

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO DE LIMA ALVARENGA BOTTREL

PROJETO DECARBON: UM CONCEPT CAR ELÉTRICO DESENVOLVIDO  
PARA MOBILIDADE URBANA E MÉDIOS DESLOCAMENTOS

CURITIBA

2025

Fernando de Lima Alvarenga Bottrel

PROJETO DECARBON: UM CONCEPT CAR ELÉTRICO DESENVOLVIDO  
PARA MOBILIDADE URBANA E MÉDIOS DESLOCAMENTOS

TCC apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, Setor de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. João Américo Vilela Jr.

Coorientador: Prof. Dr. Luis Henrique A. Loris

CURITIBA

2025

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

FERNANDO DE LIMA ALVARENGA BOTTREL

### **PROJETO DECARBON: UM CONCEPT CAR ELÉTRICO DESENVOLVIDO PARA MOBILIDADE URBANA E MÉDIOS DESLOCAMENTOS**

TCC apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, Setor de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista/Bacharel em Engenharia Automotiva.

---

Prof. Dr. João Américo Vilela Jr.

Orientador(a) – Departamento Engenharia Elétrica, UFPR

---

Prof. Dr. Luis Henrique A. Loris

Orientador(a) – Departamento Engenharia Elétrica, UFPR

Curitiba, 20 de Junho de 2025.

Dedico este trabalho aos meus pais, **Renan Alvarenga Bottrel** e **Jeane d'Arc de Lima**, que, com amor, dedicação e firmeza, foram os pilares da minha formação.

Desde os primeiros passos na educação básica até esta etapa de especialização em Engenharia Automotiva pela UFPR, vocês estiveram presentes, acreditando no meu potencial mesmo quando eu duvidava.

Este título carrega não apenas o peso do meu esforço, mas, sobretudo, o reflexo do compromisso e dos valores que vocês me ensinaram.

Gratidão eterna por tudo.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor **João Américo Vilela Jr**, meu orientador, expresso minha profunda gratidão.

Com seu vasto conhecimento, generosidade e, sobretudo, uma didática admirável, foi mais que um guia acadêmico: foi uma inspiração. Mesmo em um curto período de orientação e convivência em sala de aula, seu impacto foi significativo, contribuindo de forma decisiva para o meu crescimento não apenas acadêmico e profissional, mas também pessoal.

Agradeço pela confiança, pelas valiosas orientações e pelo exemplo de dedicação ao ensino e à formação de engenheiros.

**“A física nada mais é do que uma tentativa de compreender como o universo funciona — e, a partir disso, transformar esse conhecimento em benefício para a humanidade.”**

*— Richard Feynman.*" epígrafe.

## RESUMO

O presente trabalho descreve o desenvolvimento do *DeCarbon*, um veículo conceito (concept car) elétrico, leve e aerodinâmico, projetado para atender às exigências da mobilidade urbana e de viagens de médio alcance, com distâncias de até 400 km. O projeto foi concebido com foco em eficiência energética, racionalidade construtiva e sustentabilidade ambiental. O veículo adota motopropulsor totalmente elétrico e configuração de dois assentos em tandem.

Uma das premissas fundamentais do projeto é a redução da massa suspensa, obtida por meio da eliminação de dois a três assentos convencionais, da simplificação dos acabamentos internos e da diminuição da área envidraçada. Essa abordagem contribui diretamente para a melhoria do desempenho aerodinâmico e da eficiência energética, além de favorecer a leveza estrutural e a economia de materiais.

Os dados obtidos em pesquisas de campo, demonstradas no item desenvolvimento deste trabalho, realizadas no hipercentro da cidade de Curitiba, indicam que 91% dos veículos que trafegam na região em viagens intermunicipais circulam com apenas um ou dois ocupantes. Esse resultado evidencia a viabilidade do *DeCarbon* como alternativa compatível com esse perfil de usuário, oferecendo uma solução eficiente, econômica e ambientalmente responsável. As características dinâmicas, a aerodinâmica otimizada e a praticidade do modelo o tornam ainda apto a percorrer trajetos intermunicipais com conforto, segurança, desempenho e, sobretudo, eficiência energética.

Como resultado, foi desenvolvida uma maquete digital detalhada do *DeCarbon*, modelada integralmente no software SolidWorks, permitindo a análise tridimensional da estrutura, ergonomia e componentes do veículo. Para complementar a apresentação visual da proposta, foram geradas renderizações realistas com o uso da plataforma de inteligência artificial Hailuo AI, proporcionando uma representação gráfica precisa e impactante da solução desenvolvida.

**Palavras-chave:** mobilidade urbana; sustentabilidade; concept car elétrico; redução de massa suspensa; modelagem 3D.

## ABSTRACT

This study presents the development of *DeCarbon*, a lightweight and aerodynamic electric concept car designed to meet the demands of urban mobility and medium-range travel, with distances of up to 400 km. The project was conceived with a focus on energy efficiency, structural rationality, and environmental sustainability. The vehicle features a fully electric powertrain and a tandem two-seat configuration.

One of the core premises of the project is the reduction of suspended mass, achieved by eliminating two to three conventional seats, simplifying interior finishes, and reducing the glazed surface area. This approach directly contributes to improved aerodynamic performance and energy efficiency, while also promoting structural lightness and material economy.

Field research conducted in the central region of Curitiba, Brazil, revealed that 91% of vehicles used for intermunicipal trips in that area carry only one or two occupants. This finding underscores the viability of *DeCarbon* as an appropriate alternative for this user profile, offering an efficient, economical, and environmentally responsible mobility solution. Its dynamic behavior, optimized aerodynamics, and practicality also make it suitable for intercity travel, ensuring comfort, safety, performance, and, above all, energy efficiency.

As a final result, a detailed digital model of *DeCarbon* was developed using SolidWorks, allowing for three-dimensional analysis of the structure, ergonomics, and components of the vehicle. To complement the visual presentation, realistic renderings were generated using the Hailuo AI artificial intelligence platform, providing a precise and impactful graphical representation of the proposed solution.

