

DESENVOLVIMENTO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UM TÚNEL DE VENTO DE BAIXO CUSTO PARA ESTUDOS AERODINÂMICOS EM PEQUENA ESCALA

Joaquim Luciano De Paula Neto¹, Artur Guimarães Maioli², Diego de Mendonça Taborda³

Engenharias

Introdução e Objetivo

Considerando o papel crucial que a aerodinâmica exerce no desempenho de aeronaves, principalmente em projetos de competições acadêmicas como a Aerodesign, as otimizações nos perfis das asas podem resultar em melhorias significativas na eficiência aerodinâmica e no controle da aeronave. (TIBURCIO & RIZZO, 2021).

Para analisar esses aspectos, é essencial recorrer a um ambiente de teste que simule, de maneira precisa e controlada, as condições do fluxo de ar ao redor das superfícies aerodinâmicas. Posto que os testes em túneis de vento sejam considerados referência ideal, sua construção e calibração demandam recursos financeiros e tempo elevados (TIBURCIO & RIZZO, 2021).

Diante desse cenário, as técnicas de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) surgem como uma alternativa eficiente para prever o comportamento do fluxo e auxiliar no refinamento do projeto antes da etapa de fabricação. As simulações numéricas permitem avaliar a homogeneidade da velocidade na área de testes, a ocorrência de descolamentos da camada limite e a formação de vórtices, além da distribuição de pressão ao longo das asas, minimizando assim as incertezas relacionadas à construção de protótipos físicos.

Esse trabalho tem como objetivo, por meio de simulações no ANSYS CFX®, validar a uniformidade do escoamento, a formação de vórtices e a estabilidade da camada limite em corpos de prova simplificados (esfera, placa plana e cilindro), além de propor um túnel de vento de pequeno porte para fins didáticos. A análise busca assegurar um ambiente controlado e adequado para ensaios aerodinâmicos, verificando se o escoamento atende aos requisitos mínimos de qualidade.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo – campus São Mateus, joaquimlucianodepaulaneto@gmail.com;

² Mestre em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo – campus Aracruz, artur.maioli@ifes.edu.br.

³ Mestre em Engenharia da Energia, Instituto Federal do Espírito Santo – campus São Mateus, diego.taborda@ifes.edu.br.

Método e Metodologia

A metodologia deste trabalho integra fundamentos da mecânica dos fluidos com simulação computacional, por meio de modelagem e análise numérica. Trata-se de uma pesquisa aplicada, voltada à solução de problemas práticos e ao desenvolvimento de um modelo didático. Além disso, caracteriza-se como descritiva, ao documentar e analisar fenômenos fluidodinâmicos em ambientes virtuais controlados.

A caracterização do escoamento foi realizada por meio do número de Reynolds, parâmetro amplamente utilizado na engenharia para definir regimes de fluxo. Esse número adimensional expressa a relação entre forças inerciais e viscosas do fluido, permitindo identificar se o escoamento tende a ser laminar ou turbulento (MUNSON, YOUNG & OKIISHI, 2004). No contexto desse trabalho, sua aplicação possibilitou verificar que o regime de escoamento na seção de teste se manteve laminar, condição adequada para simplificações em análises experimentais (FOX, PRITCHARD & MCDONALD, 2016). Uma análise do número de Mach também indicou que o escoamento se manteve subsônico e incompressível.

A etapa de estabilização do escoamento contou com o uso de telas, dispositivo frequentemente empregado em túneis de vento para reduzir a turbulência e alinhar as linhas de corrente. Esses elementos garantem que o ar chegue ao bocal convergente de forma de forma mais uniforme, aumentando a confiabilidade dos ensaios (BARLOW, RAE & POPE, 1999).

O bocal convergente foi dimensionado de modo a transformar energia de pressão em energia cinética, elevando a velocidade do escoamento antes da entrada na seção de teste. Essa configuração é fundamental para assegurar uniformidade no fluxo, condição essencial para a observação dos fenômenos aerodinâmicos (ÇENGEL & CIMBALA, 2016).

