

ESTUDO PRELIMINAR DO INDICADOR DE PERFORMANCE  
AERODINÂMICO DO DESIGN DA CARENAGEM DE UM PROTÓTIPO VEICULAR  
DE COMPETIÇÃO VIA SOFTWARE FLUID FLOW DA PLATAFORMA ANSYS EM  
PARCERIA COM A EMPRESA ESSS

PRELIMINAR STUDY OF THE AERODYNAMIC PERFORMANCE  
INDICATOR OF A COMPETITIVE VEHICLE PROTOTYPE USING THE SOFTWARE  
FLUID FLOW FROM ANSYS PLATFORM IN PARTNERSHIP WITH THE ESSS  
COMPANY

ORTIGARA, L.<sup>1</sup>; COSTA; R. C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Discente do curso de Bacharelado de Engenharia Mecânica IFC Campus Luzerna.  
[luizeortigara@gmail.com](mailto:luizeortigara@gmail.com)

<sup>2</sup> Docente do curso de Bacharelado de Engenharia Mecânica IFC Campus Luzerna - Área de  
concentração e fabricação mecânica. [rodrigo.costa@ifc.edu.br](mailto:rodrigo.costa@ifc.edu.br)

IFC - Campus Luzerna. Avenida Frei João, 550, Centro, Luzerna - SC. CEP: 89609-000

## RESUMO

A necessidade de veículos elétricos ou híbridos, de alta eficiência energética, para micro mobilidade urbana impulsiona o desenvolvimento de projetos de pesquisa na área de engenharia mecânica tanto no nível acadêmico quanto no nível industrial. Neste contexto, a equipe de engenharia IFC Eco Team busca constantemente melhorar seus protótipos de veículos, com vistas para o melhor desempenho operacional de seu protótipo conforme critérios do evento Shell Eco Marathon. O uso do software de simulação Fluid Flow da plataforma ANSYS e patrocinado pela ESSS permitiu a realização do estudo aerodinâmico em dois modelos de carenagem. Neste estudo evidenciou-se que o *design* de carenagem com rodas internas (Carenagem modelo A) ao corpo apresentou melhor índice de performance que o *design* de carenagem com rodas externas ao corpo (Carenagem modelo B). Portanto, a carenagem de modelo A é a mais indicada para a equipe de engenharia IFC Eco Team.

**Palavras-chave:** Eficiência energética; Protótipo de carenagem; Estudo aerodinâmico.

## ABSTRACT

The necessity of electric or hybrid vehicles, with high energy-efficient, for micro urban mobility drives the development of research projects in the field of mechanical engineering at both the academic and industrial levels. In this context, the engineering team IFC Eco Team constantly seeks to improve its vehicle prototypes, to raise the operational performance of its prototype according to criteria of the Shell Eco Marathon event. The use of the Fluid Flow simulation software from the ANSYS platform and sponsored by the ESSS allowed the performance of the aerodynamic study in two vehicle models. In this study, it was evidenced that the design with internal wheels (Model A) presented a better performance indicator than the design with external wheels to the body (Model B). Therefore, the model A is the best fit for the IFC Eco Team engineering team.

## INTRODUÇÃO

Reacendido pela Cúpula do Clima no início de 2021, o debate sobre sustentabilidade e redução da emissão de gases estufa domina a pesquisa e o desenvolvimento do setor de energia (WASKOW e JAEGER, 2021). Isso porque, se a emissão de gases estufa se manter no mesmo ritmo de crescimento, a probabilidade de consequências catastróficas acontecerem aumenta consideravelmente (MARQUES, 1992).

Na busca de reduzir o consumo dos combustíveis fósseis, óleo diesel e gasolina, países do mundo inteiro incentivam a utilização de carros elétricos ou híbridos. Nesse contexto global, destaca-se o posicionamento da União Européia, a qual impôs a transição completa da sua frota de automóveis para veículos elétricos até 2030 (SOUZA, 2021).