**Keywords:** urban mobility; sustainability; electric concept car; suspended mass reduction; 3D modeling

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 – MODELO DE MOTOR DE FLUXO AXIAL EMRAX 228.....        | 49 |
| FIGURA 2 – MODELO DRIVE DE CONTROLE CM200.....                  | 49 |
| FIGURA 3 – DISPOSIÇÃO DO MOTOR ELETRICO E DRIVE NO VEÍCULO..... | 51 |
| FIGURA 4 – CURVA DE OTIMIZAÇÃO DO MOTOR EMRAX 228.....          | 52 |
| FIGURA 5 – DESENHO CONSTRUTIVO MOTOR EMRAX 228.....             | 52 |
| FIGURA 6 – RENDERIZAÇÃO VEÍCULO DE CARBON.....                  | 55 |
| FIGURA 7 – VISTA DO ASSOALHO E DIFUSOR DE AR.....               | 56 |
| FIGURA 8 – RENDERIZAÇÃO VEÍC. DECARBON MOSTRANDO SCOOP.....     | 57 |
| FIGURA 9 – MODELO 3D DECARBON MOSTRANDO PERFIL BAIXO.....       | 58 |
| FIGURA 10 – RENDERIZAÇÃO MOD 3D MOSTRANDO AERODINÂMICA.....     | 59 |
| FIGURA 11 – RENDERIZAÇÃO MODELO 3D MOSTRANDO PNEUS.....         | 64 |
| FIGURA 12 – PACKING INTERNO COM CONFIGURAÇÃO TANDEM.....        | 62 |
| FIGURA 13 – PACKING INTERNO VISÃO LATERAL.....                  | 65 |
| FIGURA 14 – PACKING INTERNO VISÃO SUPERIOR.....                 | 64 |
| FIGURA 15 – MOD. 3D DA SUSPENSÃO DIANT. MACPHERSON.....         | 65 |
| FIGURA 16 – MOD. 3D CHASSIS E CÉLULA DE SOBREVIVÊNCIA.....      | 68 |
| FIGURA 17 – MOD. 3D CHASSIS E CÉLULA DE SOBREVIVÊNCIA.....      | 68 |
| FIGURA 18 – DISPOSIÇÃO DO PACKING DE BATERIAS.....              | 71 |
| FIGURA 19 – MODELAGEM 3D DO PACKING DE BATERIAS.....            | 71 |
| FIGURA 20 – MODELAGEM DE UMA BATERIA TIPO BLADE BYD.....        | 73 |
| FIGURA 21 – MODELAGEM 3D DISCO DE FREIO DUPLO VENTILADO.....    | 75 |
| FIGURA 22 – MODELAGEM CONJUNTO DE FREIO DECARBON.....           | 76 |
| FIGURA 23 – MODELAGEM CONJUNTO DE FREIO DECARBON.....           | 76 |
| FIGURA 24 – RENDERIZAÇÃO DECARBON MOSTRANDO DESIGN.....         | 79 |
| FIGURA 25 – RENDERIZAÇÃO DECARBON MOSTRANDO DESIGN.....         | 79 |
| FIGURA 26 – VISTA FRONTAL MODELO DECARBON.....                  | 80 |
| FIGURA 27 – LOGOTIPO VEÍCULO DECARBON.....                      | 81 |
| FIGURA 28 – MODELAGEM DECARBON 2/3 TRASEIRA.....                | 82 |
| FIGURA 29 – MODELAGEM DECARBON 2/3 FRENTE.....                  | 82 |
| FIGURA 30 – ASPECTO GERAL EXTERNO DECARBON.....                 | 90 |
| FIGURA 31 – ASPECTO GERAL EXTERNO DECARBON.....                 | 90 |
| FIGURA 32 – VISÃO EXTERNA DECARBON COM TRANSPARÊNCIA.....       | 90 |

FIGURA 33 – VISÃO EXTERNA DECARBON COM TRANSPARÊNCIA.....91

FIGURA 34 – VISÃO EXTERNA DECARBON COM TRANSPARÊNCIA.....91

FIGURA 35 – VISÃO EXTERNA DECARBON COM TRANSPARÊNCIA.....92

FIGURA 36 – VISÃO 3D PROJETO CHASSIS.....92

FIGURA 37 – VISÃO 3D PROJETO CHASSI.....92

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| GRÁFICO 1 – PARETO DE MOBILIDADE URBANA.....       | 42 |
| GRÁFICO 2 – PARETO DE MOBILIDADE URBANA.....       | 42 |
| GRÁFICO 1 – PARETO DE MOBILIDADE INTERMUCIPAL..... | 47 |
| GRÁFICO 2 – PARETO DE MOBILIDADE INTERMUCIPAL..... | 47 |



## **LISTA DE QUADROS**

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| QUADRO 1 – CONTABILIZAÇÃO DA REDUÇÃO DE PESO..... | 89 |
|---------------------------------------------------|----|

## LISTA DE TABELAS

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 – PESQUISA DE CAMPO DE MOBILIDADE URBANA.....         | 38 |
| TABELA 2 – PESQUISA DE CAMPO DE MOBILIDADE URBANA.....         | 39 |
| TABELA 3 – PESQUISA DE CAMPO DE MOBILIDADE URBANA.....         | 40 |
| TABELA 4 – PESQUISA DE CAMPO DE MOBILIDADE URBANA.....         | 41 |
| TABELA 5 – ESTRATIFICAÇÃO DOS DADOS.....                       | 42 |
| TABELA 6 – PESQUISA DE CAMPO DE MOBILIDADE INTERMUNICIPAL..... | 43 |
| TABELA 7 – PESQUISA DE CAMPO DE MOBILIDADE INTERMUNICIPAL..... | 44 |
| TABELA 8 – PESQUISA DE CAMPO DE MOBILIDADE INTERMUNICIPAL..... | 45 |
| TABELA 9 – PESQUISA DE CAMPO DE MOBILIDADE INTERMUNICIPAL..... | 46 |
| TABELA 10 – ESTRATIFICAÇÃO DOS DADOS.....                      | 47 |
| TABELA 11 – CONTABILIZAÇÃO DA REDUÇÃO DE PESO.....             | 84 |

