



TUNEL DE VENTO DE BAIXO CUSTO PARA ATIVIDADES ACADÊMICAS DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Jairo Wilson Souza da Silva – jairo.wilson@yahoo.com.br

Hudson Rhomer da Silva Costa – hud.eng.mec@gmail.com

Elias Simão Assayag – elias_assayag@yahoo.com.br

Universidade Federal do Amazonas, Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas.

Endereço Av. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000 – Faculdade de Tecnologia – Setor Norte do Campus Universitário – Brasil

CEP.:69077-000 – Manaus – AM

***Resumo:** A aerodinâmica estuda o comportamento dos sólidos submetidos a interação com o fluxo de ar, considerando às suas propriedades, características, e forças exercidas em contornos nele imersos. Em geral, na engenharia essa tecnologia é de fundamental importância para ensaios e testes, sendo empregada em larga escala. Os projetos ensaiados se tornam mais seguros, confiáveis, eficazes e com menor custo. Muitas vezes o preço de um túnel de vento não permite o uso desse equipamento em aulas práticas. Com o intuito de enfrentar esse problema, no curso de engenharia mecânica da Universidade Federal do Amazonas foi desenvolvido o projeto de um equipamento didático de baixo custo e fácil construção. O equipamento foi desenvolvido por meio de um projeto de iniciação científica e se mostrou eficaz para demonstrar o comportamento do vento sobre as formas geométricas. Em uma próxima etapa, o equipamento poderá ser melhorado, podendo determinar os padrões de fluxo e medir os coeficientes aerodinâmicos.*

***Palavras-chave:** Túnel de vento, Aerodinâmica, Mecânica dos fluidos*

1. INTRODUÇÃO

A aerodinâmica estuda como os corpos se comportam interagindo com os fluidos, levando-se em consideração as suas propriedades, características, e forças exercidas em contornos nele imersos.

Com a necessidade de melhorar o desempenho de aviões e carros no início do século XX, no período entre guerras, o estudo da aerodinâmica ganhou grande importância. A intenção de tal estudo era obter o menor atrito possível com o ar, proporcionando altas velocidades e menor consumo de combustível (MATOS *et al.*, 2008). Na engenharia em geral, tal tecnologia tem sido largamente empregada objetivando à maior segurança, confiabilidade e eficiência dos projetos e a redução de



custos. Hoje há uma ligação direta entre túneis de vento e projetos de aeronaves, navios, carros, antenas, pontes, silos, prédios e outros.

Segundo Carril (1995), os primeiros experimentos realizados mostraram que os esforços devido a um escoamento de ar sobre um objeto é função da velocidade relativa entre eles. Assim, não importa se o objeto estudado se move no ar ou se um fluxo de ar escoou sobre o objeto, ou ambos.

No início dos estudos eram utilizados escoamento de ar (ventos naturais), mas a falta de controle dos parâmetros do escoamento levou ao desenvolvimento de um equipamento capaz de gerar ventos (escoamento de ar) em situações controladas, levando então ao surgimento do túnel de vento. Blessmann (1990), em seu trabalho sobre aerodinâmica das construções, afirma que o túnel desenvolvido por Francis Herbert Wenham em 1871 foi provavelmente o primeiro túnel de vento construído.

Túnel de vento é uma ferramenta de pesquisa que tem por objetivo simular e estudar o efeito do ar sobre ou ao redor de objetos sólido. É muito utilizado em estudos experimentais da mecânica dos fluidos nos seus aspectos qualitativos e quantitativos.

Os túneis de vento apresentam diversas configurações para diferentes propósitos. Alguns têm dimensões que permitem testar aviões em tamanho real, outros podem apenas testar modelos em escala reduzida. Em alguns casos, são estipuladas temperaturas muito baixas a fim de simular condições como as de grande altitude e em outros, a temperatura é muito elevada para simular condições suportadas por um míssil em pleno voo.

Um túnel de vento de camada limite é capaz de resolver problemas associados aos efeitos estáticos e dinâmicos do vento em edificações, tais como o prognóstico de pressões, tensões, deformações, cargas nas fundações, deslocamentos e vibrações, influência de detalhes arquitetônicos, entre outros (LOREDO-SOUZA *et al.*, 2012).