A crescente demanda por veículos elétricos mexe com toda a cadeia de engenharia mecânica, desde a universidade até as empresas montadoras de automóveis. A corrida tecnológica está no desenvolvimento de veículos com alta eficiência energética. Para aumentar a eficiência de consumo de um veículo, convencional ou elétrico, é necessário reduzir suas perdas de energia. Nesse contexto, o setor de engenharia mecânica busca a todo momento sofisticar seus projetos com menor atrito dos elementos mecânicos, menor atrito do sistema pneus/piso e o menor arrasto do ar. Dentre as perdas de energia citadas, o arrasto do ar, em alguns casos, pode ser responsável por até 50% do consumo de combustível de um veículo (HUCHO, 1993). Nesse entendimento, os novos protótipos de veículos (automóveis), principalmente os de fonte de energia elétrica (bateria), apresentam carenagens com melhor design aerodinâmico a fim da redução do coeficiente de arrasto ( $C_d$ ).

Segundo Fox (2010), para determinar a aerodinâmica de um protótipo de veículo, quanto ao arrasto do ar agindo no corpo da carenagem, é necessário determinar o campo de pressão e velocidade do ar em relação à superfície do protótipo. O arrasto de atrito pode ser determinado de forma simplificada conforme visto na Equação 1, a qual busca representar a ação das moléculas de ar fluindo em contato com a superfície. O arrasto de atrito pode ser considerado como uma força sobre um corpo de área superficial ( $A$ ), consequente da viscosidade do fluido ( $\mu$ ), com densidade ( $\rho$ ), onde as moléculas, fluindo em contato com a superfície, irão ter velocidade nula.

$$\frac{F_d}{2} = \mu \rho v A \quad (1)$$

Onde:  $F_d$  é a força de arrasto (N);  $A$  é a área superficial ( $m^2$ );  $v$  é velocidade de escoamento (m/s);  $\mu$  é a viscosidade do fluido (Pa.s); e  $\rho$  é a densidade do fluido ( $kg/m^3$ ).

Outro arrasto que influencia na carenagem de um veículo é o arrasto de pressão, o qual irá ocorrer quando o gradiente de pressão do escoamento em relação ao comprimento do corpo seja maior que zero ( $\frac{\partial p}{\partial x} > 0$ ), ou seja, a pressão irá crescer no sentido do escoamento. Quando isso acontecer, haverá uma redução na velocidade das partículas do fluido. Se o gradiente for grande o suficiente, a velocidade poderá zerar e as partículas serão forçadas a separar da superfície do corpo para dar espaço para novas partículas, gerando um fenômeno indesejado chamado de “separação do escoamento”. Esse fenômeno pode fazer a separação das partículas de ar da camada limite, o que irá resultar em uma esteira na qual o escoamento é turbulento. Este fenômeno indesejado é visualmente aparente como vórtices na simulação virtual ou em dados empíricos de um túnel de vento. O arrasto de pressão é responsável por até 95% da força contrária ao movimento (FOX, 2010).

Com interesse de desenvolver projetos na área de micro mobilidade urbana de alto desempenho operacional, ou seja, com menor  $F_d$  teórico. No contexto acadêmico, o Instituto Federal Catarinense, IFC Câmpus Luzerna, mantém uma equipe de engenharia multidisciplinar. A equipe IFC Eco Team atualmente é formada por 10 pessoas, sendo dois (2) professores e oito (8) discentes do campus. Desse total de discentes, quatro (4) são alunos da graduação de Bacharelado em Engenharia Mecânica e quatro (4) alunos são da graduação de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação.

Essa equipe de engenharia, desde 2015, busca integrar e aplicar conhecimentos a fim de projetar e montar protótipos de veículos movidos a bateria. Um dos objetivos desta equipe é participar do evento de competição internacional denominado Shell Eco Marathon, cujo evento é patrocinado pela corporação internacional Shell. No evento da Shell Eco Marathon - 2019, a equipe IFC Eco Team conquistou a 5ª posição geral de eficiência energética, com a marca de 153,8 km/kWh.

Até o evento da Shell Eco Marathon - 2019, os protótipos de veículo elétrico apresentados pela equipe IFC Eco Team foram projetados sem aprofundamento do estudo aerodinâmico do design de suas respectivas carenagens. Por meio do patrocínio das empresas ESSS e ANSYS, o núcleo da engenharia mecânica desta equipe teve acesso ao software Fluid Flow da plataforma ANSYS R2020, cujo software foi utilizado para desenvolver um modelo de carenagem com base nas pesquisas bibliográficas e análise das simulações computacionais.

