

## ANÁLISE AERODINÂMICA DE UMA CARENAGEM DE VEÍCULO DE EFICIÊNCIA PARA A COMPETIÇÃO SHELL ECO-MARATHON

Carlos Eduardo Maia, cadumaia96@gmail.com<sup>1</sup>  
Raquel da Cunha Ribeiro da Silva, raqueld@utfpr.edu.br<sup>1</sup>  
Aldo Przybysz, aldop@utfpr.edu.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava - PR, 85053-525,

**Resumo.** A Shell Eco-Marathon é uma competição que desafia estudantes de todo o mundo a construir um veículo de alta eficiência energética. Uma das características que influencia no consumo de energia é a aerodinâmica da carenagem. O principal objetivo desse trabalho é escolher, para a equipe UTECO da UTFPR Guarapuava, a carenagem para o veículo da edição de 2021 da competição. Primeiro há o projeto de três possíveis modelos, utilizando o software Autodesk Inventor. Após aprovação, os modelos irão ser submetido à análise no ANSYS FLUENT, com os conceitos de fluidodinâmica computacional. Com isso, haverá uma comparação entre os coeficientes de arrasto obtidos dos três modelos. Para simular as condições, os resultados foram baseados nas equações Reynolds aproximadas de Navier-Stokes e o modelo turbulento  $k-\epsilon$ , e então escolhido o modelo com menor coeficiente de arrasto.

**Palavras-chave:** Simulação. CFD. Arrasto. ANSYS. Eficiência.

**Abstract.** The Shell Eco-marathon is a competition that challenges students around the world to make a High Efficiency vehicle. One of the characteristics that influences the energy consumption is the body's aerodynamics. The main objective of this work is to choose, for the UTECO team of The Federal University of Technology – Paraná, Guarapuava Campus, the vehicle body for the 2020 edition of Shell Eco-marathon Brazil. First, there is a need to project three possible designs, using the Autodesk Inventor software. Then they will undergo a simulation using computational fluid dynamics, with the software ANSYS FLUENT. With this, there is going to be an evaluation of the drag coefficient values obtained for the three different models. To simulate the conditions, the results were based on the Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations and the turbulent model  $k-\epsilon$ , and then the model with the lowest drag coefficient was chosen.

**Keywords:** Simulation. ANSYS. Drag. CFD. Efficiency.

### 1. INTRODUÇÃO

Um dos tópicos mais estudados atualmente é a eficiência energética. Considerando que não há apenas a preocupação com o meio ambiente, mas na economia de combustível como um todo, empresas e universidades pesquisam e apoiam o desenvolvimento de novas tecnologias, e a Shell é uma dessas companhias, e através da Shell Eco-Marathon, faz com que estudantes de todo o mundo pesquisem novos métodos de diminuir o consumo de combustível. (SHELL, 2020)

A competição, ocorre ao redor de todo mundo através dos eventos principais e dos *challenger events* que servem como classificatórios em etapas menores. A Shell Eco-Marathon Brasil é um desses eventos, para que equipes da América Latina possam se classificar para a Shell Eco-Marathon Américas. Há duas categorias principais, divididas internamente entre tipos de combustível, que são a Conceito Urbano, em que o foco é o desenvolvimento e construção de um veículo similar aos carros de passeio existentes, tendo componentes como duas portas, quatro rodas, faróis, setas, entre outros aspectos. A categoria em que a UTECO, equipe do campus Guarapuava da UTFPR, participa é a Protótipo, em que o objetivo é simplesmente de ser o mais eficiente, ou seja, os carros são otimizados para menor consumo possível. (SHELL, 2020)

Diversas características podem afetar o consumo de combustível, como as medidas dos pneus, a qualidade dos rolamentos, o motor em si, a transmissão, os freios, a injeção de combustível, no caso de combustíveis líquidos, entre outros diversos fatores. O foco deste trabalho é em uma destas características vitais para a redução do consumo, a aerodinâmica. A equipe precisou construir uma carenagem, ao redor do chassi já existente, que cobrisse o piloto e obedecesse a todas as regras da competição. Para devida análise, com o objetivo de obter o veículo com menor coeficiente de arrasto, foram traçados os objetivos detalhados:

- Desenho de três modelos, baseado em dados de outras equipes;

- Análise CFD no ANSYS Fluent;
- Obtenção dos resultados de coeficiente de arrasto;
- Comparar os resultados e escolher o modelo com menor coeficiente de arrasto.

## 2. CONCEITOS

Ao analisar a fluidodinâmica, vários conceitos são utilizados, e dentre todos, alguns requerem explicações e definições, como escoamento, o número de Reynolds e do que realmente se trata o Arrasto Aerodinâmico.

