

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DIDÁTICO

Viviane Lillian Soethe – vivianes@joinville.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Engenharia da Mobilidade (CEM)
Rua Paulo Malschitzki, nº 10
CEP – 89219-710
Joinville, Santa Catarina

Luiz Fernando dos Santos Souza – luiz03fernando11@hotmail.com
Rua Paulo Malschitzki, nº 10
CEP – 89219-710
Joinville, Santa Catarina

Arthur Deyna – arthurdeyna@gmail.com
Rua Paulo Malschitzki, nº 10
CEP – 89219-710
Joinville, Santa Catarina

Resumo: *Tendo em vista que o aprendizado ocorre de forma mais eficiente quando teoria e prática andam juntas, para a compreensão de determinados fenômenos e conceitos físicos relacionados principalmente a área de aerodinâmica, desenvolveu-se um trabalho com o objetivo de projetar e construir um túnel de vento de pequeno porte, de carácter didático, capaz de auxiliar algumas atividades relacionadas a ensino, pesquisa e extensão, do curso de Engenharia da Mobilidade da Universidade Federal de Santa Catarina.*

Palavras-chave: *Túnel de vento, Aerodinâmica, Ensino, Pesquisa*

1 INTRODUÇÃO

O túnel de vento é um dispositivo amplamente utilizado para o estudo do comportamento de fluídos deslocando-se sobre objetos com variadas formas, apresentando-se como uma ferramenta essencial para a compreensão de fenômenos relacionados com a área de aerodinâmica. Sendo assim, possibilita que, na prática, fenômenos como escoamento, presença de vórtices, forças, como por exemplo, de sustentação e arrasto possam ser visualizadas e medidas, auxiliando a construção de protótipos e modelos de estruturas sujeitas a ação de fluidos como ar ou água, equipamentos estes desenvolvidos e estudados na área da engenharia da mobilidade.

A aerodinâmica é uma área que, atualmente, enfrenta escassez de mão de obra qualificada, já apontando para a necessidade de investimentos em formação de pessoal capacitado, que possam dar prosseguimento aos trabalhos relativos aos temas em centros de pesquisa e ensino no país. Relatos de engenheiros que atuam nesta área, em renomados centros de pesquisa do país, como o Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA) e o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), indicam que se não houver investimento na formação de profissionais voltados para esta área de trabalho, tornar-se-á inviável a continuidade de estudos nesta linha, sendo este um grave problema para o desenvolvimento da pesquisa e

consequentemente avanços tecnológicos na área de engenharia aeronáutica, naval, automobilística entre outros.

O presente trabalho visa auxiliar, estudantes do curso de Engenharia da Mobilidade, a visualizarem e compreenderem os conceitos e processos envolvidos no desenvolvimento de um projeto e construção de um túnel de vento de pequeno porte, para uso didático, bem como durante sua utilização. O objetivo final do presente projeto é a formação de estudantes na área de aerodinâmica, que sejam capazes de desenvolver suas habilidades e conhecimentos a fim de serem inseridos, futuramente, nesta área de trabalho, atualmente carente de formação de novos profissionais. O equipamento tem como foco principal, auxiliar disciplinas que possam se prevalecer de seu uso para a apresentação de alguns conceitos na prática, bem como auxiliar, mesmo que em pequena escala, projetos de pesquisas e de extensão já desenvolvidos na universidade, contribuindo de forma integrada para o desenvolvimento dos estudantes, estimulando-os à especialização nesta promissora linha de trabalho.

2 HISTÓRICO

O túnel de vento é um dispositivo utilizado para o estudo aerodinâmico de objetos frequentemente empregados e desenvolvidos na engenharia. Com este tipo de equipamento é possível avaliar a forma como um fluido, em geral, o vento, atua ao passar por determinadas superfícies. As forças produzidas em um dado objeto, devido à atuação de correntes de ar dependem basicamente de aspectos meteorológicos, relacionados com a velocidade e direção do vento, por exemplo, e aspectos aerodinâmicos.