Nesse manuscrito será apresentado um estudo aerodinâmico do modelo de duas carenagens elaboradas para o novo protótipo de veículo elétrico, da equipe de engenharia IFC Eco Team, visando melhoria do resultado final da eficiência energética dentro da competição Shell Eco Marathon edição 2022.

## METODOLOGIA

Neste estudo foram avaliados dois tipos de carenagem. No primeiro tipo as rodas do veículo estão para fora de carenagem. Já no segundo tipo, as rodas do veículo estão para dentro de carenagem. Os projetos foram obtidos, via software de modelagem 3D, cuja as dimensões seguiram as seguintes observações: norma da competição Shell Eco Marathon para categoria de protótipo; tamanho corporal do piloto; orientações encontradas na bibliografia de outras equipes competidoras a nível internacional.

As dimensões e modelos das carenagens foram alterados durante o estudo teórico da aerodinâmica de cada design obtido. Isso foi necessário a fim de encontrar o design com menor força de arrasto ( $F_d$ ) possível sobre a superfície do protótipo. Cada modelo de carenagem foi testado no software Fluid Flow com as condições de contorno, conforme visualização da Tabela 1.

Tabela 1 - Condições de contorno para análise computacional.

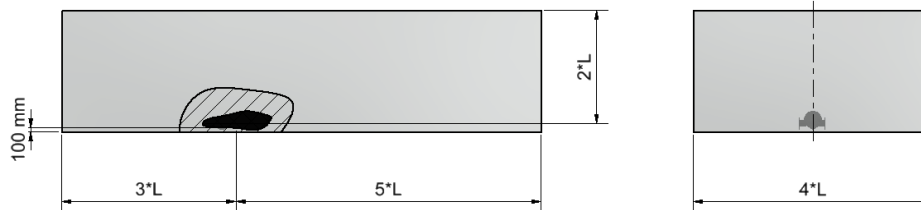
Configurações da simulação	Opções selecionadas pelo usuário
Modelo Físico	k-ε realizável
Algoritmo utilizado	<i>Pressure Based</i>
Velocidade de entrada do ar	10m/s
Pressão de saída	0 Pa
Método de Solução	<i>Coupled</i>

Fonte: Autor (2021).

Na prática, o coeficiente de arrasto é determinado em túneis de vento com um fluxo de ar entrando na face frontal e saindo pela face traseira deste túnel. Com exceção da entrada e da saída, o túnel é completamente vedado. Na simulação computacional, o túnel de vento foi simulado no *Fluid Flow*. Nesse caso, um prisma retangular foi adicionado no *Design Modeler* utilizando a função *Enclosure*. Lanfrit (2005) indica dimensões do comprimento e do posicionamento do protótipo dentro do prisma gerado, para que o escoamento de ar virtual possa se desenvolver de maneira adequada antes e depois do protótipo, o qual é considerado o objeto de interesse de estudo aerodinâmico. O comprimento frontal desse prisma (ambiente virtual) deve ser de 3 vezes o comprimento do protótipo (L) e o comprimento traseiro deve ser de 5 vezes. Na Figura 1, pode ser observado o prisma de simulação do túnel de vento, utilizado

neste estudo de caso. Como toda a caixa e o protótipo são simétricos longitudinalmente, foi possível utilizar a ferramenta *symmetry* tornando-se necessário calcular apenas metade do sistema a fim da redução do tempo de processamento.

Figura 1 - Comprimento do prisma em relação ao comprimento do protótipo.



Fonte: Autor (2021).