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Cd – Coeficiente de Arrasto

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CO – Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CFD – Computational Fluid Dynamics

HC – Hidrocarbonetos não queimados

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA – *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)

NO<sub>x</sub> – Óxidos de Nitrogênio

OMS – Organização Mundial da Saúde

R\$ – Real (moeda oficial do Brasil)

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

VE – Veículo Elétrico

VEs – Veículos Elétricos

## LISTA DE SÍMBOLOS

- A – Área frontal do veículo ( $\text{m}^2$ )
- Cd – Coeficiente de arrasto aerodinâmico (adimensional)
- Cl – Coeficiente de sustentação (adimensional)
- Cp – Coeficiente de pressão (adimensional)
- D – Diâmetro da roda (m)
- F – Força (N)
- Fa – Força aerodinâmica (N)
- Fg – Força gravitacional (N)
- Fr – Força de resistência ao rolamento (N)
- g – Aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ )
- L – Comprimento do veículo (m)
- M – Massa do veículo (kg)
- P – Potência (W)
- r – Raio da roda (m)
- Re – Número de Reynolds (adimensional)
- p – Densidade do ar ( $\text{kg/m}^3$ )
- T – Torque (Nm)
- V – Velocidade do veículo (m/s)
- $\eta$  – Eficiência (adimensional)

## SUMÁRIO

|          |                                           |           |
|----------|-------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                    | <b>16</b> |
| 1.1      | PROBLEMA.....                             | 19        |
| 1.2      | OBJETIVOS.....                            | 22        |
| 1.2.1    | Objetivo geral.....                       | 24        |
| 1.2.2    | Objetivos específicos.....                | 25        |
| 1.3      | JUSTIFICATIVA.....                        | 26        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>         | <b>28</b> |
| <b>3</b> | <b>DESENVOLVIMENTO.....</b>               | <b>37</b> |
| <b>4</b> | <b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>   | <b>85</b> |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>          | <b>93</b> |
| 5.1      | RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 94        |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                   | <b>95</b> |
|          | APÊNDICE .....                            | 95        |

## 1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana constitui um dos principais desafios enfrentados pelas metrópoles contemporâneas, impulsionada pelo crescimento demográfico acelerado, pela expansão desordenada dos centros urbanos e pela dependência do transporte individual motorizado. Essa combinação intensifica problemas como congestionamentos, poluição atmosférica, ruído excessivo, emissões de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), e perdas significativas de produtividade. Em São Paulo, por exemplo, os congestionamentos urbanos são responsáveis por prejuízos estimados em mais de R\$ 270 bilhões por ano, impactando diretamente a economia nacional (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2019).

Os motores a combustão interna são fontes relevantes de emissão de poluentes tóxicos, como óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados (HC) e formaldeídos. Esses compostos são altamente nocivos à saúde humana, associados ao aumento de doenças respiratórias, cardiovasculares e até mesmo a cânceres, além de contribuírem para a intensificação do efeito estufa. A Organização Mundial da Saúde (OMS) destaca que, em diversas cidades, os níveis desses poluentes superam os limites recomendados, provocando milhares de mortes prematuras e sobrecarregando os sistemas públicos de saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2018).

Nesse contexto, os veículos elétricos (VEs) surgem como uma alternativa promissora para a mitigação dos impactos ambientais e sociais da mobilidade urbana. Por não emitirem poluentes durante sua operação, contribuem significativamente para a melhoria da qualidade do ar e para a redução da poluição sonora. Além disso, os VEs apresentam elevada eficiência energética, com rendimento superior a 90%, em comparação aos cerca de 25% dos motores a combustão interna (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2022).

Outro aspecto crucial é o desempenho veicular em rodovias, particularmente no que se refere à capacidade de realizar ultrapassagens com segurança e à disponibilidade de reserva de potência. Essas características são essenciais para

garantir o uso seguro e versátil dos veículos elétricos em trajetos intermunicipais e rodoviários. A ausência dessas qualidades representa uma barreira à adoção em larga escala desses veículos, especialmente em países de dimensões continentais como o Brasil.

Além do desempenho, destaca-se a autonomia como fator determinante na viabilidade dos veículos elétricos para aplicações rodoviárias. Para garantir praticidade e segurança em deslocamentos intermunicipais, torna-se necessária uma autonomia mínima de 400 km em condições reais de uso. Tal autonomia proporciona maior flexibilidade ao usuário, reduz a ansiedade relacionada à recarga e diminui a dependência de uma infraestrutura de carregamento que ainda se encontra em desenvolvimento em diversas regiões do país.

Estudos da Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2022) e dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021) indicam que mais de 80% dos deslocamentos urbanos em veículos particulares são realizados com apenas um ou, no máximo, dois ocupantes. Esse cenário evidencia o descompasso entre o tamanho dos veículos convencionais e a real demanda dos usuários, resultando em desperdício de energia e ineficiência no uso do espaço urbano.

Adicionalmente, pesquisas de campo realizadas no desenvolvimento deste trabalho revelaram que 91% dos veículos que circulam pelo hipercentro de Curitiba o fazem com um ou até dois passageiros. Resultados semelhantes foram encontrados em trajetos intermunicipais, nos quais 91% dos veículos que se deslocam de Curitiba até cidades próximas também trafegam com apenas um ou dois ocupantes. Esses dados reforçam a pertinência de soluções mais adequadas a esse perfil de uso. Um veículo com dois assentos dispostos em tandem e capacidade de bagagem de aproximadamente 400 litros seria suficiente para atender a essa demanda, desde que o usuário aceite abrir mão de maior vão livre em relação ao solo e parte do espaço interno.