Um túnel de vento é fundamental as aulas práticas de aerodinâmica no curso de graduação de engenharia mecânica e importante para outros cursos que oferecem disciplinas na área de mecânica dos fluidos ou fenômenos de transporte. O preço de um equipamento desses para fins didáticos é da ordem de R\$100.000,00 ou mais. Em muitas escolas de engenharia esse custo é considerado alto, e por isso o equipamento não é utilizado nas aulas. Esse foi o caso do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal do Amazonas, onde um grupo de alunos orientados por um professor resolveu enfrentar o problema.

Nesse sentido, por meio de um projeto de iniciação científica aprovado no Edital PIBIC 2012/2, foi desenvolvido um protótipo de túnel de vento para fins didáticos, com o custo girando em torno de R\$200,00. Valor usado para a compra de parafusos, pregos, cola para madeira, mangueiras, adaptações, líquido para máquina de fumaça etc; A base da bancada e as principais partes de madeira utilizada foram reutilizados de móveis não mais usados na universidade.

2. OBJETIVOS

Apresentar o equipamento, túnel de vento desenvolvido pela equipe de professores e estudantes do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal do Amazonas, que possibilita expor em aulas práticas, diversos fenômenos aerodinâmicos



que ocorrem em escoamento subsônico, além da visualização do escoamento sobre superfícies de diferentes formas, levantamento do perfil de velocidades do escoamento entre outros, e apresenta a grande vantagem ser de baixo custo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Escoamento

Uma definição para escoamento é movimento de fluidos. Dessa forma cabe à mecânica dos fluidos analisar todos os possíveis tipos de escoamentos e classificá-los de acordo com as suas características particulares.

Se num campo de escoamento várias partículas fluidas adjacentes forem marcadas num dado instante, formarão uma linha no fluido naquele instante (FOX et al., 2006). Observações subsequentes da linha podem fornecer informações a respeito do campo de escoamento e comportamento do fluido.

Segundo Fox et al. (2006) uma trajetória é o caminho traçado por uma partícula fluida em movimento. Para torná-la visível deve-se identificar uma partícula fluida num dado instante, por exemplo, pelo emprego de um corante ou fumaça e em seguida tirar fotografias de exposição prolongada do seu movimento subsequente. A linha traçada pela partícula é uma trajetória.

Por outro lado pode-se preferir concentrar atenção num local fixo do espaço e identificar novamente pelo emprego de corante ou fumaça todas as partículas fluidas passando por aquele ponto. De acordo com Fox et al., (2006), após um curto período de tempo ter-se-ia um número de partículas fluidas identificáveis no escoamento, sendo que todas elas em algum momento passaram pelo mesmo local fixo no espaço.

No escoamento permanente, a velocidade em cada ponto do campo permanece constante com o tempo e as linhas de corrente não variam de um instante a outro (FOX et al., 2006). Entretanto existe também o escoamento transiente que se apresenta como sendo o oposto do escoamento permanente, já que suas linhas de corrente variam com o decorrer do tempo.

Um escoamento laminar é aquele no qual as partículas fluidas movem-se em camadas lisas, ou lâminas; já um escoamento turbulento é aquele no qual as partículas fluidas rapidamente se misturam, enquanto se movimentam ao longo do escoamento, devido a flutuações aleatórias no campo tridimensional de velocidades (FOX et al., 2006).

Segundo Fox et al. (2006) escoamentos completamente envoltos por superfícies sólidas são chamados escoamentos internos ou em dutos. Escoamentos sobre corpos imersos num fluido não contido são denominados escoamentos externos. Tanto os escoamentos internos quanto os externos podem ser laminares ou turbulentos.

3.2. Número de Reynolds

As forças encontradas nos fluidos em escoamento incluem as de inércia, viscosidade, pressão, gravidade, tensão superficial e compressibilidade. A razão entre duas forças quaisquer será adimensional, gerando assim alguns grupos adimensionais muito utilizados, de forma que o entendimento do significado físico de tais grupos aumenta a percepção dos fenômenos estudados.



