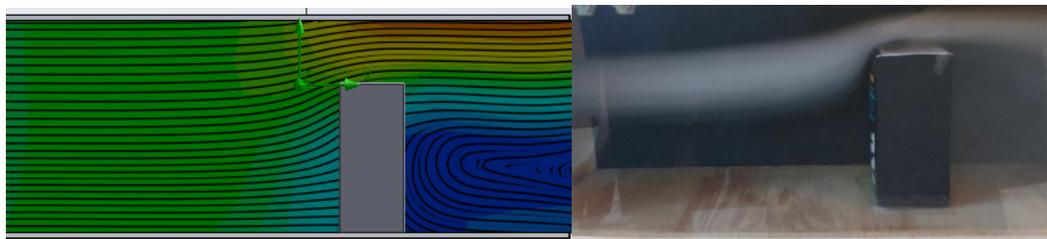


Figura 22 – Comparação da análise computacional e experimental do escoamento no bloco.

Fonte: Autor.

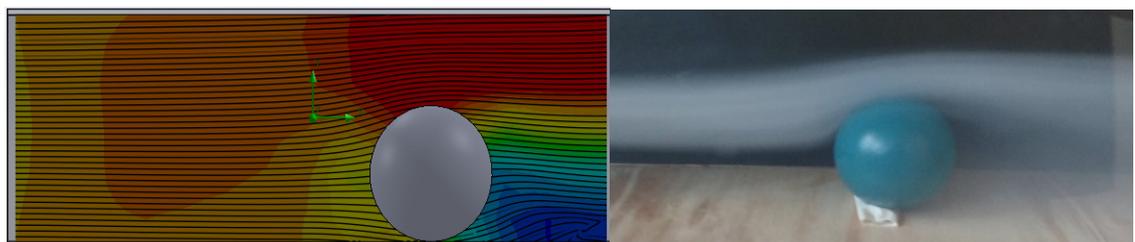


Figura 23 – Comparação da análise computacional e experimental do escoamento na esfera.

Fonte: Autor.

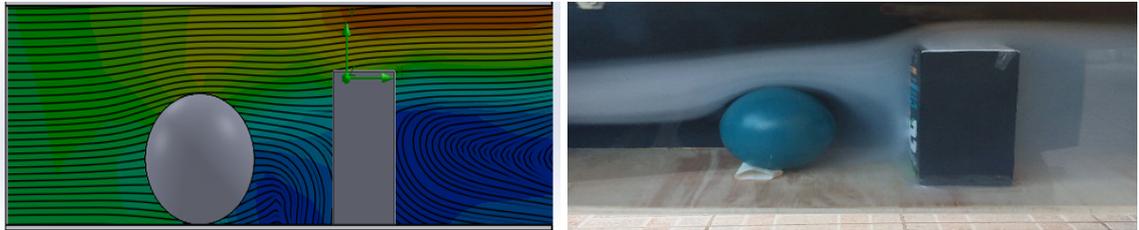


Figura 24 – Comparação da análise computacional e experimental do conjunto.

Fonte: Autor.

Realizou-se também a visualização das linhas de escoamento para efeito de comparação em um carro de brinquedo com e sem um objeto em cima do mesmo, onde verificou-se o deslocamento das linhas e aumento de vórtices, conforme Figura 25 e Figura 26.



Figura 25 – Visualização de escoamento em um carro de brinquedo.

Fonte: Autor.

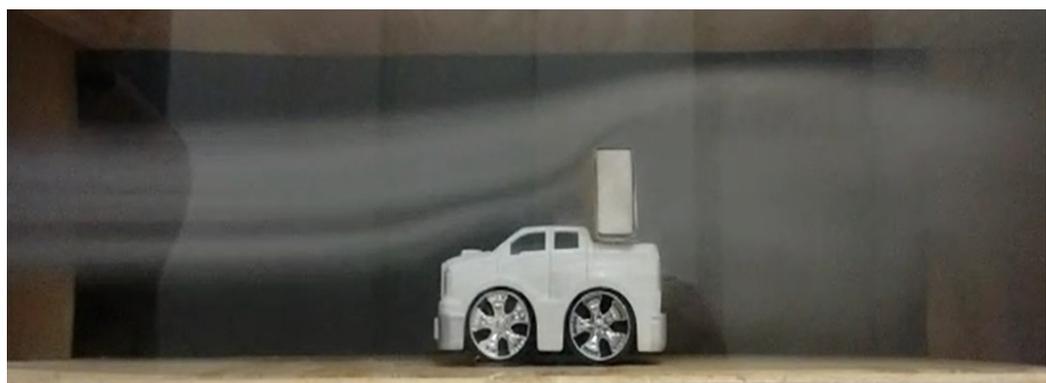


Figura 26 - Visualização de escoamento em um carro de brinquedo com objeto em cima.