A seção de teste constituiu-se como região central do túnel, onde foram posicionados diferentes modelos geométricos, tais como esfera, placa plana e cilindro. Esse espaço deve apresentar dimensões compatíveis com o objeto a ser estudado, de forma a evitar interferências das paredes laterais no comportamento do escoamento (TIBURCIO & RIZZO, 2021).

O ar é conduzido em seguida ao bocal divergente, responsável por desacelerar o escoamento e direcioná-lo ao sistema de ventilação. Essa etapa reduz perdas de carga e minimiza instabilidades, mantendo a eficiência global do túnel (PEREIRA, 2011).

Para a análise do escoamento em torno dos modelos geométricos, empregaram-se simulações numéricas por meio do software ANSYS CFX® com a definição criteriosa das condições de

contorno de modo a representar um regime subsônico e incompressível, em conformidade com parâmetros consolidados na literatura. A malha computacional foi gerada com tamanho característico de 0,009 m, valor estabelecido após testes de sensibilidade. Verificou-se que discretizações mais refinadas, embora potencialmente capazes de aumentar a acurácia, induziam instabilidades numéricas no processo de solução, comprometendo a convergência das simulações.

Discussão e Resultados

O túnel de vento desenvolvido foi projetado com dimensões compactas, de modo a ser adequado a um ambiente didático. A seção de teste possui formato quadrado, com dimensões de 200×200 mm e comprimento total de 800 mm. O bocal convergente possui razão de área de 6:1 e ângulo cônico de $33,6^\circ$, sendo precedido por quatro telas do tipo mesh 20, espaçadas em 50 mm, cuja função é reduzir a turbulência e uniformizar o escoamento antes da entrada na seção de teste. Já o bocal divergente apresenta ângulo de abertura de $5,05^\circ$, projetado para minimizar as perdas de carga na saída do túnel. O dimensionamento foi realizado com base no método proposto por Tiburcio e Rizzo (2021), garantindo a uniformidade do escoamento e a eficiência do sistema. A Figura 1 apresenta a vista geral do túnel de vento, destacando os principais componentes mencionados.

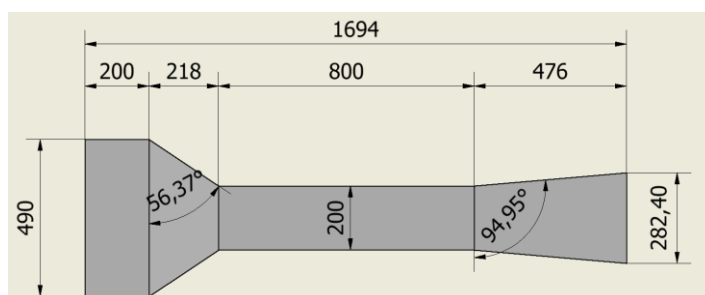


Figura 1 – Desenho esquemático do túnel de vento projetado

Fonte: Autor.

Para a validação do túnel de vento, foram realizadas três análises utilizando objetos de geometrias diferentes: uma esfera, uma placa plana e um cilindro. Cada análise foi feita observando o comportamento do escoamento ao redor dos objetos e verificando se as paredes da seção de teste não causavam interferências. Segundo Barlow, Rae e Pope (1999), os objetos não devem ocupar mais que 30% da seção do túnel. As dimensões dos objetos utilizadas neste estudo estão apresentadas na Tabela 1.

Objeto	Geometria	Dimensões (mm)
1	Esfera	Ø 25
2	Placa plana	20x5x20
3	Cilindro	Ø 20 x 40

Tabela 1 – Dimensões dos objetos para validação do túnel de vento

Fonte: Autor.

A seguir são ilustrados os resultados do escoamento ao redor de cada objeto analisado. Para a esfera (Figura 2) e a placa plana (Figura 3), observa-se que o escoamento apresenta uma recuperação suave após passar pelos objetos, com distribuição de velocidade simétrica e sem grandes perturbações. Em contrapartida, no cilindro (Figura 4), o escoamento também se recupera de forma consistente, porém, na região de saída, formam-se duas zonas distintas de velocidade mais elevada. Esse comportamento é característico de corpos não aerodinâmicos e está associado à aceleração do fluxo nas laterais devido ao efeito de bloqueio, conforme previsto pelo princípio de Bernoulli, bem como à formação de esteira com vórtices alternados, que induzem regiões localizadas de maior velocidade após o desprendimento da camada limite. Esses resultados estão em concordância com a teoria clássica de escoamento em torno de cilindros, onde a interação entre inércia e viscosidade do fluido gera padrões assimétricos de velocidade mesmo em regime laminar.