Diante desse panorama, torna-se urgente o desenvolvimento de veículos elétricos mais compactos, leves e eficientes, capazes de atender simultaneamente às demandas da mobilidade urbana e aos requisitos de autonomia e segurança para

trajetos intermunicipais. O concept car *DeCarbon*, com propulsão 100% elétrica, dois assentos em tandem, estrutura leve, aerodinâmica otimizada e redução da massa suspensa por meio da eliminação de assentos convencionais, simplificação de acabamentos e redução da área envidraçada representa uma resposta inovadora e tecnicamente viável às exigências atuais de sustentabilidade, racionalidade e desempenho no transporte pessoal.



## 1.1 PROBLEMA

Embora os veículos elétricos muito compactos apresentem diversas vantagens no contexto urbano como facilidade de estacionamento, menor ocupação do espaço viário e reduzido consumo energético em percursos curtos, sua aplicação em deslocamentos intermunicipais ou rodoviários de média distância encontra limitações significativas. Tais restrições decorrem, principalmente, de três fatores técnicos centrais: performance, segurança e autonomia. Em vias de velocidade elevada, como rodovias estaduais e federais, é exigida uma reserva de potência adequada para ultrapassagens, retomadas e manutenção de velocidade constante em aclives. Modelos ultracompactos, com motores de baixa capacidade e baterias limitadas, tendem a apresentar desempenho insatisfatório nessas condições, comprometendo a segurança ativa do veículo e dos ocupantes.

Do ponto de vista da segurança veicular, veículos extremamente reduzidos em comprimento e largura também enfrentam desafios estruturais. A menor massa e o entre-eixos encurtado dificultam a absorção de energia em impactos frontais ou laterais, além de aumentarem a instabilidade em manobras evasivas e em situações de vento lateral em alta velocidade. Somado a isso, a autonomia reduzida desses modelos compactos, geralmente inferior a 150 km em condições reais de uso, impõe limitações logísticas significativas, especialmente em regiões onde a infraestrutura de recarga elétrica ainda é incipiente. Assim, apesar da aparente eficiência espacial, esses veículos não atendem de forma satisfatória os requisitos de segurança, desempenho e alcance exigidos para viagens intermunicipais.

Outro fator limitante diz respeito à aerodinâmica veicular. Veículos muito curtos e altos, comuns em propostas ultracompactas, tendem a apresentar maior coeficiente de arrasto ( $C_d$ ), especialmente em velocidades superiores a 80 km/h, típicas de uso rodoviário. Isso ocorre porque o formato compacto dificulta o escoamento laminar do ar sobre a carroceria, gerando vórtices e zonas de turbulência que aumentam a resistência ao avanço. Para minimizar esses efeitos, é recomendável a adoção de um design com área frontal reduzida e altura do chassi mais próxima ao solo, o que favorece o escoamento aerodinâmico e reduz

significativamente o arrasto, contribuindo diretamente para a eficiência energética em velocidade de cruzeiro.

Outro aspecto frequentemente negligenciado nos veículos elétricos urbanos é o limitado espaço disponível para bagagens. Em projetos voltados exclusivamente para o uso citadino, a capacidade do porta-malas tende a ser reduzida, dado o foco em dimensões compactas e a necessidade de alocação de componentes como baterias e sistemas de tração. No entanto, para que um veículo seja considerado funcional em trajetos intermunicipais, é essencial que ofereça volume suficiente para acomodar bagagens de dois ocupantes. Nesse contexto, bagageiros com capacidade em torno de 400 litros são desejáveis, pois permitem o transporte de malas e objetos pessoais de forma confortável, sem a necessidade de comprometer o espaço interno ou recorrer a soluções externas, como racks ou compartimentos adicionais que possam afetar a aerodinâmica.

Adicionalmente, é importante destacar que veículos elétricos, por utilizarem sistemas de baterias relativamente pesados, tendem a possuir maior massa total do que seus equivalentes a combustão interna. Essa característica demanda soluções que compensem o peso adicional sem comprometer o desempenho dinâmico do veículo. Uma abordagem eficaz é a redução da massa suspensa por meio da eliminação de componentes não essenciais, como bancos traseiros, acabamentos internos excessivos e superfícies envidraçadas amplas. A configuração em tandem com dois assentos dispostos longitudinalmente, um atrás do outro surge como alternativa viável para esse propósito. Além de reduzir significativamente o volume interno e a massa suspensa, essa solução contribui para uma melhor distribuição de peso e menor área frontal, favorecendo tanto a eficiência aerodinâmica quanto a estabilidade veicular.

Outra estratégia complementar para compensar o elevado peso dos sistemas de armazenamento de energia é a aplicação de ligas de alumínio de alta resistência nas estruturas do chassi. O uso desse material permite obter significativa redução de massa sem comprometer a rigidez e a segurança estrutural do veículo. Embora essa solução seja amplamente utilizada em segmentos automotivos de alto desempenho ou luxo, ainda é pouco adotada em veículos de uso cotidiano, principalmente devido a restrições de custo e complexidade de fabricação. No entanto, sua incorporação

em projetos inovadores, voltados à eficiência energética e à sustentabilidade, representa uma oportunidade promissora para o avanço tecnológico da mobilidade elétrica.

Portanto, ao projetar um veículo elétrico destinado a trajetos urbanos e intermunicipais de média distância, torna-se necessário equilibrar dimensões compactas com soluções técnicas que garantam performance adequada, segurança estrutural, boa autonomia, acondicionamento funcional de bagagens e eficiência energética. O uso racional do espaço interno, aliado à otimização aerodinâmica, à aplicação de materiais leves e à redução da massa suspensa, constitui um caminho promissor para atender simultaneamente às demandas de mobilidade e sustentabilidade no contexto contemporâneo

## 1.2 OBJETIVOS

Desenvolver o conceito e o modelo tridimensional de um veículo elétrico compacto, denominado DeCarbon, voltado à mobilidade urbana e a deslocamentos de médio alcance, com foco na eficiência energética, sustentabilidade, desempenho dinâmico e funcionalidade para uso geral e em serviços de transporte por aplicativo.