Os primeiros experimentos realizados na tentativa de estudar os efeitos do ar sobre objetos envolvem o nome de Benjamin Robins (1707-1751) inventor de um braço giratório para determinação do arrasto sob estruturas em teste (RUMERMAN, 2009). A desvantagem deste tipo de sistema é a produção de um fluxo de ar não uniforme. A fim de minimizar este problema, em 1871, Francis Herbert Wenham inventou o primeiro túnel de vento de circuito fechado, possibilitando o entendimento de diversos fundamentos relacionados ao princípio de escoamento de fluidos (RUMERMAN, 2009). Com a chegada da Segunda Guerra mundial o interesse pelos túneis de vento cresceu, sendo que os EUA construíram o maior equipamento da época, sendo seguidos pelos alemães (GORLIN & SLEZINGER, 1964). No Brasil, a construção do primeiro túnel de vento data de 1977, em um grupo de pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PRAVIA & CORONETI, 2003). A partir daí, vários equipamentos deste tipo têm sido desenvolvidos nas universidades brasileiras, atendendo a empresas e facilitando o processo de ensino/aprendizagem em cursos de engenharia civil e mecânica, relacionados com o setor veicular, bem como alguns cursos relacionados com o setor de transporte, principalmente no que diz respeito à área de infraestrutura.

Os primeiros túneis de vento eram constituídos apenas de uma seção de testes quadrada e um ventilador que propiciava a circulação do ar em seu interior. As aeronaves desenvolvidas pelos irmãos Wright fizeram uso de um dispositivo neste formato para a avaliação de suas propriedades aerodinâmicas. Uma foto deste dispositivo pode ser observada na Figura 1. O desenvolvimento da ciência na área de mecânica dos fluidos, por exemplo, favoreceu um avanço na tecnologia de túneis de vento, possibilitando a avaliação de diversas propriedades aerodinâmicas de estruturas com as mais diferentes geometrias e complexidades.

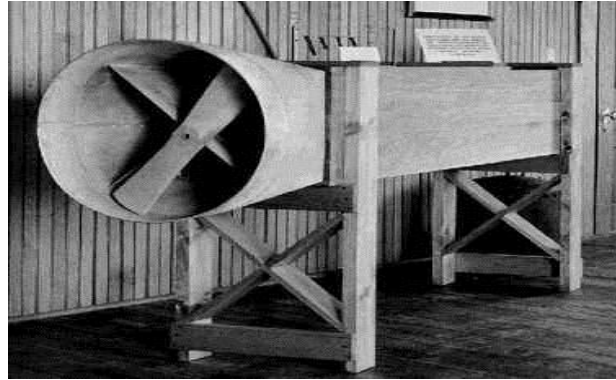


Figura 1 – Imagem ilustrativa do túnel de vento desenvolvido pelos irmãos Wright
(Retirado de: http://www.solarnavigator.net/inventors/wright_brothers_wind_tunnel.htm)

3 CONCEITOS E FUNCIONAMENTO BÁSICO

Existem vários modelos de túneis de vento, o mais simples é o túnel de vento sugador de circuito aberto, que é constituído basicamente de um bocal de entrada, a seção de testes, o difusor, uma balança para medição das forças atuantes e o sistema de sucção (motor e hélice). A maioria dos túneis de pequeno porte apresenta esta estrutura, possuindo um processo construtivo simplificado. Na Figura 2, é possível observar um desenho esquemático de um túnel de vento de circuito aberto.

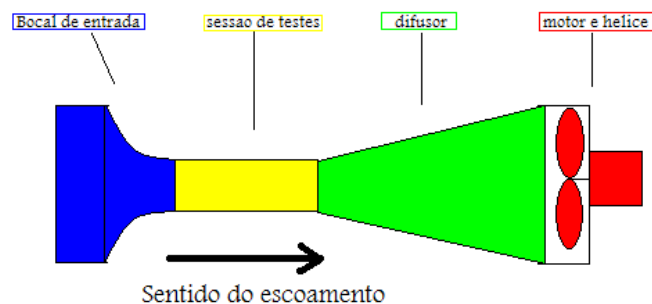


Figura 1 – Desenho esquemático de um túnel de vento do tipo aberto

Na configuração mostrada acima (Figura 2) o ar esco da esquerda para a direita, estando apenas apresentados na ilustração os componentes básicos construtivos. Na sequencia é feita uma breve descrição destes componentes.

