

Análise Aerodinâmica de carenagem de veículo de eficiência para a competição Shell Eco-Marathon

Aerodynamic analysis of an efficiency vehicle's body for the competition Shell Eco-Marathon

RESUMO

Carlos Eduardo Maia
cadumaia@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil

Aldo Przybysz
aldop@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil

A Shell Eco-Marathon é uma competição que desafia estudantes do mundo inteiro a construir um veículo de alta eficiência. Uma das variáveis que influenciam o consumo de energia é a aerodinâmica do carro. O principal objetivo deste trabalho é escolher, para a equipe UTECO da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Guarapuava, a carenagem para a edição de 2021 da Shell Eco-Marathon Brasil. Primeiramente é necessário projetar três modelos em potencial, utilizando o software Autodesk Inventor. Após aprovação da equipe, os modelos irão passar por simulação utilizando Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD), com o ANSYS Fluent. Após isso, será feita uma análise dos coeficientes de arrasto obtidos para os três modelos. Para simular as condições, os resultados são baseados nas equações médias de Navier-Stokes e o modelo de turbulência κ - ϵ , e após uma análise estatística, o modelo com menor coeficiente será o escolhido. As variáveis usadas no ANSYS, tais como temperatura e pressão, são baseadas na cidade do Rio de Janeiro – RJ e as malhas feitas no ANSYS limitadas aos recursos computacionais disponíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação. ANSYS. CFD.

ABSTRACT

The Shell Eco-Marathon is a competition that challenges students around the world to make a High Efficiency vehicle. One of the variables that influences the energy consumption is the body's aerodynamics. The main objective of this article is to choose, for the UTECO team of the Federal University of Technology – Guarapuava, the vehicle's body for the 2021 edition of the Shell Eco-Marathon Brazil. First, there is a need to project three possible designs, using Autodesk Inventor. After approval of the team, they will undergo a simulation using computational fluid dynamics, with ANSYS Fluent. With this, there is going to be an evaluation of the drag coefficient values obtained for each model. To simulate conditions, the results were based on Reynolds Averaged Navier-Stokes equations and the turbulent model κ - ϵ , after statistical analysis, the model with the lowest drag coefficient will be chosen. The variables used on ANSYS, such as Temperature and Pressure, were based on the city of Rio de Janeiro – RJ, and the meshing, as other variables on ANSYS Fluent setup, were limited by the computational resources available at the time.

KEYWORDS: Simulation. ANSYS. CFD

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações atuais é com o meio ambiente, e considerando também a alta nos preços dos combustíveis, principalmente no Brasil, tem sido buscados veículos que consomem menos energia. A utilização de energia é um dos assuntos mais pesquisados no mundo, com diversas universidades e empresas trabalham em busca de soluções para tais questões, e uma dessas companhias é a Shell. Com a competição Shell Eco-Marathon, estudantes ao redor de todo o globo são desafiados a projetarem e construir veículos com o objetivo serem mais eficientes no consumo de energia.

A competição ocorre no mundo inteiro, mas para as pessoas na América do Sul, é realizado o evento Shell Eco-Marathon Brasil, no qual a equipe UTECO, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Guarapuava (UTFPR-GP), participa. Existem duas categorias principais. A Conceito Urbano, que consiste em conceber um carro com características similares aos veículos de passeio comuns, como por exemplo possuir faróis, duas portas, dois assentos e etc. Há a categoria Protótipo, em que a UTECO está inserida, cujo único objetivo é construir um veículo que consuma menos combustível, com seu design sendo o mais adaptado para isso, sempre respeitando as orientações de segurança.

Diversas variáveis são consideradas no consumo de combustível, como os pneus, o motor em si, os rolamentos, a transmissão, freios e outros, mas basicamente qualquer fator que cause uma força contrária ao movimento do veículo. O foco desse trabalho é uma dessas variáveis, a aerodinâmica. A equipe precisou construir alguns modelos de carenagem ao redor do chassi e analisar sua aerodinâmica, com a ferramenta do ANSYS Fluent, para obter seus respectivos coeficientes de arrasto, através de Mecânica dos Fluidos Computacional (do inglês *Computational Fluid Dynamics* – CFD). O que leva aos objetivos da pesquisa:

- Desenho 3D de três modelos, baseando-se em outras equipes e no chassi da equipe;
- Análise CFD no ANSYS Fluent;
- Obter os valores de Coeficiente de Arrasto para cada modelo;
- Comparar os resultados e encontrar o modelo com menor coeficiente;
- Desenho final do modelo escolhido.