### 2.1. 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, ocorrendo em camadas paralelas, o que resulta em menos mudanças no escoamento ao longo da superfície. A turbulenta ocorre quando há uma mistura caótica das partículas do fluido devido as mudanças na velocidade e pressão. 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).

### 2.2. 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).

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

No caso,  $Re$  é o número de Reynolds,  $\rho$  a densidade do fluido,  $V$  a velocidade de escoamento,  $L$  o comprimento do corpo e  $\mu$  a viscosidade dinâmica do fluido.

### 2.3. 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 uma equação para medição da mesma a partir de um experimento com uma esfera lisa, 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 (Windlin et al., 2012, p. 256, modificado).

### 2.4. 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 aumentada. 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).

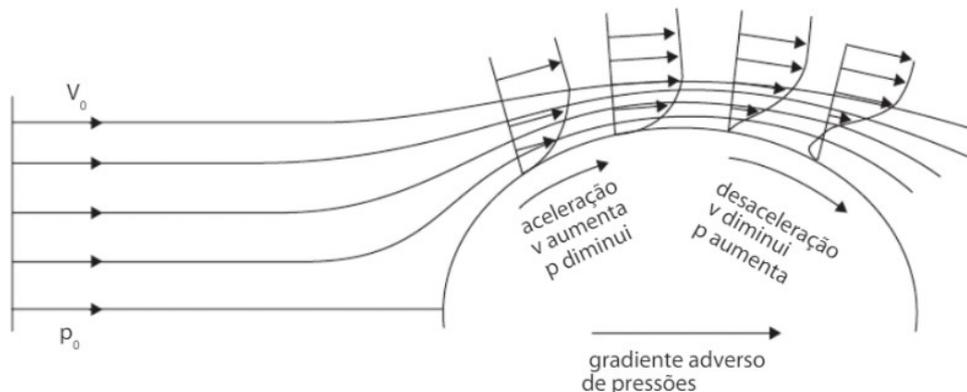


Figura 2. Perfil de velocidades em um sólido (Windlin et al., 2012, p. 262)

O arrasto aerodinâmico é estudado há anos, e com início focado na aviação, mas à medida que os carros ficaram mais numerosos e rápidos, esse assunto começou a ser considerado também na automobilística, com o principal objetivo de conseguir obter o melhor formato para os veículos, unindo segurança e utilidade (Ciéslinski, 2016).

Para esse trabalho o objetivo é apenas encontrar o coeficiente de arrasto, porém, há também a força de sustentação, que é outra resultante do movimento de corpos por fluidos, uma componente que é colinear com a força gravitacional, como podemos ver na Figura 3 (Abo-serie et al., 2017).

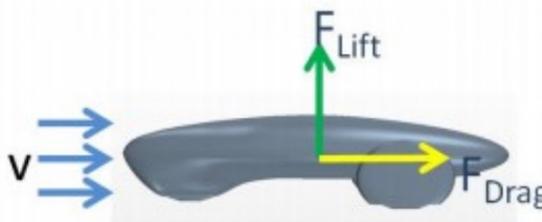


Figura 3. Forças de arrasto e sustentação (Abo-serie et al., 2017)

## 2.5. 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).

As equações de Navier-Stokes são:

$$\begin{aligned}
 \rho \frac{du}{dt} &= \rho g_x + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\
 \rho \frac{dv}{dt} &= \rho g_y + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\
 \rho \frac{dw}{dt} &= \rho g_z + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

Sendo  $p$  a densidade do fluido,  $g$  a gravidade e  $u, v$  e  $w$  as componentes cartesianas nos eixos  $x, y$  e  $z$ , respectivamente. A partir destas equações são desenvolvidos os diversos modelos de turbulências, inclusive o *Standard  $k - \epsilon$* .

### 3. MÉTODOLOGIA

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 4, os exemplos que serviram de base.



Figura 4. – Veículos que serviram de inspiração, com os valores de  $C_D$  sendo: (a) 0,107; (b) 0,13; (c) 0,096; (d) 0,075 ((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.