O bocal de entrada tem a função de acelerar o ar que passa por ele promovendo o aumento da velocidade deste fluído na seção de testes, isto ocorre pela diferença de área na entrada e na saída. Este aumento de velocidade pode ser descrito matematicamente em termos do princípio da conservação da massa, como apresentado na Equação (1) (W.FOX *et AL.*, 2006).

$$m_1 v_1 A_1 = m_2 v_2 A_2 \quad (1)$$

A seção de testes é o local onde o modelo a ser avaliado é alocado, sendo uma estrutura de confecção simplificada. Neste ambiente, é necessário que a velocidade do ar seja constante possibilitando uma análise visual do modelo. Além disso, deve apresentar uma estrutura capaz de suportar o modelo e os equipamentos de medição, proporcionando a menor interferência possível sobre os testes. A Figura 3 apresenta uma imagem relativa a sessão de testes do primeiro protótipo de túnel de vento desenvolvido no presente projeto.

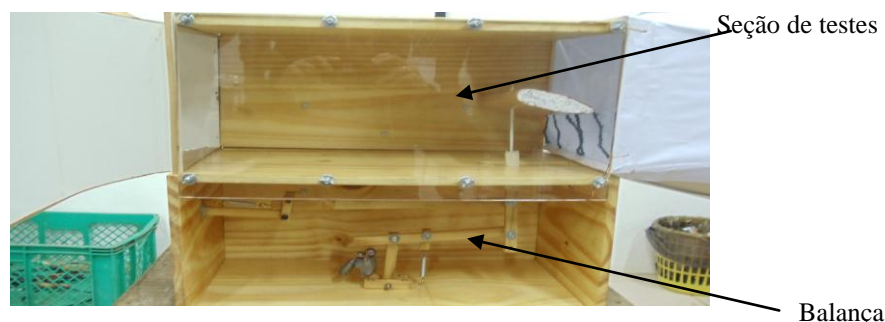


Figura 2 – Seção de testes do protótipo desenvolvido no projeto

Para realizar um teste em um túnel de vento é preciso que o mesmo possua instrumentos que sejam capazes de obter dados das forças e momentos aerodinâmicos. A balança aerodinâmica é um dispositivo responsável por informar quais são os esforços aerodinâmicos que estão atuando no modelo. Esse instrumento fica localizado na seção de testes. A Figura 3 também ilustra o modelo de uma balança simplificada utilizada no protótipo, onde é possível visualizar a ação da força de sustentação e da força de arrasto.

O difusor é um equipamento empregado em túneis de vento com o intuito de promover uma desaceleração do ar que sai da seção de testes e é retornado à atmosfera. Túneis de vento cujas velocidades na seção de testes são elevadas, e do tipo sugador, devem contar com estes equipamentos. Outra função do difusor em um túnel de vento é promover a estabilização de sua pressão, ou seja, quando o ar passa pelo bocal de entrada e é acelerado, sua pressão é reduzida, como pode ser entendido avaliando-se a Equação (2) conhecida como equação de Bernoulli (W.FOX *et al.*, 2006):

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gh = Cte \quad (2)$$

Onde ρ é a densidade do fluido g a aceleração da gravidade e h a altura com relação a um dado referencial, P a pressão e V a velocidade no túnel de vento.

O sistema de sucção é composto na maioria dos casos de um motor e uma hélice. Esta parte é primordial para o efetivo funcionamento do túnel de vento, sendo um sistema que necessita de cuidadosa montagem, visando a minimização de possíveis vibrações que, em excesso, podem inviabilizar a execução do experimento.

4 TEORIA BÁSICA ENVOLVIDA

Em um túnel de vento há um grande interesse na avaliação do comportamento de um fluido quando o mesmo desloca-se sobre superfícies com geometrias variadas, bem como a forma como estas estruturas reagem à ação deste fluido sob uma dada velocidade. Basicamente, a maioria dos conceitos envolvidos em túneis de vento se relaciona com a área de mecânica dos fluidos, mais especificamente, com aerodinâmica, quando o fluido em questão é o ar.