ESCOAMENTO

Existem dois tipos principais de escoamento, o laminar e o turbulento. O primeiro é um escoamento mais sutil, em que a mistura entre as partículas é mínima e mais estável, o que resulta em menos mudanças no escoamento ao longo da superfície. A turbulenta ocorre quando há um descolamento da camada limite e desencadeia em uma mistura caótica das partículas do fluido. Essa mudança de escoamento pode ocorrer de acordo com a velocidade e tipo de fluido e um dos meios de definir o tipo de escoamento é utilizando o número de Reynolds (POTTER; WIGGERT, 2018, p. 118).

NÚMERO DE REYNOLDS

Várias características afetam a transição do escoamento de um regime para outro, como geometria, rugosidade, velocidade de escoamento e pressão. O número de Reynolds, segundo, é um número adimensional que descreve o tipo de escoamento, que pode ser obtido através da Equação 1 (ÇENGEL; CIMBALA, 2015, p. 350).

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

No caso, Re é o número de Reynolds, ρ a densidade do fluido, V a velocidade de escoamento, L o comprimento do corpo e μ a viscosidade dinâmica do fluido.

ARRASTO

Quando um corpo se movimenta em um fluido, existe uma força indo contra o mesmo. Essa força é chamada de Força de Arrasto, e foi criada a equação para medição da mesma a partir de um experimento com uma esfera lisa, mas que pode ser aplicada para qualquer geometria. O valor da força de arrasto pode ser obtido através da Equação 2 (FOX, 2016, p. 397).

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_p \quad (2)$$

Com F_D sendo Força de Arrasto, C_D o coeficiente de arrasto e A_p a área frontal projetada contra o escoamento, como segue o exemplo na Figura 1.

Figura 1 – Exemplo de Área Projetada de um veículo.



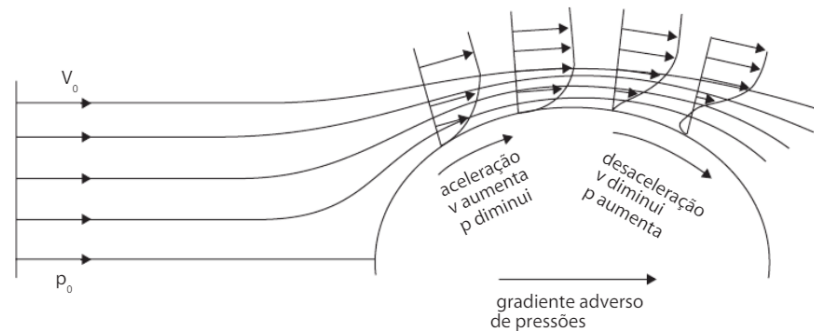
Fonte: Windlin (2012, p. 256, modificado).

AERODINÂMICA

Aerodinâmica é uma área da Mecânica dos Fluidos que foca no estudo do escoamento do ar, e pode ser separada em escoamento externo e interno. A aerodinâmica externa não envolve apenas a geometria, mas também os arredores do corpo, como por exemplo a diferença de pressão nas asas de um avião que o mantém em sustentação (ANDERSON, 2011, p. 13).

Quando o ar escoar por uma superfície, mudanças ocorrem na camada limite. Em algumas seções, devido à geometria, a pressão é diminuída. Esse fenômeno diminui a velocidade de escoamento, até o ponto em que se torna zero, e teoricamente fica negativa, e isso é o que se chama descolamento da camada limite. A Figura 2 ilustra esse fenômeno (WINDLIN, 2012, p. 262).

Figura 2 – Perfil de velocidades variando num sólido.



Fonte: Windlin (2012, p. 262).