Os modelos de utilizados foram Laminar e *Standard  $k - \epsilon$*  de turbulência. O laminar foi usado como ferramenta para melhoria na conversão dos resultados. Para o cálculo em si, foram usados dois tipos de algoritmos de acoplamento de pressão, *SIMPLE e Coupled*. Algoritmos segregados de pressão utilizam uma solução de equações que são resolvidas sequencialmente, de maneira iterativa, obtendo através de conversão o resultado numérico. O *SIMPLE* é um método segregado, o que significa que utiliza soluções individuais para as equações, resolvendo-as uma a uma, e também um método que utiliza menos memória. O *Coupled* é um método mais acurado, porém usa mais memória, e por usa vez não é segregado, mas utiliza ao invés de equações separadas, um sistema de equações que são solucionadas concomitantemente. O primeiro converge melhor, porém o segundo é mais acurado. Além disso, há ainda os cálculos de primeira e segunda ordem, em que o primeiro converge mais rapidamente, entretanto utiliza menos dados, o que torna o de segunda ordem mais confiável em relação aos resultados finais (ANSYS INC., 2009).

Devido à natureza iterativa dos cálculos, foi feito um método para que o resultado fosse alcançado com melhor convergência, indo de um esquema mais simplificado (Laminar, *SIMPLE* e de Primeira Ordem), até um mais complexo, com as características desejadas para o resultado. A ordem de cálculos segue na Figura 5.

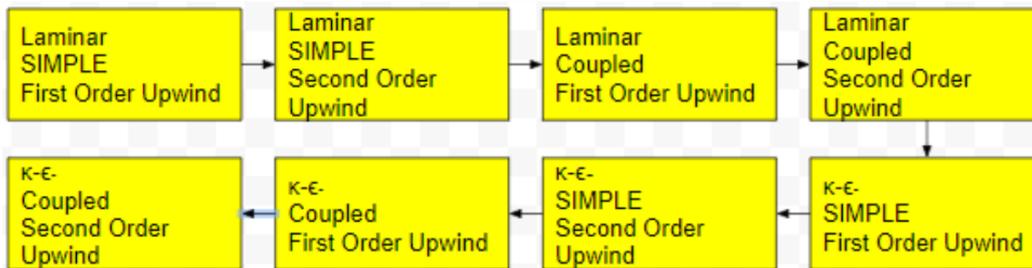


Figura 5. Fluxograma indicando a ordem de cálculos (Autoria própria, 2020)

As malhas dos três modelos seguem nas Figuras 6 e 7.

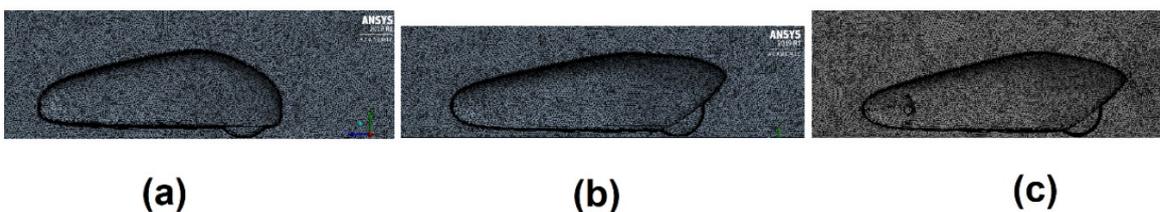


Figura 6. Malhas dos Modelos (a) 1, (b) 2 e (c) 3

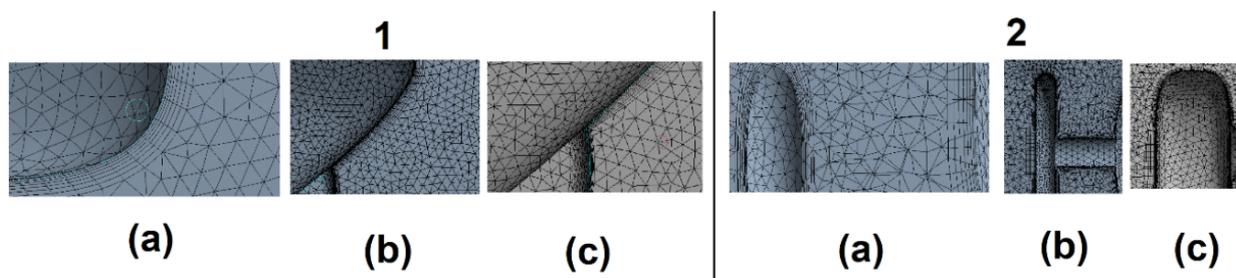


Figura 7. Detalhes das malhas nas rodas e na traseira (Autoria própria, 2020)

#### 4. RESULTADOS

Após rodar o programa, e realizar a análise CFD, foram obtidos os valores de coeficiente de arrasto para cada modelo, que seguem na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de coeficiente de arrasto dos modelos 1, 2 e 3 (Autoria própria, 2020)

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

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 Figura 7.