O comportamento de um fluido pode ser descrito basicamente de duas formas distintas: escoamento laminar e escoamento turbulento, como apresentado nas Figuras 4(a) e 4(b), respectivamente. A compreensão das diferenças entre estes dois regimes de escoamento, bem como a capacidade de identificá-los na região de interesse, é fundamental para a correta realização de cálculos.

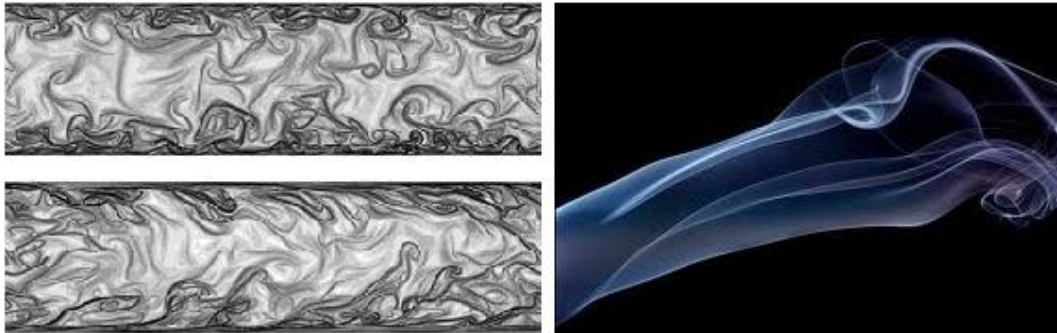


Figura 4 – Imagem ilustrativa de (a) escoamento laminar e (b) escoamento turbulento
(a) Retirado de:

http://omnis.if.ufrj.br/~ginette/cursos/fit122/2011_01/programa/fluidos/escoamento.html

b) Retirado de: <http://notasemcfd.blogspot.com/2011/02/turbulencia-atraves-de-imagens.html>

Um conceito muito importante, para a elaboração de túneis de vento, tem relação com a camada limite, que é uma região delgada adjacente à superfície do objeto onde os efeitos viscosos são importantes (W.FOX *et al.*, 2006). Em um túnel de vento é interessante que os testes sejam feitos em uma região externa à camada limite, ou seja, na região de corrente livre, sob velocidade constante, uma vez que dentro desta camada a velocidade poderá sofrer alterações. Sendo assim, o projeto de um túnel deve prever estas correções em sua geometria, se fazendo necessária a realização do cálculo da espessura de deslocamento da camada limite, dada pela Equação 3 (HOUGHTON & CARPENTER, 2003). Estes cálculos objetivam construir uma seção de testes com uma entrada menor que a saída, viabilizando um escoamento laminar de corrente livre, de forma homogênea em toda a área de testes (MEHTA & BRADSHAW, 1979).

$$\delta^* = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy \quad (3)$$

A Figura 5 apresenta uma representação esquemática, evidenciando a formação da camada limite em uma seção de testes, bem como a inclinação que deve ser considerada durante o projeto, nas paredes do túnel, com a finalidade de minimizar este efeito.

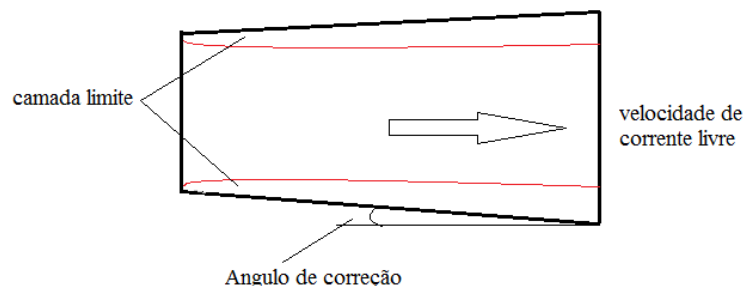


Figura 5 – Apresentação esquemática de uma sessão de testes em um túnel de vento evidenciando os efeitos da camada limite e a necessidade de inclinação das paredes

5 ANDAMENTO DO PROJETO

O presente trabalho objetivou, principalmente, promover nos estudantes de engenharia, o interesse pela busca de conhecimentos relacionados com o processo de construção de um

túnel de vento, visando, uma ampla formação dos mesmos, bem como a elaboração de um equipamento que possa vir a ser útil para o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão no curso de Engenharia de Mobilidade da UFSC. Inicialmente, foi realizada uma extensiva pesquisa bibliográfica, com a finalidade de dar embasamento teórico ao projeto, tendo em vista que os estudantes envolvidos no projeto, cursam, atualmente, as fases iniciais do curso de engenharia da mobilidade. Este estudo bibliográfico proporcionou aos estudantes o conhecimento dos principais conceitos relacionados aos ensaios em túnel de vento antes do início do projeto e construção do modelo real.