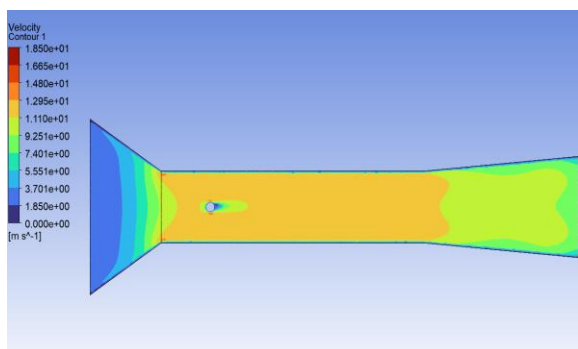


Figura 2- Escoamento em torno da esfera

Fonte: Autor.

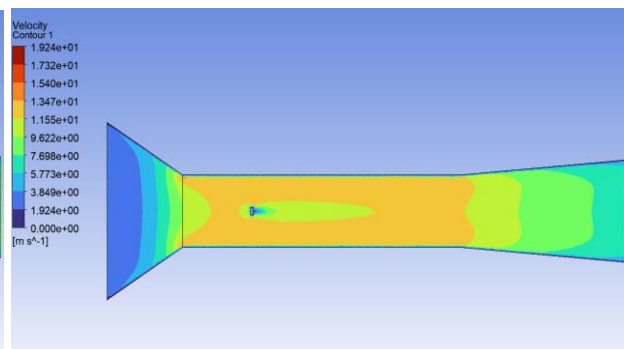


Figura 3- Escoamento em torno da placa plana

Fonte: Autor.

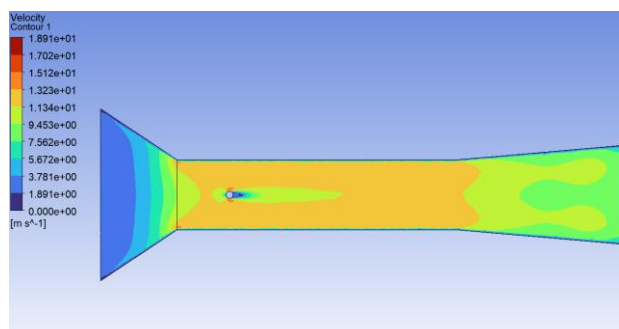


Figura 4- Escoamento em torno do cilindro

Fonte: Autor.

A escolha de geometrias conhecidas na literatura, como esfera, placa plana e cilindro, possibilitou a validação do túnel de vento desenvolvido. Com essa validação, torna-se viável a aplicação do túnel em simulações mais complexas, como análise de perfis aerodinâmicos voltados para aeromodelos ou outras geometrias de interesse.

Considerações Finais

O estudo alcançou o objetivo de validar o túnel de vento desenvolvido por meio de simulações computacionais baseadas em geometrias de referência consagradas na literatura. Os resultados obtidos corroboraram a adequação do equipamento para aplicação em ambientes didáticos, evidenciando sua eficiência na representação do escoamento em condições controladas. Como perspectiva futura, ressalta-se o potencial de emprego do túnel em investigações de maior complexidade, incluindo a análise de perfis alares e de outras geometrias de interesse em projetos de aeromodelos e aplicações correlatas.

Referências

- BARLOW, J. B.; RAE, W. H.; POPE, A. **Low Speed Wind Tunnel Testing**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- FOX, R. W.; PRITCHARD, P. J.; MCDONALD, A. T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.
- PEREIRA, J. D. **Wind Tunnels: Aerodynamics, Models And Experiments**. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2011.
- TIBURCIO, Josias Paulucio; RIZZO JÚNIOR, Márcio Alves. **Túnel de vento: projeto, construção e instrumentação**. 2021. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Cachoeiro de Itapemirim, Cachoeiro de Itapemirim, 2021.