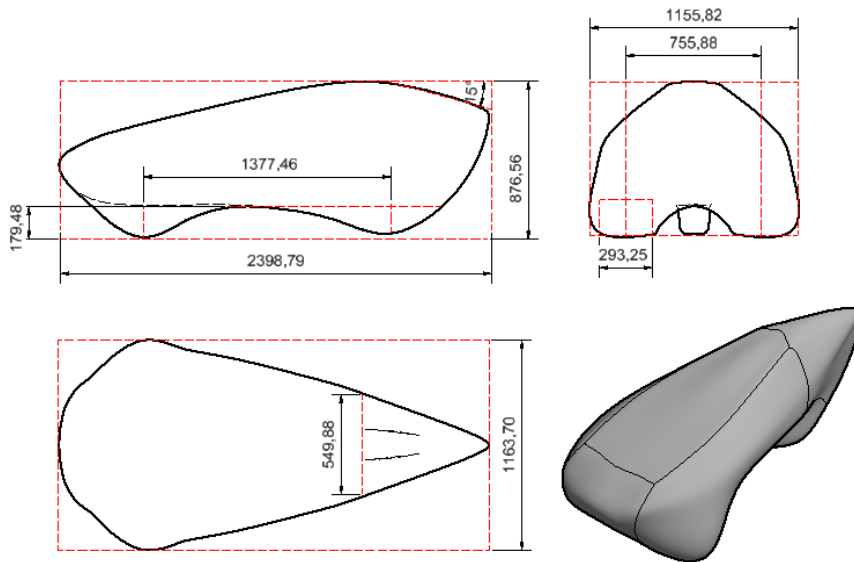
Neste estudo, a malha foi obtida com testes preliminares. Nesses testes foram considerados como variáveis fixas as geometrias da malha e os parâmetros utilizados foram: todas as faces da simulação; uma esfera de raio de 3000 mm criada ao redor do protótipo; e todas as faces do protótipo. Aqui foi considerado os elementos da malha como volume de controle, os quais foram utilizados para analisar um gradiente de pressão e um campo de vetores de velocidade. O tamanho dos elementos foram reduzidos a cada simulação dentro da seguinte condição: as variáveis de interesse (velocidade e pressão) não poderiam sofrer variação na intensidade, conforme aumento da quantidade de elementos na ordem de 150%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na metodologia, a Figura 2 (carenagem modelo A) e Figura 3 (carenagem modelo B) apresentam, respectivamente, os modelos entendidos como ideal para o referido estudo. A carenagem do modelo A apresenta como diferencial a cobertura quase que total das rodas dianteira e traseira do veículo.

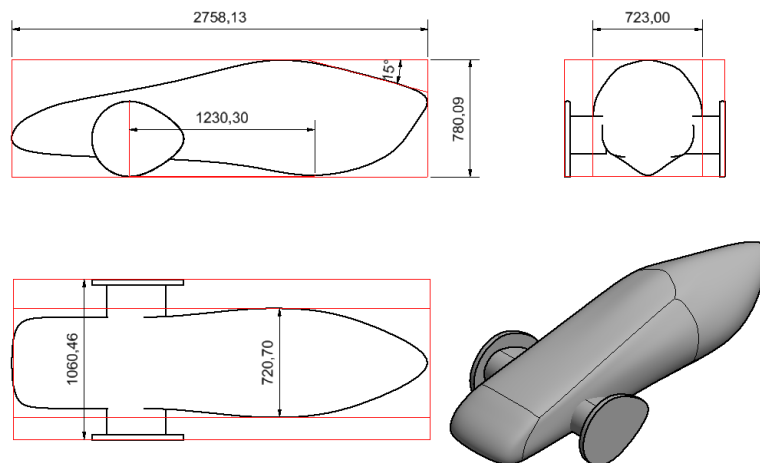
Já no protótipo do Modelo B as rodas dianteiras permanecem externas à carenagem. Para tanto, foi necessário projetar proteções aerodinâmicas para o sistema de articulação das rodas e proteções para as rodas. Esta necessidade fez com que os modelos finais de cada carenagem não apresentassem igualdade nas mesmas características geométricas e dimensionais (comprimento, largura e altura) do corpo.

Figura 2 - Característica dimensional da carenagem modelo A.



Fonte: O autor (2021).

Figura 3 - Característica dimensional da carenagem modelo B.

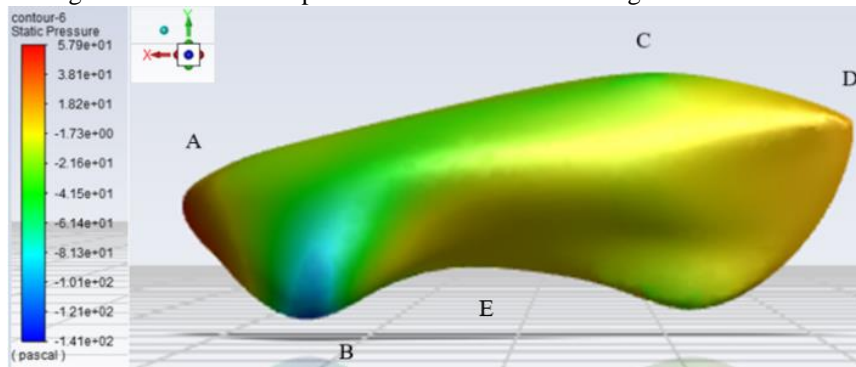


Fonte: O autor (2021).