Na década de 1880, Osborne Reynolds, engenheiro britânico, estudou a transição entre os regimes laminar e turbulento em um tubo. Ele descobriu que o parâmetro (que mais tarde recebeu seu nome) é um critério pelo qual o regime do escoamento pode ser determinado. Experiências posteriores têm mostrado que o número de Reynolds é um parâmetro chave também para outros casos de escoamento (FOX et al., 2006). O número de Reynolds é demonstrado pela “Equação (1)”:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (1)$$

Onde L é um comprimento característico descritivo da geometria do campo de escoamento, ρ é a densidade do fluido, ν é a viscosidade absoluta do fluido, μ é a viscosidade cinemática do fluido, V a velocidade do fluido.

O número de Reynolds é a razão entre forças de inércia e viscosas. Escoamentos com grande número de Reynolds (superior a 2300) são em geral turbulentos, enquanto escoamentos com pequeno número de Reynolds (menor que 2300) são geralmente laminares. Vale lembrar que existe um caso especial onde para escoamentos compressíveis, com suas condições de temperatura e pressão controladas, pode-se chegar a um escoamento laminar com o número de Reynolds até 10000.

3.3. Força de arrasto

O arrasto é a componente da força sobre um corpo que atua paralelamente à direção do movimento relativo (FOX et al., 2006).

Um corpo de qualquer forma, quando imerso em um fluido em escoamento, fica sujeito a forças e momentos (WHITE, 1986). Estas forças são três: o arrasto, que age numa direção paralela à direção da corrente livre, e duas forças de sustentação, que agem em direções ortogonais. A atuação destas forças no corpo causa momentos.

Na sua forma adimensional, a força de arrasto é expressa pelo coeficiente de arrasto (C_D) que é a razão entre a força de arrasto (D) e uma força característica associada à pressão dinâmica da corrente livre, $(1/2 \rho V^2)$, sendo ρ a densidade e V a velocidade da corrente livre. O coeficiente de arrasto é dado pela “Equação (2)”:

$$C_D = \frac{D}{(1/2)\rho V^2 A} \quad (2)$$

O fator $(1/2)$ é um tradicional tributo a Euler e a Bernoulli (WHITE, 1986). A área característica do corpo (A) poderia ser igual a L^2 (L é a dimensão linear característica do número de Reynolds), mas é usual encontrá-la definida como: a projeção da área em um plano perpendicular à direção da corrente livre vista frontal, utilizada esferas, cilindros, carros, mísseis, etc. A projeção da área no plano paralelo à corrente livre, vista de topo, utilizada em perfis de asa e hidrofólios.

3.4. Túnel de vento

Túneis de vento são instrumentos de pesquisa utilizados para estudos do movimento do ar através de objetos sólidos, onde os componentes são arranjados de maneira a fornecer condições de fluxo e velocidades aproximadamente constantes. O primeiro estudioso a construir um túnel de vento do modo conhecido atualmente foi Francis Herbert Wenham no ano de 1871. São atribuídos a Wenham e seu colega de estudos Browning muitos conceitos fundamentais. Foi a partir da criação de túneis de vento que Osborne Reynolds conseguiu determinar alguns parâmetros, como o conhecido Número de Reynolds.

Um túnel de vento funciona através de um duto equipado com ventilador ou compressor que fornece movimento ao fluido, seja succionando ou soprando o fluido. É composto também de instrumentos para medidas como pressão e velocidade e partes para visualização, onde são colocados corpos de provas para experimentação. Para resultados confiáveis, o fluxo dentro do túnel deve ser relativamente livre de turbulência. Para isso o túnel de vento é projetado com dimensões e formatos que possam tornar o fluxo do fluido mais suave e forneça um Número de Reynolds inferior a 2300, limite esse que determina aproximadamente a linha de transição entre escoamento laminar e turbulento (FOX, 2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia foi definida pelo professor orientador e consistiu em cinco etapas, que são apresentadas na “Figura 1”, e depois detalhadas no texto.



Figura 1 - Metodologia

Definição das características do protótipo: Nesta etapa inicial foi estudado o tipo de túnel de vento que seria mais acessível e que atendesse as necessidades das atividades de ensino.

Projeto em CAD: A partir da decisão do tipo e características foi elaborado o projeto executivo sendo o desenho feito com auxílio de computador (CAD).

Aquisição dos materiais: Com o projeto em mãos foi elaborada a lista de materiais necessários que foram adquiridos no mercado local.