Fonte: Autor.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da revisão bibliográfica para atualização do estado da arte e seguindo o

cronograma proposto, foi possível realizar o que foi traçado pela proposta do estudo.

Com os parâmetros definidos, realizou-se de forma satisfatória o dimensionamento e a modelagem do protótipo do túnel de vento, aliando ideias às recomendações. Assim, resultou posteriormente na construção de um túnel de vento com materiais leves e baratos para a verificação do processo construtivo e comportamento do dispositivo, analisando a velocidade dentro da seção de testes e analisando possíveis melhorias para etapa final.

De posse dos resultados do protótipo, construiu-se o projeto final mostrando-se fiel ao que foi planejamento, sendo possível realizar ensaios didáticos como os que foram realizados, de forma dinamizar mais o aprendizado desta área, com análises de objetos e corpos de prova.

Desta forma, o Mini Túnel de Vento projetado, construído e testado servirá como mais uma ferramenta didática para os alunos de graduação que realizam estudos na área de Mecânica dos Fluidos na Universidade Estadual do Maranhão.

Como sugestão para trabalhos futuros e possíveis melhorias para o equipamento, propõe-se a implantação de um sistema de medição de forças de arrasto e sustentação dos corpos de prova, além de um sistema integrado de instrumentação e acionamento capaz de regular a velocidade, fumaça, indicador de temperaturas e pressão dentro da seção de testes.

5 | AUTORIZAÇÕES/RECONHECIMENTO

Ao submeter o trabalho, os autores tornam-se responsáveis por todo o conteúdo da obra.

REFERÊNCIAS

- BARLOW, J. B.; RAE, W. H.; HOPE, A. **Low-Speed Wind Tunnel Testing**. 3. ed. Nova York: Wiley, 1999.
- BELL, J. H.; MEHTA, R. D. **Contraction Design For Small Low-Speed Wind Tunnels**. Stanford. 1988. (JIAA-TR-84).
- BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das Construções**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2011.
- COUTINHO, F. R. **Projeto de um Túnel de Vento Subsônico do Tipo Soprador**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.
- ECKERT, W. T.; MORT, K. W.; JOPE, J. **Aerodynamic Design Guidelines and**. National Aeronautics and Space Administration: Washington, 1976.
- GORECKI, J. P. **Túneis Aerodinâmicos: passado, presente e futuro**. Águas de Lindóia: [s.n.], 1988.
- ISMAIL, K. A. R.; LINO, F. A. M. Aerodinâmica Experimental. In: ISMAIL, K. A. R. **Aerodinâmica Experimental**. Campinas: do Autor, v. I, 2010. Cap. 2, p. 59-95.
- MEHTA, R. D. **The Aerodynamic Design of Blower Tunnels with Wide-Angle Diffusers**. Aerospace Sci. Londres, p. 59-120. 1977.
- MEHTA, R. D.; BRADSHAW, P. **Design Rules for Small Low Speed Wind Tunnels** , November 1979. 443-449.
- MIGUEZ, M. F. **Estudo em CFD do Escoamento de Líquido e**. Agência Nacional de Petróleo. Rio de Janeiro, p. 66. 2008.
- MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos de Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
- SOETHE, L. V.; SOUZA, L. F. S.; DEYNA, A. Projeto e Construção de um Túnel de Vento Didático. **XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, Blumenau , 2011.
- VICENSI, A. **Dimensionamento de um Túnel de Vento Subsônico**. Panambi: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2014.
- WATTENDORF, F. L. **Factors Influencing the Energy Ratio of Return Flow Wind Tunnels**. 5th International Congress for Applied Mechanics. Cambridge. 1938.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Franciele Bonatto Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação e mestrado em engenharia de produção pela UTFPR e doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela mesma universidade. Trabalha com os temas: gestão da qualidade, planejamento e controle da produção e cadeia de suprimentos.

Henrique Ajuz Holzmann Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-76-5



9 788585 107765