Contudo, um valor simétrico para ambos os modelos de carenagem é o ângulo de ataque traseiro na ordem de  $15^\circ$ . Esta característica decorre da literatura. Conforme indicado por Hucho (1985) o ângulo de ataque de  $15^\circ$  está em um intervalo em que o escoamento não descole da camada limite. Outro fator importante é que a diferença da seção não seja tão abrupta a ponto de gerar vórtices turbulentos. Neste caso, o ângulo de ataque de  $15^\circ$  irá gerar o mínimo de arrasto de pressão.

Como pode ser observado na Figura 4, o gradiente de pressão estática na carenagem do modelo A tem diferença entre a parte superior e inferior do design final. Nota-se que a parte de baixo das rodas terá uma pressão próxima à mínima (-141 Pa), dessa forma a pressão estática na parte superior da carenagem será maior que na parte inferior da roda, tendo um vetor de força com sentido vertical e direção em -y, gerando sustentação. Entretanto esse efeito é contrário no ponto E, devido às velocidades negativas resultantes das quebras de seções das rodas.

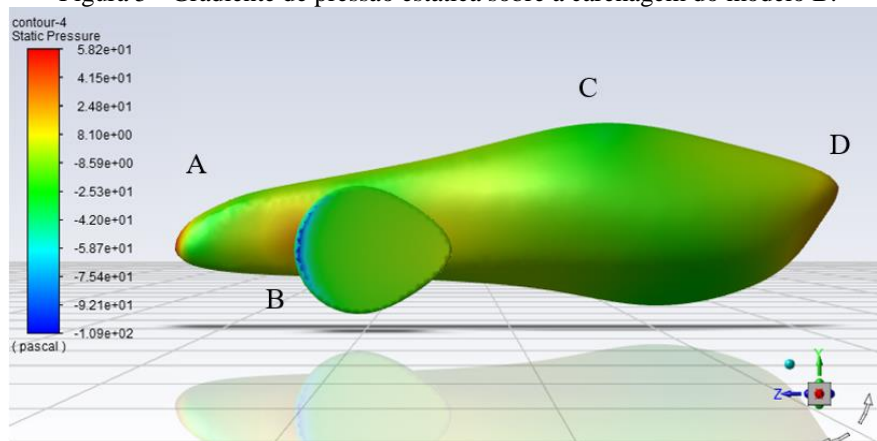
Figura 4 - Gradiente de pressão estática sobre a carenagem do modelo A.



Fonte: o autor (2021).

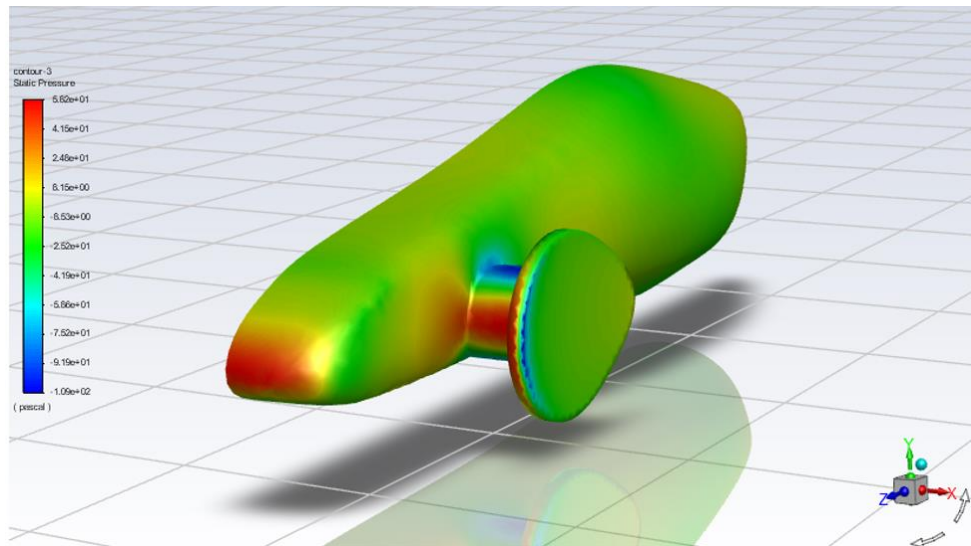
Na Figura 5 e Figura 6, pode ser observado o resultado quanto à análise da pressão estática sobre a carenagem do modelo B. Nota-se que a proteção aerodinâmica da articulação do eixos (sistema de direção) e proteção das rodas tem uma pressão negativa apenas na parte superior devido ao aumento da seção no túnel de vento virtual. O mais significativo nesta análise é que a pressão negativa na parte exterior da roda, causada pelos vetores de velocidade, são normais à carenagem, o que poderá influenciar na direção devido a diferença de pressão estática de aproximadamente 200 Pa.