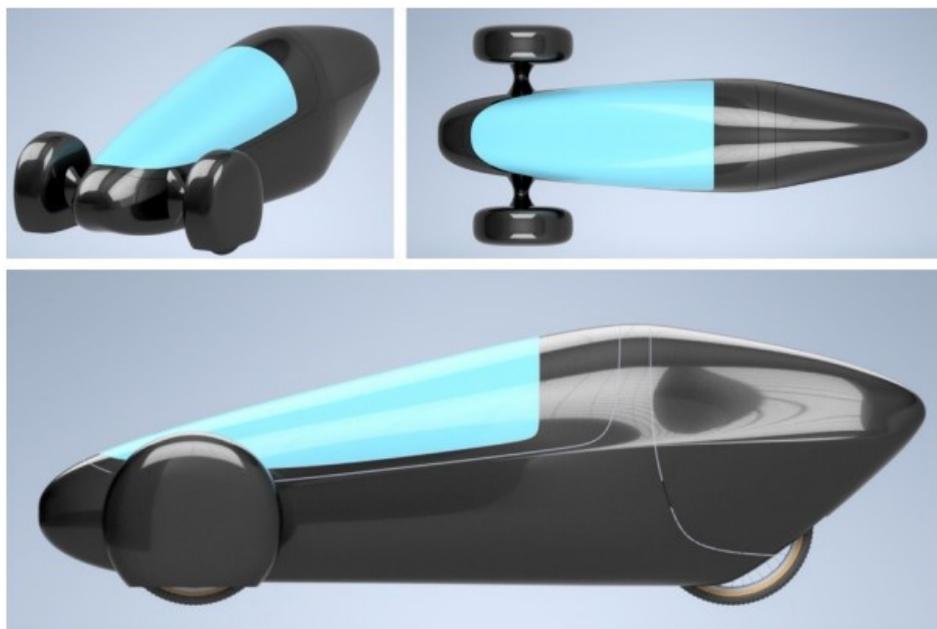


Figura 8. Modelo 3 finalizado.

## 5. 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.

## 4. REFERÊNCIAS

- Shell, 2020. “Make the Future: Shell Eco-Marathon”. 10 Out. 2020. < <https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-ecomarathon>>
- Potter, M. C.; Wiggert D. C., 2018. “Mecânica dos Fluidos”. Porto Alegre: Bookman.
- Çengel, Y. A.; Cimbala, J. M., 2015. “Mecânica dos Fluidos: fundamentos e aplicações”. 3. ed. Porto Alegre: Bookman.
- Anderson, J. D., 2011. “Fundamentals of Aerodynamics”. 5 ed. New York: McGraw-Hill.
- Windlin, Fernando; Tanaka Fábio; Ismail, Kamal; Malvezzi, Fernando, 2012. “Aerodinâmica Veicular”. 04 Ago. 2020. <(PDF) Aerodinamica Veicular (researchgate.net)>
- Cieślinski A.; Prym W.; Stajuda M.; Witkowski D. 2016 “Investigation on Aerodynamics o Super-Effective Car for Drag Reduction”. Lodz University of Technology Stefanowskiego 1/15, Łódz, Poland. 06 Out. 2020. <[repozytorium.p.lodz.pl/bitstream/handle/11652/1651/Investigation\\_aerodynamics\\_super\\_Cieslinski\\_Prym\\_2016.pdf](https://repozytorium.p.lodz.pl/bitstream/handle/11652/1651/Investigation_aerodynamics_super_Cieslinski_Prym_2016.pdf)>
- E. Abo-Serie; E. Oran; O. Utcu, 2017. “Aerodynamics Assessment using CFD for a low drag Shell Eco-Marathon Car”. Yildiz Technical University Press, Istanbul, Turkey. 06 Out. 2020. <<https://dergipark.org.tr/en/download/articlefile/364700>>
- Such, Matheus Rosa, 2018. “Análise aerodinâmica de um veículo de eficiência energética”. UFSC, Joinville.
- Sirojuddin; R. Engineu; Wardoyo, (2019). “Aerodynamic Drag Reduction of Vehicle Si Pitung G4 UNJ for Shell EcoMarathon Asia 2015”. 3rd UNJ International Conference on Technical and Vocational Education and Training 2018, KnE Social Science, pages 304–311. DOI 10.18502/kss.v3i12.4096
- ANSYS Inc., 2009. “ANSYS Fluent 12.0 Theory Guide: 18.1.1 Pressure-Based Solver”. 01 Oct. 2020. <ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide - 18.1.1 Pressure-Based Solver (enea.it)>

## 5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.