O conhecimento técnico dos estudantes foi obtido por meio de visitas e estágios de curta duração em laboratórios de ensino e pesquisa de instituições renomadas em utilização e projeto de túneis de vento. Foram feitas visitas técnicas no Laboratório Professor Feng, localizado no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), em São José dos Campos, São Paulo e na Universidade de Taubaté (UNITAU), no departamento de Engenharia Aeronáutica. Por meio destas visitas, os estudantes puderam visualizar túneis de vento de diferentes dimensões, bem como os sistemas de aquisição de dados dos mesmos, sendo esta atividade fundamental para o desenvolvimento do projeto. Durante estas visitas, os estudantes obtiveram informações significativas para o projeto do túnel de vento que está em fase de projeto no CEM/UFSC. Os requisitos necessários para a construção, fatores importantes a serem considerados durante o projeto, e formas de minimização de custos foram alguns dos itens discutidos durante as visitas.

O projeto do primeiro túnel de vento da equipe está sendo desenvolvido, sendo que alguns cálculos para a definição de parâmetros relacionados à construção já foram realizados, possibilitando, que algumas simulações, em programas computacionais adequados, tenham sido realizadas. A Figura 6 apresenta uma imagem relativa à simulação do túnel de vento a ser construído no CEM. Tal túnel terá uma sessão de testes de 20 x 20 cm, contando inicialmente com um sistema de aquisição de dados baseado em extensômetros.

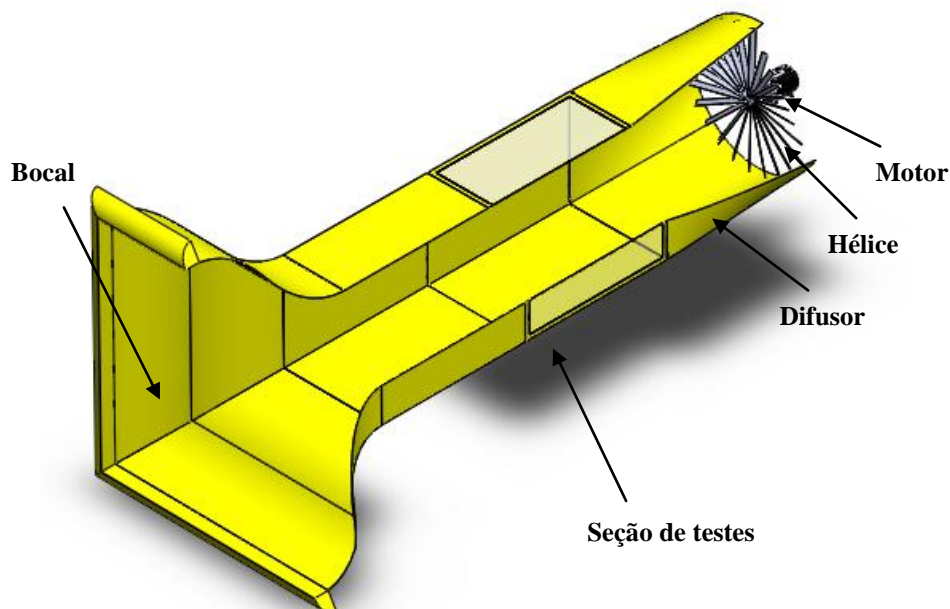


Figura 6 – Imagem relativa a uma simulação do túnel de vento a ser construído no CEM

Um primeiro protótipo do túnel foi confeccionado, sendo do tipo sugador. O mesmo foi posicionado sobre uma balança composta de molas, confeccionada em madeira, sendo estas molas, capazes de demonstrar, por meio de observação puramente visual, e pela sua deformação, parâmetros aerodinâmicos como arrasto e sustentação. Neste primeiro protótipo

foi utilizado um motor com a potência de 1,5Hp, com uma hélice de 37cm de diâmetro. O comprimento final do túnel de vento confeccionado foi de aproximadamente 1,5 metros.