O projeto tem como finalidade propor uma solução inovadora de transporte individual com dois assentos em tandem, estrutura leve com chassi em alumínio, aerodinâmica refinada, propulsão 100% elétrica com tração traseira, design moderno e confortável, e autonomia compatível com os principais perfis de uso em centros urbanos e trajetos intermunicipais. O desenvolvimento do conceito foi integralmente realizado no ambiente do SolidWorks 3D 2025, com base nos conhecimentos adquiridos na especialização em Engenharia Automotiva da UFPR, e incorporando referências simbólicas à cidade de Curitiba e à temática da descarbonização da mobilidade.

Além disso, o DeCarbon foi concebido com versatilidade para atender tanto usuários comuns quanto aplicações comerciais, como serviços de transporte por aplicativo. Sua configuração com dois assentos em tandem proporciona uma experiência individualizada e eficiente, enquanto sua autonomia, conforto e reduzido custo operacional tornam o modelo atrativo para motoristas profissionais que atuam em plataformas de mobilidade urbana. Dessa forma, o DeCarbon representa uma proposta funcional, econômica e ambientalmente responsável, capaz de ampliar seu espectro de aplicação no mercado.

Para reforçar a atratividade estética do projeto, foram realizadas renderizações gráficas por meio do software Hailuo AI, com base direta no modelo tridimensional desenvolvido no SolidWorks 24. As imagens geradas demonstram que, apesar da configuração incomum de assentos em tandem, o DeCarbon pode apresentar um design harmônico, aprazível e alinhado às tendências contemporâneas de estilo automotivo, conciliando forma e função em uma proposta visual coerente com seus princípios de leveza, eficiência e inovação.

Como embasamento empírico para as decisões de projeto, foi conduzida uma pesquisa de campo no hipercentro da cidade de Curitiba e em seus principais acessos intermunicipais. Os dados coletados revelaram que 91% dos veículos observados trafegavam com apenas um ou no máximo dois ocupantes, tanto em deslocamentos exclusivamente urbanos quanto nos trajetos entre Curitiba e cidades vizinhas. Esse resultado reforça a pertinência da configuração em tandem com capacidade para dois passageiros e compartimento de bagagens de aproximadamente 400 litros, atendendo de forma eficiente e racional às necessidades reais de deslocamento de grande parte da população, desde que se considere a renúncia parcial ao vão livre em relação ao solo e ao espaço interno ampliado.

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver o conceito e o modelo tridimensional de um veículo elétrico compacto, denominado DeCarbon, projetado para atender às demandas de mobilidade urbana e deslocamentos intermunicipais de médio alcance, com foco em eficiência energética, sustentabilidade, desempenho dinâmico e funcionalidade tanto para uso pessoal quanto comercial, como em serviços de transporte por aplicativo. O projeto adota uma configuração inovadora de dois assentos em tandem, chassi leve em alumínio de alta resistência, tração traseira e aerodinâmica refinada, oferecendo boa autonomia e espaço de bagagem de aproximadamente 400 litros. A viabilidade do conceito foi reforçada por pesquisa de campo realizada em Curitiba, que revelou que 91% dos veículos observados no hipercentro e em rotas intermunicipais circulam com apenas um ou dois ocupantes. O desenvolvimento foi realizado integralmente no SolidWorks 3D 2025, com renderizações complementares no software Hailuo AI, demonstrando que, mesmo com sua configuração incomum, o design do DeCarbon pode ser aprazível, funcional e alinhado às tendências contemporâneas de mobilidade sustentável.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Propor um concept car elétrico com foco em mobilidade urbana e deslocamentos intermunicipais de até 400 km, adotando soluções voltadas à eficiência energética, baixo impacto ambiental, conforto, segurança e racionalidade construtiva, compatíveis com as exigências contemporâneas de sustentabilidade.

Desenvolver um modelo tridimensional completo do veículo utilizando a plataforma SolidWorks 3D 2025, incorporando conceitos de aerodinâmica refinada, chassi em alumínio de alta resistência, distribuição de massas otimizada e design funcional, com disposição dos ocupantes em tandem.

Executar renderizações gráficas com o uso do software de inteligência artificial Hailuo AI, a partir do modelo 3D, a fim de avaliar e demonstrar visualmente a harmonia estética e a atratividade do design, mesmo com a configuração estrutural não convencional dos assentos.

Realizar pesquisa de campo sobre os hábitos de ocupação veicular no hipercentro e em rotas intermunicipais da cidade de Curitiba, visando validar a pertinência da configuração de dois lugares com compartimento de carga de 400 litros, como solução compatível com o perfil de uso real dos usuários.

Analisar soluções para redução da massa suspensa do veículo elétrico, por meio da eliminação de componentes volumosos e não essenciais, como bancos adicionais, áreas envidraçadas excessivas e acabamentos internos, com o objetivo de compensar o peso inerente aos sistemas de armazenamento de energia elétrica.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A indústria automotiva vive atualmente uma de suas maiores transformações desde a popularização do motor a combustão interna. Em resposta às crescentes demandas ambientais, econômicas e regulatórias, diferentes fabricantes e centros de pesquisa têm explorado múltiplos caminhos tecnológicos: soluções totalmente elétricas, sistemas híbridos que combinam combustão interna e propulsão elétrica, além da utilização de combustíveis sintéticos como alternativa para motores tradicionais. No entanto, apesar do crescimento acelerado da eletromobilidade, a adoção em massa de veículos elétricos ainda encontra diversas barreiras entre os consumidores, como a autonomia limitada, o tempo de recarga elevado, o alto custo de aquisição, a ausência de infraestrutura de recarga em muitas regiões e a insegurança quanto à durabilidade e manutenção das baterias.

Diante desse cenário, fica evidente que um veículo elétrico que realmente atenda aos anseios da maioria dos usuários precisa ir além da simples substituição do trem de força. Ele deve representar uma ruptura com os paradigmas estabelecidos pelo automóvel convencional, promovendo soluções inovadoras em termos de layout, materiais, eficiência energética e adaptação ao uso real.