Figura 5 - Gradiente de pressão estática sobre a carenagem do modelo B.



Fonte: Autor (2021).

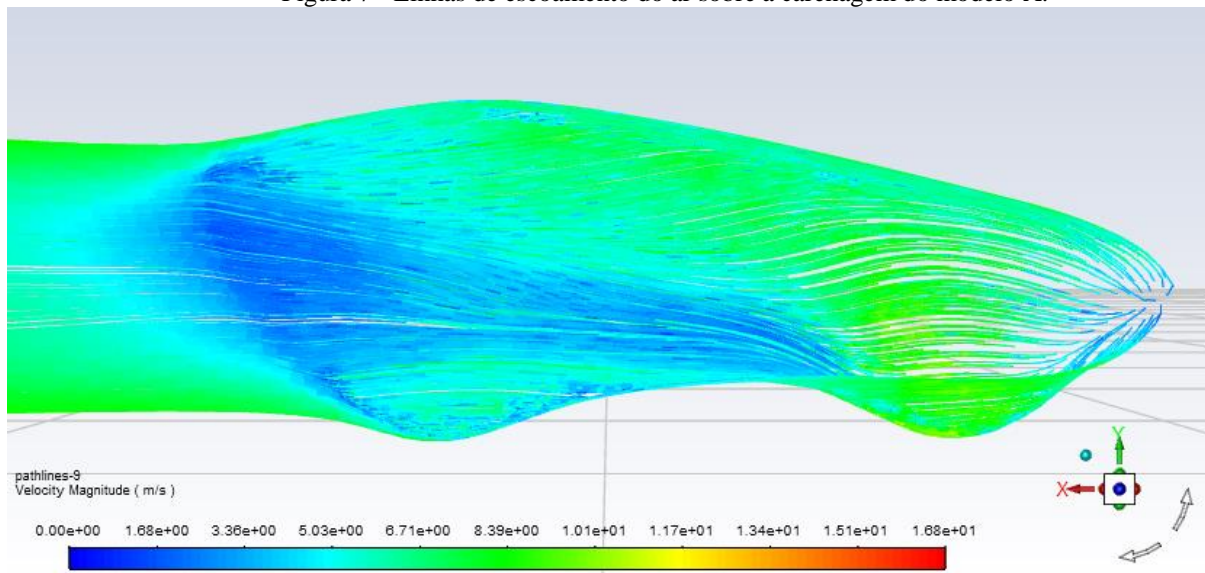
Figura 6 - Gradiente de pressão estática sobre a carenagem do modelo B em vista isométrica.



Fonte: Autor (2021).

A análise da formação de vórtices evidenciou que a carenagem do modelo A apresenta linhas contínuas em toda a sua geometria. Como pode ser observado na Figura 7, as linhas de escoamento seguem um fluxo contínuo, mesmo nas velocidades mais baixas na ordem de 1,68 m/s, demonstrando que não houve separação de escoamento.

Figura 7 - Linhas de escoamento do ar sobre a carenagem do modelo A.