NAVIER-STOKES

Dada a complexidade das variáveis que influenciam o movimento, foram desenvolvidas as equações de Navier-Stokes. Com elas é possível obter todos os resultados relacionados ao movimento dos corpos em fluidos. Contudo, é muito difícil obter resultados concretos em regimes turbulentos, devido ao comportamento caótico do fluido e por diversas aproximações precisarem ser feitas, tornando o resultado distante da realidade. Então, para análises aerodinâmicas, atualmente se utiliza dois métodos, o experimental, com túneis de vento, e através de CFD (POTTER; WIGGERT, 2018, p. 118).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para projetar os modelos, foi utilizado o Autodesk Inventor para desenhar o chassi, já existente, que foi construído pela equipe de 2017. Com isso, ao redor desse chassi desenhou-se os modelos de carenagem. O primeiro modelo foi feito apenas para cobrir o chassi, e os demais, baseados em outras equipes participantes da Shell Eco-Marathon, como segue na Figura 3, os exemplos que serviram de base.

Figura 3 – Designs que serviram de inspiração, com os valores de C_D sendo: (a) 0,107; (b) 0,13; (c) 0,096; (d) 0,075.



Fonte: (a, c e d) Such (2018); (b) Sirojuddin et al. (2019).

Para realizar a análise, o programa usado foi o ANSYS 2019 R3 e os computadores da UTFPR-GP. Para desenho dos modelos em CAD foi utilizado o Autodesk Inventor 2020.

O processo consiste em exportar o desenho em CAD para o ANSYS e estabelecer um volume de controle. O corpo foi cortado ao meio devido à simetria do mesmo, possibilitando um maior refino da malha, podendo adquirir resultados mais acurados. Além disso, utilizou-se os recursos *Quality* e *Inflation* do ANSYS, para focar o refino da malha nos pontos mais críticos, deixando as seções em que o escoamento é laminar com malhas mais grosseiras. A quantidade de elementos utilizados variou entre as três malhas estabelecidas para cada modelo. Porém, ficou em torno de 507 milhões, sendo que o limite permitido pela licença era de 510 milhões, ou seja, foi otimizado o máximo possível.

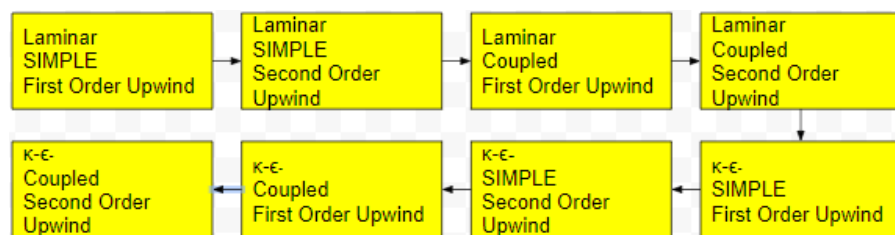
O próximo passo é estabelecer o fluido, inserindo a velocidade de escoamento, a superfície analisada, as características do fluido e os métodos de cálculo. A velocidade foi de 30 km/h baseado na média da competição. O ar foi considerado com temperatura de 303,16 K (30 °C) e 1 atm de pressão, já que a competição ocorre no Rio de Janeiro. Outras características também precisam ser inseridas, como o comprimento do veículo e área frontal, que é essencial para determinação de coeficiente e força de arrasto.

Para o cálculo, no programa, existem 3 parâmetros principais. O modelo de escoamento, os métodos de acoplamento da pressão e os modelos matemáticos para cálculo. O primeiro indica a característica do escoamento, se é laminar, turbulento, invíscido e caso seja turbulento, há diferentes modelos de turbulência, e nesse trabalho, os modelos usados foram o Laminar e o Turbulento κ - ϵ , já que esse último é um dos mais estáveis modelos de turbulência. O regime laminar tende a convergir mais rápido que o Turbulento, mas não descreve totalmente a realidade do escoamento, que tem natureza turbulenta. Portanto, primeiro é feito uma análise do escoamento como laminar, para encontrar valores que serão utilizados no regime turbulento. O regime Turbulento κ - ϵ , mostra resultados mais próximos à realidade, porém tendem a divergir valores, por isso, como os cálculos realizados pelo ANSYS são iterativos, encontra-se valores prévios com o regime laminar, resultando em valores mais confiáveis.