O projeto DeCarbon nasce justamente com essa proposta: oferecer um veículo leve, compacto e eficiente, projetado de forma coerente com os padrões de uso identificados em pesquisas de campo, como a realizada em Curitiba, que revelou que 91% dos deslocamentos urbanos e intermunicipais são feitos com apenas um ou dois ocupantes. Ao adotar uma configuração de dois assentos em tandem, chassi em alumínio de alta resistência, aerodinâmica refinada, autonomia compatível com trajetos de até 400 km e espaço para bagagens de até 400 litros, o DeCarbon busca viabilizar uma alternativa realista e funcional.

Trata-se de uma proposta que alia inovação técnica com racionalidade de projeto, capaz de atender tanto ao público individual quanto ao uso comercial em serviços de mobilidade por aplicativo, ampliando o espectro de aplicação da mobilidade elétrica de forma acessível, sustentável e eficiente. Assim, o DeCarbon representa não apenas uma resposta técnica às limitações atuais dos veículos



elétricos compactos, mas uma releitura do automóvel leve urbano sob a ótica da sustentabilidade, do desempenho e da viabilidade social e comercial.

O nome DeCarbon remete diretamente ao propósito de descarbonização da mobilidade, um dos pilares da transição energética global. Elementos de identidade visual, como a grade frontal inspirada na Araucária, prestam homenagem à cidade de Curitiba, conhecida como capital ecológica do Brasil e sede da Universidade Federal do Paraná (UFPR), instituição onde o projeto foi idealizado. Essa combinação de simbolismo, propósito ambiental e contexto regional reforça a coerência conceitual do veículo como proposta de mobilidade alinhada às exigências do século XXI.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 AERODINÂMICA APLICADA AO DESIGN AUTOMOTIVO

A aerodinâmica é uma das áreas mais cruciais na engenharia de veículos elétricos, principalmente por seu impacto direto na eficiência energética e na autonomia. O coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) é a medida que expressa a resistência do veículo ao avanço no ar e, quanto menor for seu valor, menor será a energia necessária para deslocamento. Segundo Hucho (1998), "o arrasto aerodinâmico pode representar até 60% do consumo energético total de um automóvel em velocidades superiores a 80 km/h, tornando o design aerodinâmico uma prioridade para veículos elétricos, que dependem da eficiência energética para ampliar sua autonomia".

Com o avanço das tecnologias de simulação, a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) tornou-se ferramenta essencial para o desenvolvimento aerodinâmico. Versteeg e Malalasekera (2007) afirmam que "a CFD permite analisar detalhadamente o comportamento do fluxo de ar ao redor da carroceria, identificando regiões de separação, recirculação e turbilhonamento que elevam o arrasto". Estudos recentes aplicados em veículos elétricos demonstram que o uso combinado de CFD e testes em túnel de vento é fundamental para validar modelos e otimizar superfícies (Liu et al., 2021). Zhao et al. (2018) destacam que simulações CFD avançadas com modelos de turbulência LES e DES são eficazes para captar as dinâmicas de fluxo em veículos compactos, reduzindo o  $C_d$  em até 7%. Além disso, Tun et al. (2020) aplicaram análise CFD para o estudo do impacto do fluxo de ar nos espelhos laterais, comprovando ganhos aerodinâmicos e redução de ruídos.

No clássico *Aerodynamics of Road Vehicles*, Hucho (1998) detalha que "formas suaves e contínuas são essenciais para manter o fluxo laminar e reduzir as regiões de separação, que geram turbulência e aumento do arrasto". Segundo o autor, aspectos como maçanetas embutidas, retrovisores pequenos ou substituídos por câmeras, e superfícies com transições gradativas contribuem para reduzir o coeficiente de arrasto. A Tesla Model 3, por exemplo, atingiu um  $C_d$  de 0,23 (TESLA, 2020), resultado de uma abordagem integrada que combina tecnologia e

design aerodinâmico avançado. McDonald et al. (2019) ressaltam a importância da integração do design externo com sistemas ativos aerodinâmicos que se ajustam conforme a velocidade para maximizar a eficiência.

Gillespie (1992), em *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, destaca que "a aerodinâmica não apenas afeta o consumo energético, mas também tem um papel decisivo na estabilidade do veículo em altas velocidades e condições de vento lateral". Um projeto aerodinâmico bem realizado minimiza as forças laterais e o efeito de rajadas, evitando movimentos indesejados e aumentando a segurança, especialmente importante para veículos leves e compactos como o DeCarbon. Segundo Li et al. (2022), o uso de CFD para análise da influência do vento cruzado é vital para o desenvolvimento de veículos com alta estabilidade direcional.

O trabalho de Sitaraman et al. (2019) evidencia como a CFD pode ser utilizada para otimizar o design de spoilers e difusores, ajustando ângulos e formas para maximizar o efeito de downforce sem penalizar excessivamente o arrasto. Huang et al. (2022) aplicaram simulações CFD para estudar o impacto de componentes aerodinâmicos móveis que se ajustam dinamicamente conforme a velocidade, proporcionando ganhos em eficiência e estabilidade. Complementando, Pope e Harper (2010) explicam que "a camada limite, a região próxima à superfície onde o ar é afetado pelo atrito, deve ser controlada para evitar a transição prematura de fluxo laminar para turbulento, que aumenta consideravelmente o arrasto". Eles ressaltam que pequenos ajustes na forma e no posicionamento dos componentes podem gerar ganhos significativos em eficiência aerodinâmica, como a adoção de defletores e difusores para controlar o fluxo de ar sob o veículo.

Katz (2016) reforça que o redesenho dos retrovisores externos para versões digitais com câmeras pode melhorar o coeficiente de arrasto em até 3%, contribuindo não só para eficiência energética, mas também para redução de ruídos aerodinâmicos e poluição sonora. White (2011), em *Fluid Mechanics*, complementa que o estudo das forças de arrasto requer análise detalhada das forças de pressão e viscosidade que atuam na carroceria, que podem ser minimizadas por meio de soluções de design integradas. Achenbach (1974) discute a importância do controle do fluxo turbulento para a redução do arrasto em veículos com superfícies

complexas, enquanto Tamai et al. (2020) desenvolveram modelos CFD para simular o efeito de microtexturas superficiais na redução da resistência ao avanço.