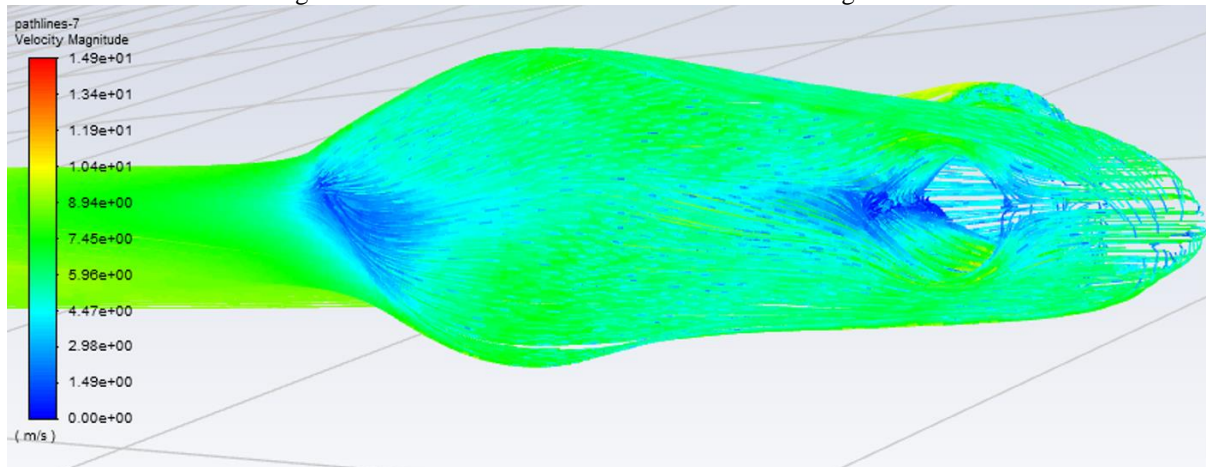
Fonte: Autor (2021).

A Figura 8 mostra que os acessórios envolventes do sistema de direção e rodas influenciam negativamente no escoamento do ar, gerando vórtices logo atrás desses elementos. Essa evidência decorre do entendimento que existe uma quebra de seção entre a carenagem e a geometria dos acessórios. Já na parte de trás, pode ser observada uma convergência do fluxo



de ar da carenagem do modelo B (1,49 m/s), a qual é muito semelhante à convergência observada na carenagem do modelo A (1,68 m/s).

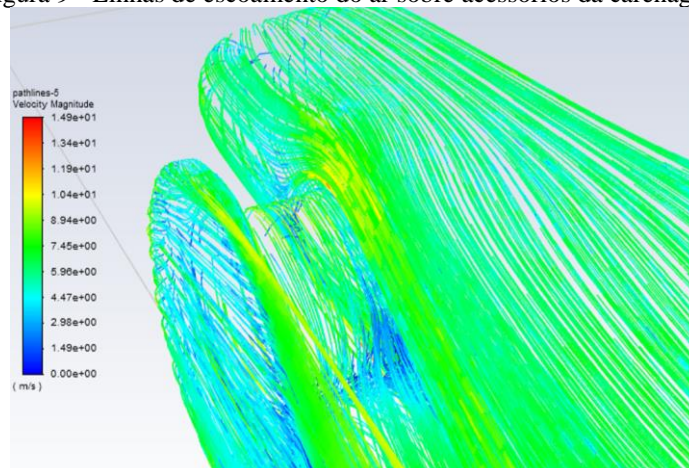
Figura 8 - Linhas de escoamento do ar sobre a carenagem do modelo B.



Fonte: Autor (2021).

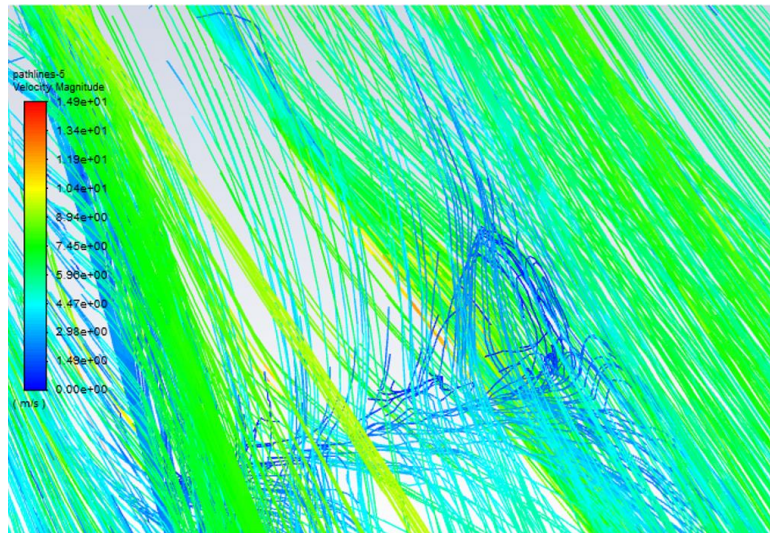
A Figura 9 e Figura 10 apresentam com maior detalhe o problema do vórtice gerado na quebra de seção dos acessórios de proteção do sistema de direção e rodas, com a carenagem do modelo B. A Figura 9, demonstra uma noção geral do problema do vórtice, notando-se que as linhas de escoamento não estão contínuas, retornando na parte traseira do acessório. A Figura 10 apresenta, em forma de linhas de escoamento, o fenômeno caótico do vórtice de maneira mais detalhada.