O segundo parâmetro indica o tipo de algoritmo a ser utilizado, que no caso foram o *SIMPLE* e *Coupled*. Enquanto ambos são algoritmos baseados em pressão ao redor dos corpos, o primeiro é mais utilizado em regimes simplificados, e tem uma convergência mais rápida, porém limitada e menos precisa, já o segundo tem vantagens, pois oferece uma implementação mais eficiente em regimes permanentes, e acaba oferecendo resultados mais confiáveis (ANSYS, 2009).

Os modelos matemáticos trabalham simplesmente com as propriedades dos elementos da malha. Neste trabalho foram usados os modelos de Primeira e Segunda ordem para pressão, e a diferença entre ambos é que o último utiliza mais elementos das células, proporcionando uma análise mais próxima da realidade, porém, o primeiro tende a convergir mais facilmente. Então basicamente, encontra-se valores preliminares com parâmetros simplificados, para utilizar esses valores em cálculos mais complexos no processo iterativo. Para realização do cálculo, foi feita uma combinação desses processos, aumentando lentamente a complexidade do cálculo. Durante o setup, notou-se que os passos que proporcionavam melhor convergência eram os descritos na Figura 4, seguindo diferentes combinações dos parâmetros previamente citados.

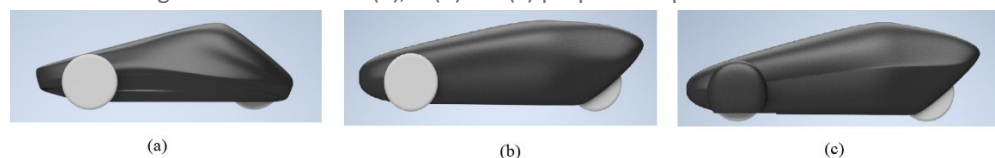
Figura 4 – Organograma indicando a ordem dos cálculos.



Fonte: Autoria própria (2020).

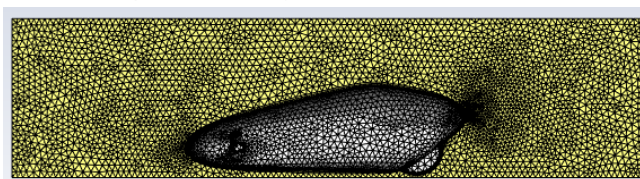
Usando as ferramentas do *setup* do ANSYS *Fluent*, gráficos e tabelas com os resultados podem ser obtidos, além de outros atributos como pressão, velocidades e perfis. Para esse trabalho, o objetivo era encontrar os coeficientes de arrasto de três modelos, sendo esses, os da Figura 5, e um exemplo de como é a configuração da malha, na Figura 6.

Figura 5 – Modelos 1 (a), 2 (b) e 3 (c) preparados para análise CFD.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 6 – Exemplo de malha, Modelo 3.



Fonte: Autoria própria (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após rodar o programa, e realizar a análise CFD, foram obtidos os valores de coeficiente de arrasto para cada modelo, que seguem no Quadro 1.