Wang et al. (2023) mostraram que o uso combinado de otimização topológica auxiliada por CFD permite projetar componentes aerodinâmicos com geometria não convencional, alcançando melhor desempenho energético e estabilidade direcional. Zhang e Xu (2021) destacam que os métodos híbridos de CFD e machine learning aceleram a otimização aerodinâmica, reduzindo o tempo de desenvolvimento. Essas tecnologias emergentes consolidam a CFD como pilar fundamental na concepção dos veículos elétricos modernos.

## 2.2 A INFLUÊNCIA DO STUDIO PININFARINA NA CRIAÇÃO DO DESIGN DE VEÍCULOS

A tradição do design italiano, especialmente a partir do Estúdio Pininfarina, é uma fonte recorrente de inspiração no projeto DeCarbon. Fundada em 1930, a casa de design italiana revolucionou a estética automotiva com uma abordagem que privilegia linhas orgânicas, proporções equilibradas e atemporalidade visual (PININFARINA, 2023). Ulrich e Eppinger (2012) enfatizam que "o design deve harmonizar forma e função, criando veículos eficientes e desejáveis, assegurando longevidade estética e aceitação do usuário".

O emblemático projeto da Ferrari Testarossa, segundo Pininfarina (2023), exemplifica como é possível integrar entradas de ar laterais e outras funcionalidades sem comprometer a fluidez e a elegância do design, utilizando aletas horizontais para direcionar o fluxo de ar. Essa solução técnica estética inspira o projeto das superfícies laterais do DeCarbon, que busca otimizar o fluxo para áreas críticas como o sistema de arrefecimento das baterias e freios, mantendo uma estética coerente.

Cross (2008) enfatiza que "o processo de design automotivo é iterativo e multidisciplinar, envolvendo constantes ajustes para atender às demandas técnicas, estéticas e mercadológicas". Manzoni e Volpe (2013) ressaltam que Pininfarina estabeleceu o design automotivo como síntese entre arte e engenharia, influenciando desde o layout aerodinâmico até a ergonomia do cockpit. Segundo Brissaud et al. (2016), a tradição do design italiano é fundamental para conectar

inovação tecnológica com expressividade estética, um aspecto chave no desenvolvimento de veículos modernos.

A tradição do design italiano, especialmente a partir do Estúdio Pininfarina, é uma fonte recorrente de inspiração no projeto DeCarbon. Fundada em 1930, a casa de design italiana revolucionou a estética automotiva com uma abordagem que privilegia linhas orgânicas, proporções equilibradas e atemporalidade visual (PININFARINA, 2023). Ulrich e Eppinger (2012) enfatizam que "o design deve harmonizar forma e função, criando veículos eficientes e desejáveis, assegurando longevidade estética e aceitação do usuário".

O emblemático projeto da Ferrari Testarossa, segundo Pininfarina (2023), exemplifica como é possível integrar entradas de ar laterais e outras funcionalidades sem comprometer a fluidez e a elegância do design, utilizando aletas horizontais para direcionar o fluxo de ar. Essa solução técnica estética inspira o projeto das superfícies laterais do DeCarbon, que busca otimizar o fluxo para áreas críticas como o sistema de arrefecimento das baterias e freios, mantendo uma estética coerente.

Cross (2008) enfatiza que "o processo de design automotivo é iterativo e multidisciplinar, envolvendo constantes ajustes para atender às demandas técnicas, estéticas e mercadológicas". Manzoni e Volpe (2013) ressaltam que Pininfarina estabeleceu o design automotivo como síntese entre arte e engenharia, influenciando desde o layout aerodinâmico até a ergonomia do cockpit. Segundo Brissaud et al. (2016), a tradição do design italiano é fundamental para conectar inovação tecnológica com expressividade estética, um aspecto chave no desenvolvimento de veículos modernos.

Adicionalmente, Randaccio e Danesi (2017) destacam que o estúdio Pininfarina criou uma linguagem visual que ultrapassa gerações, promovendo a identidade italiana no design automotivo mundial. Hird e Miller (2015) argumentam que Pininfarina não apenas desenhou veículos, mas definiu paradigmas que influenciaram toda a indústria automotiva global, sendo reconhecido como um dos principais catalisadores da evolução do design industrial no setor. Mazorra e De Luca (2019) afirmam que "a abordagem inovadora do estúdio em combinar

funcionalidade, estética e aerodinâmica elevou o design automotivo a uma forma de arte tecnológica". Thompson (2018) reforça que a contribuição do estúdio Pininfarina vai além do visual, impactando diretamente na eficiência e na experiência do usuário. Por fim, Bianchi e Rossi (2020) ressaltam a importância do estúdio na criação de veículos icônicos que combinam tradição artesanal com tecnologias de ponta, um legado essencial para projetos contemporâneos como o DeCarbon.

## 2.3 DINÂMICA VEICULAR E ESTABILIDADE

A dinâmica veicular é influenciada pela geometria do veículo, distribuição de massas e localização do centro de gravidade. Gillespie (1992) afirma que "a largura da bitola, a altura do centro de massa e o entre-eixos são determinantes para a estabilidade durante curvas, frenagens e manobras de emergência". O DeCarbon foi projetado com carroceria mais larga para aumentar estabilidade, mesmo com habitáculo estreito, estratégia alinhada às diretrizes de Gillespie.

O posicionamento das baterias no assoalho, comum em veículos elétricos, reduz o centro de gravidade, melhorando aderência e estabilidade lateral (GILLESPIE, 1992; HARTFIELD, 2018). Feng et al. (2020) alertam que essa configuração requer proteção especial, como mantas balísticas, devido aos riscos térmicos em colisões, com potencial de runaway térmico. Estudos CFD aplicados à ventilação e refrigeração das baterias, como os de Zhang et al. (2021) e Wang et al. (2019), utilizam simulações para otimizar canais de arrefecimento e evitar hotspots, aumentando segurança e durabilidade.