Figura 9 - Linhas de escoamento do ar sobre acessórios da carenagem modelo B.



Fonte: Autor (2021).

Figura 10 - Linhas de fluxo do Modelo B na parte frontal



Fonte: Autor (2021).

O estudo sobre pressão e força de arrasto realizado demonstra que a carenagem do modelo A, mesmo apresentando maior área transversal, possui como resultante menor coeficiente ( $C_d$ ) e força de arrasto ( $F_d$ ) em relação à carenagem do modelo B. Esse confronto de resultados pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis diretamente proporcionais à aerodinâmica da carenagem.

Variáveis de estudo	Modelo A	Modelo B
Área Transversal [m <sup>2</sup> ]	0,753	0,50
Coeficiente de Arrasto [adimensional]	0,04755	0,08605
Indicador de performance (A.Cd) [m <sup>2</sup> ]	0,03580	0,043025
Força de Arrasto [N]	1,037	1,247

Fonte: Autor (2021).

O design da carenagem do modelo A apresenta redução de aproximadamente 44% do coeficiente de arrasto e redução de 17% da força de arrasto em relação à carenagem do modelo B. As reduções observadas decorrem do melhor indicador de performance da carenagem do modelo A (0,0358 m<sup>2</sup>), frente ao indicador da carenagem do modelo B (0,043025 m<sup>2</sup>). Aqui, tem-se o entendimento que quanto menor o indicador de performance mais aerodinâmico será o design elaborado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram que um sistema de direção e roda aparente (externa à carenagem) interfere significativamente no indicador de performance aerodinâmica de um veículo. Mesmo a carenagem do modelo B apresentando menor área transversal ( $0,5 \text{ m}^2$ ), em relação à carenagem do modelo A ( $0,753 \text{ m}^2$ ), este tipo de design de apresentou maior coeficiente de arrasto, sendo 55,3% maior em relação à carenagem do modelo A.

Considerando o indicador de performance conclui-se que o *design* de carenagem do modelo A é o mais indicado para a equipe de engenharia IFC Eco Team, uma vez que este modelo de carenagem apresenta redução de 17% da força de arrasto em relação à carenagem do modelo B.

Contudo, por meio de pesquisas bibliográficas a área de seção transversal, de ambos os *designs* de carenagem, ainda é relativamente alta. Isso indica, que futuros projetos com foco na otimização aerodinâmica podem obter um modelo mais compacto dentro dos padrões de ergonomia e segurança requisitados pelo evento Shell Eco Marathon.

## REFERÊNCIAS

DE SOUZA, Carolina Curassá Rosa; HIROI, Jaqueline. O Mercado de carros elétricos no Brasil: análise de entraves e sugestões para expansão. **Práticas em Contabilidade e Gestão**, v. 9, n. 1, p. 1, 2021.

FOX, RW MCDONALD; PRITCHARD, A. T. PJ Introdução à mecânica dos fluidos. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

HUCHO, Wolf; SOVRAN, Gino. Aerodynamics of road vehicles. **Annual review of fluid mechanics**, v. 25, n. 1, p. 485-537, 1993.

MARQUES, Valdo S. O efeito estufa e o aquecimento global. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 15, p. 93-106, 1992.

WASKOW, D.; JAEGER, J.; THWAITES, J. **4 Big Outcomes the Leaders Summit on Climate Can Deliver**. 4 2021.