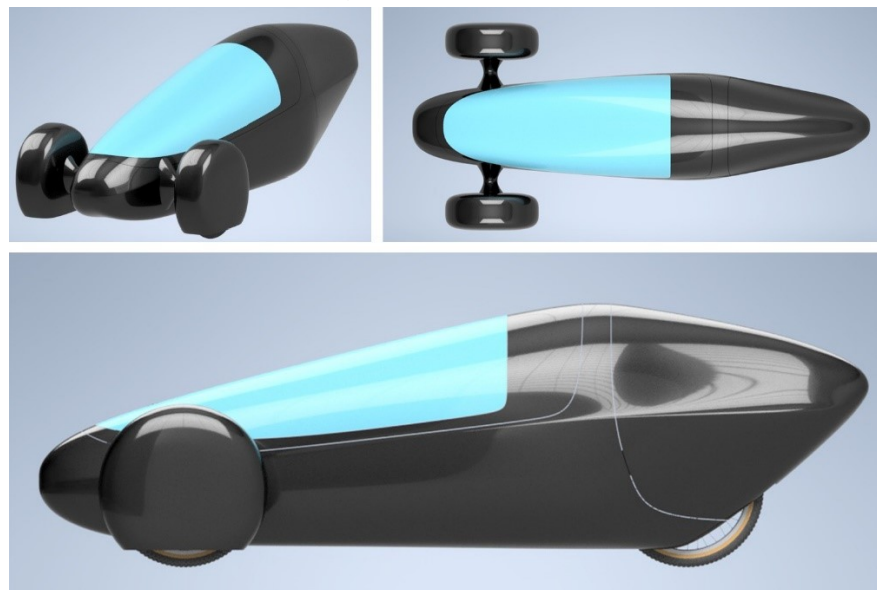
Quadro 1 – Valores de coeficiente de arrasto dos modelos 1, 2 e 3.

Modelo	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
C_D	0,10830	0,10193	0,09999

Fonte: Autoria própria (2020).

Como citado na introdução, o objetivo era encontrar o modelo cujo coeficiente de arrasto é o inferior em relação aos demais, e escolher esse desenho. Logo, como o Modelo 3 tem um coeficiente 0,853% menor em relação ao Modelo 2, e 7,8% menor em relação ao Modelo 1, é ele que será escolhido para construção do protótipo para a próxima Shell Eco-Marathon Brasil. A versão final do desenho do modelo 3, com os detalhes que serão inseridos na construção, segue nas Figuras 6.

Figura 6 –Modelo Final.



Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

Pode ser observado que as geometrias dos modelos 2 e 3 são mais aerodinâmicas que o Modelo 1, mas que o Modelo 3 consegue uma certa vantagem devido à sua proteção das rodas, que ajudam a diminuir o arrasto. Esse tipo de proteção é utilizado com muita frequência entre as equipes participantes da competição, com o mesmo intuito, de diminuir o arrasto, portanto, serviram de inspiração para a confecção do protótipo da UTECO. É possível visualizar que há uma redução de 0,853 % em relação ao Modelo 2, o que não é tão grande, mas já é significativa em relação ao Modelo, com uma diferença de 7,8 %. Entretanto para melhorar ainda mais o desenho, pode-se explorar uma mudança no chassi, ou seja, uma mudança completa, impossibilitada pela falta de recursos financeiros da equipe, que precisou reutilizar o chassi do carro anterior.

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito à UTFPR que proporcionou que essa pesquisa pudesse ser realizada, à DIREC com auxílio da bolsa via editais, ao professor Aldo, coordenador do projeto e à professora Raquel Silva, que auxiliou no desenvolvimento. E também aos familiares que me apoiaram na minha jornada até a engenharia.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. D. *Fundamentals of Aerodynamics*. 5. Ed. Nova York: McGraw-Hill, 2011.

ANSYS. *Choosing the Pressure-Velocity Coupling Method*. 2009. © ANSYS, Inc. Disponível em:
<https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node785.htm>.
Acesso em 04 de outubro de 2020.

ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: fundamentos e aplicações**. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

FOX, R.W et al. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 9. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

POTTER, M. C.; WIGGERT, D. C. **Mecânica dos Fluidos**. Porto Alegre: Bookman, 2018.

SIROJUDDIN; ENGINEU, Raden; WARDOYO. ***Aerodynamic Drag Reduction of Vehicle Si Pitung G4 UNJ for Shell Eco-Marathon Asia 2015***. 2018. 3rd UNJ International Conference on Technical and Vocational Education and Training, KnF Social Science. P. 304 – 311. DOI 10.18502/kss.v3i12.4096.

SUCH, Matheus Rosa. **Análise Aerodinâmica de um veículo de eficiência energética**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188252/TCC%20-%20Matheus%20Rosa%20Such.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 31 de agosto de 2020.

WINDLIN, Fernando et al. **Aerodinâmica Veicular**. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277003631_Aerodinamica_Veicular. Acesso em: 31 de agosto de 2020.