Além disso, foi utilizado um inversor de frequência acoplado ao sistema, a fim de promover uma variação na velocidade do vento, que, na seção de teste, chegou até 5m/s. Para a realização dos primeiros testes, foi utilizado um modelo do tipo perfil de asa, com dimensões de aproximadamente 20cm de comprimento, posicionado sobre uma haste ligada a balança e com grau de liberdade suficiente para se locomover nas direções vertical e horizontal, quando da passagem do vento. Sobre este perfil, foram colados pequenos pedaços de fios de lã, de forma a promover uma melhor visualização do perfil aerodinâmico sobre o modelo, bem como a presença de possíveis vórtices. A Figura 7 apresenta uma foto relativa ao primeiro protótipo do túnel de vento confeccionado no CEM, juntamente com a balança mecânica acoplada a ele.

Durante o processo de construção, pôde-se verificar vários fatores que devem ser levados em consideração, tanto no projeto, quanto no processo construtivo. Inúmeras variáveis podem alterar o comportamento do ar dentro da região próxima ao modelo, bem como a forma do escoamento, interferindo, significativamente, nos resultados obtidos com os ensaios.

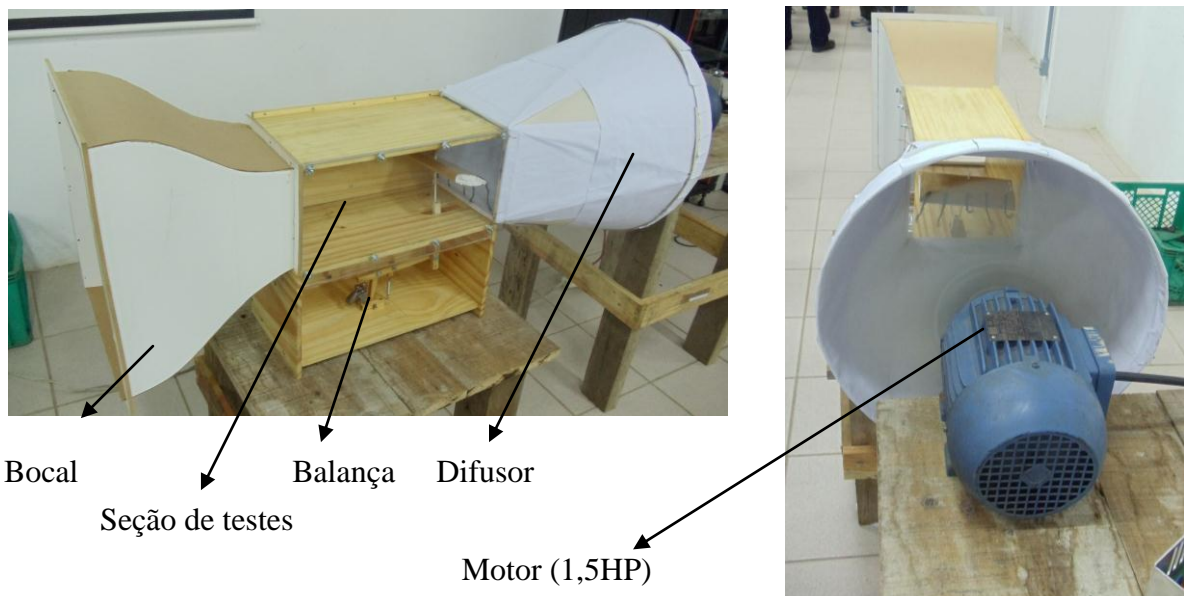


Figura 7 – Fotos do primeiro protótipo de túnel de vento confeccionado no CEM

Cabe ressaltar que, com a construção deste primeiro protótipo, pode-se ter uma noção das dificuldades que surgirão no projeto, bem como, das modificações já necessárias a serem executadas no projeto original. De qualquer forma, a construção do primeiro protótipo promoveu uma maior motivação nos estudantes para a continuação do trabalho, além de mostrar a necessidade da compreensão de propriedades relacionadas com a área de aerodinâmica e a vasta aplicabilidade destes conceitos, bem como da utilização de equipamentos deste tipo dentro da engenharia da mobilidade. Sendo assim, pode-se afirmar que, em um primeiro momento, foi alcançado o objetivo inicial do presente trabalho. Além disso, é importante enfatizar que, o túnel de vento projetado, que será confeccionado considerando os primeiros resultados obtidos com este protótipo visam auxiliar, além das atividades de ensino, àquelas voltadas as atividades de extensão, principalmente as relacionadas com as competições organizadas pela SAE, tais como Aerodesign, Baja, Fórmula SAE e Barco Solar, todos projetos relacionados com ensino e aperfeiçoamento de futuros engenheiros. Sendo assim, o projeto final será tal que possibilite o uso deste