Execução do projeto: O túnel de vento foi construído na forma de protótipo segundo o projeto.

Testes e avaliação: o equipamento foi testado e submetido a avaliação.

5. RESULTADOS

Devido à maior facilidade de construção, optou-se pelo túnel de circuito aberto como demonstra a “Figura 2”, onde o ar misturado com a fumaça é lançado na atmosfera após passar pela câmara de observação.

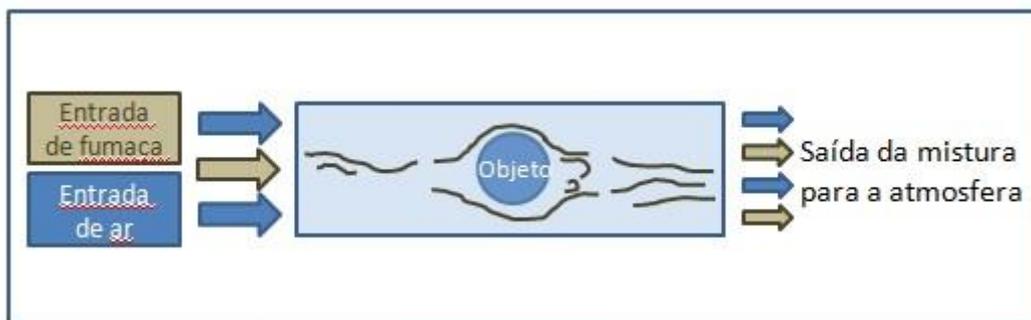


Figura 2 – Esquema de um circuito aberto

Em seguida foi executada o projeto do modelo de acordo com a “Figura 3” com a ferramenta CAD, com o emprego do aplicativo SolidEdge. Assim o protótipo foi completamente definido sendo elaborada a lista de materiais e de ferramentas necessárias para a sua construção.

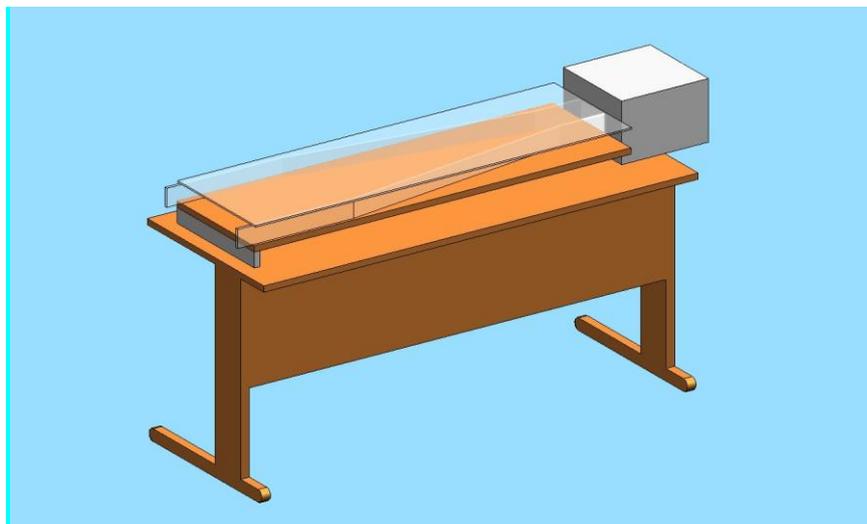


Figura 3 – Modelo de túnel de vento experimental

A aquisição dos materiais ocorreu no mercado local. Buscando a economicidade foram feitas cotações na praça, e as compras foram executadas nos fornecedores que apresentaram os menores preços. Para a base do túnel de vento foi aproveitada uma mesa usada tipo bancada. Da mesma forma a madeira foi encontrada no setor de

marcenaria da UFAM. No final das contas, foram comprados apenas alguns itens como placas de acrílico e líquido para fumaça (glicerina). O professor orientador disponibilizou uma câmera fotográfica e a fonte de fumaça, adquiridas anteriormente para outro projeto.

A construção foi realizada em uma sala improvisada como oficina uma vez que o curso não dispõe de laboratórios ou espaços do gênero. A montagem das peças foi executada pelos próprios estudantes. O resultado é mostrado na “Figura 4”.