equipamento para a avaliação aerodinâmica de diferentes estruturas, sob a forma de modelos, atendendo de forma significativa os projetos citados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que com o trabalho realizado, obteve-se êxito no principal objetivo do mesmo: a formação e motivação de estudantes do curso de Engenharia da Mobilidade, no que diz respeito a pesquisas e trabalhos relacionados com a área de aerodinâmica. O primeiro protótipo do túnel confeccionado apresentou resultados promissores, indicando, aos estudantes, os caminhos a serem tomados para o desenvolvimento do projeto final, com a posterior confecção de um equipamento capaz de auxiliar os projetos de ensino, pesquisa e extensão do Centro. Sendo assim, por meio da realização deste trabalho, verificou-se a viabilidade da construção de um equipamento de maior porte.

Agradecimentos

A equipe agradece, grandemente, os profissionais que auxiliaram o projeto até esta etapa, sendo eles prof. Dr. Roberto da Mota Girardi, chefe do departamento de Aerodinâmica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica; Msc. Daniel Amado Muraro, engenheiro do Laboratório Professor Feng e ao prof. Dr. Evandro Luís Nohara, do departamento de Engenharia Mecânica e aeronáutica da Universidade de Taubaté. Além disso, a equipe agradece o apoio e as pertinentes discussões realizadas com os estudantes envolvidos na confecção da balança do túnel de vento utilizada no protótipo: Bruno Backes, Eduarda Rosecler Busnardo, Fernando Rodrigues Demboski, Herlon de Faveri Linenburg, Hugo Borges de Quadros, Jorge Henrique Scharf Dircksen, Matheus Cardoso Pires e Patrício Enrique Bejar Rejas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GORLIN, S.M; SLEZINGER, I. I. **Wind tunnels and their instrumentation**. Moskva, 1964.
- HOUGHTON, E.I.; CARPENTER, P.w..**Aerodynamics For Engineering Students**. 5. ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2003.
- MEHTA, R. D; BRADSHAW, P. **Design rules for small low speed wind tunnels**. The Aeronautical journal of the royal aeronautical society, NOVEMBER 1979.
- PRAVIA, Zacarias Martin C.; CORONETI, Leandro. **Um protótipo de um mini túnel de vento (MTV) para ensino de graduação**. Laboratório de Ensaios em Sistemas Estruturais (LESE), Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo.
- RUMERMAN, Judy. **The first wind tunnels**. Disponível em: <http://www.centennialofflight.gov/essay/Evolution_of_Technology/first_wind_tunnels/Tech34.htm> Acesso em: 01 jul. 2011.
- W.FOX, Robert; T.MCDONALD, Alan; PRITCHARD, Philip J.. **INTRODUÇÃO À MECÂNICA DOS FLUÍDOS**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 2006.

DESIGN AND BUILD A WIND TUNNEL FOR TEACHING

Abstract: *Given that learning occurs most efficiently when theory and practice go together, for the understanding of certain physical phenomena and concepts primarily related to the area of aerodynamics, was developed a study aiming to design and build a small wind tunnel, able to help some activities related to teaching, research and extension, of the course of Mobility Engineering, in Federal University of Santa Catarina.*

Key-words: *Wind tunnel, Aerodynamic, Teaching, Search*