Figura 4 – Túnel de vento experimental sem a tampa de vidro.

Para finalizar o túnel de vento foi testado, sendo o objeto estudado posicionado dentro da câmara de ensaio através da abertura superior, em seguida foi liberado o fluxo de ar para dentro da câmara de ensaio. Assim foi possível a visualização do escoamento de modo que se evidenciou o comportamento do fluxo de ar no túnel de vento. Para facilitar essa visualização foi injetada fumaça no escoamento com auxílio do gerador de fumaça ligado a câmara de ensaio através de um tubo fino para evitar a turbulência. A câmera fotográfica foi posicionada em cima do vidro para captar o fluxo e configurada através do programa Labview 8.0 para captar apenas as linhas de fluxo da fumaça.

Com o sucesso do teste, o túnel de vento de baixo custo foi considerado aprovado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de um túnel de vento de baixo custo se mostrou de grande importância para o recente curso de engenharia mecânica da Universidade Federal do



Amazonas (UFAM), pois vai suprir de modo satisfatório a falta de equipamentos e laboratórios. O equipamento desenvolvido vai permitir o desenvolvimento de aulas práticas, experimentos, simulações e análises em mecânica dos fluidos, despertando o interesse de alunos e professores, possibilitando futuras pesquisas e projetos.

A confecção do primeiro protótipo com sucesso abre espaço para se pensar em novos projetos incluindo melhorias nos componentes do equipamento, como por exemplo, a diminuição da rugosidade interna das paredes, através de ceras ou fórmica. Outra oportunidade para melhoria do equipamento é desenvolver um modo de variar a velocidade do fluxo, construir corpos de prova específicos, ou até mesmo a reformulação completa, resultando em um novo túnel de vento, podendo determinar os padrões de fluxo e medir os coeficientes aerodinâmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FOX, Robert W.; MCDONALD Alan.T.; PRITCHARD, Philip J. Introdução à mecânica dos fluidos. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

HENN, E.A.L., Máquinas de Fluxo, Editora UFSM, 2a ed., Santa Maria, RS, 474p. 2006.

INCROPERA, F.P., Fundamentos de Transferência de Calor e Massa, Editora LTC, Rio de Janeiro, RJ, 698p., 2003

LOREDO-SOUZA, Acir Mércio; ROCHA, Marcelo Maia; OLIVEIRA, Mário Gustavo Klaus Oliveira. Determinação experimental em túnel de vento dos efeitos aerodinâmicos sobre a cobertura do centro oficial de treinamento de Cuiabá, MT. Disponível em <http://www.mtnacopa.com.br/download.php?id=220444>. Acesso em: 12 ago. 2013.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N. Princípio de termodinâmica para engenharia. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002

MATOS, Cynthia Casagrande; BOTELHO, Róber Dias. A influência da aerodinâmica no design. Disponível em: <fido.palermo.edu/servicios_dyc/encuentro2007/02_auuspicios_publicaciones/actas_diseno/articulos_pdf/A4064.pdf>. Acesso em: 15 set. de 2012.

PRAVIA, Zacarias Martin Chamberlain; CORONETTI, Leandro. Um protótipo de um mini túnel de vento (MTV) para ensino de graduação. COBENGE 2003. Disponível em: <www.lese.upf.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=8&Itemid=19>. Acesso em: 15 set. 2012.

WIND TUNNEL OF LOW COST FOR ACADEMIC ACTIVITIES OF COURSE MECHANICAL ENGINEERING



Abstract: *The aerodynamics studies the behavior of solids subjected to interaction with the air flow, considering their properties, characteristics, and forces exerted on contours immersed in it. In general, this engineering technology is critical for trials and tests, and is used on a large scale. The tested designs become more secure, reliable, effective and cheaper. Often the price of a wind tunnel does not allow the use of this equipment in practical classes. In order to tackle this problem in mechanical engineering course at the Federal University of Amazonas was developed the project of an equipment didactic low cost and easy construction. The wind tunnel was developed through an undergraduate research project and proved effective to demonstrate the behavior of wind on geometric shapes. In a next step, the equipment can be improved, and can determine the flow patterns and measure the aerodynamic coefficients.*

Key-words: *Wind tunnel, Aerodynamics, Fluid mechanics.*