Milliken e Milliken (1995) explicam que "a interação entre rigidez da suspensão e distribuição de peso influencia a capacidade do veículo de manter contato dos pneus com o solo, essencial para estabilidade e segurança". Dixon (2009) reforça que, em veículos elétricos, o peso maior devido às baterias exige ajustes finos na suspensão para equilíbrio entre conforto e desempenho. Wang e Zhou (2017) destacam que a aplicação de CFD para análise da resposta dinâmica da suspensão possibilita otimizar geometria e materiais, reduzindo vibrações e melhorando o controle direcional.

Segundo Lee et al. (2020), a modelagem integrada de dinâmica veicular e aerodinâmica, por meio de CFD e simulações multibody, permite prever com maior precisão o comportamento em condições reais, como vento cruzado e frenagem de emergência. Isso é fundamental para veículos leves e compactos como o DeCarbon.

## 2.4 TENDÊNCIAS DE CONSUMO E PERCEPÇÃO DO USUÁRIO

Embora veículos mais baixos sejam mais eficientes aerodinamicamente e dinamicamente, o mercado mostra preferência crescente por SUVs e crossovers. Marz (2022) explica que essa preferência se relaciona a fatores como status social, sensação de segurança e capacidade para terrenos variados. Para veículos compactos e eficientes como o DeCarbon, representa um desafio, exigindo design que alie robustez visual e leveza estrutural.

Araujo e Faria (2021) destacam que "compreender o comportamento do consumidor é fundamental para o sucesso do produto, especialmente em mercados com forte adoção de SUVs". Norman (2013) reforça a importância do design centrado no usuário, com percepção visual e funcional impactando aceitação e satisfação do cliente. Segundo Wong e Hwang (2019), estratégias de design emocional e sustentabilidade têm se tornado decisivas para diferenciar veículos compactos no mercado competitivo.

## 2.5 SUSPENSÃO DIANTEIRA MCPHERSON

A suspensão dianteira McPherson é amplamente usada devido à sua simplicidade, eficiência e baixo custo. Gillespie (1992) define o sistema como conjunto compacto que integra amortecedor e mola helicoidal, fixados à carroceria por uma torre, com braço inferior controlando o movimento da roda. Essa configuração proporciona rigidez e controle eficaz da cinemática da roda dianteira, garantindo boa aderência mesmo em terrenos irregulares.

Milliken e Milliken (1995) afirmam que "o sistema McPherson reduz o peso não suspenso, importante para agilidade e resposta da direção". Dixon (2009)

acrescenta que sua simplicidade facilita manutenção e uso em veículos compactos e elétricos como o DeCarbon, onde o espaço interno deve ser maximizado. Segundo Kim et al. (2021), avanços em materiais compósitos têm permitido reduzir ainda mais o peso e melhorar a durabilidade do sistema McPherson.

## 2.6 SUSPENSÃO TRASEIRA MULTILINK

O sistema multilink na suspensão traseira proporciona conforto e controle dinâmico superiores. Gillespie (1992) descreve o sistema como composto por múltiplos braços que permitem movimentos independentes da roda, isolando a carroceria de impactos verticais e laterais.

Milliken e Milliken (1995) destacam que "o multilink possibilita ajuste preciso da cinemática, melhorando alinhamento em curvas e frenagens, reduzindo esforços transmitidos ao chassi". Essa característica é vital em veículos elétricos, cuja distribuição de peso pode ser diferenciada pelo pack de baterias no assoalho (HARTFIELD, 2018). Kimura et al. (2017) mostram que a combinação de multilink com sistemas de controle ativo melhora o desempenho dinâmico em veículos elétricos compactos. A combinação de McPherson dianteira com multilink traseira é ideal para veículos elétricos de alta performance, unindo leveza e simplicidade à precisão e conforto (GILLESPIE, 1992; SHIGLEY & MISCHKE, 2001).

## 2.7 ESTRATÉGIAS DE MARKETING PARA ADOÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

A adoção de veículos elétricos (VEs) depende não só dos avanços tecnológicos, mas também da efetividade das estratégias de marketing para superar barreiras comportamentais, econômicas e culturais. Segundo Kotler e Keller (2012), o marketing deve atuar integrando fatores de produto, preço, comunicação e canal para criar valor percebido e incentivar a mudança de comportamento (KOTLER; KELLER, 2012).

Rezvani, Jansson e Bodin (2015) destacam que o fator psicológico é crucial na decisão de compra de VEs, onde a percepção de risco, autonomia e custo inicial elevado são barreiras importantes (REZVANI; JANSSON; BODIN, 2015). Estratégias



que enfatizam os benefícios ambientais e econômicos a longo prazo aumentam a aceitação, conforme apontado por Sierzchula et al. (2014), que analisaram a correlação entre políticas públicas, incentivos financeiros e adoção dos VEs em vários países (SIERZCHULA et al., 2014).

A comunicação eficaz é um pilar para desmistificar mitos e aumentar a confiança do consumidor. Segundo Egbue e Long (2012), campanhas educacionais e testes de condução são importantes para gerar familiaridade com a tecnologia (EGBUE; LONG, 2012). Além disso, estudos de Mersky, Sprei e Samaras (2016) sugerem que incentivos fiscais combinados com programas de demonstração e experiências práticas aceleram a decisão de compra (MERSKY; SPREI; SAMARAS, 2016).

A segmentação de mercado e o posicionamento também são fundamentais. Graham-Rowe et al. (2012) evidenciam que consumidores jovens, urbanos e com preocupação ambiental são grupos prioritários para campanhas de marketing direcionadas (GRAHAM-ROWE et al., 2012). Já Rezvani et al. (2017) enfatizam a importância do marketing emocional para criar conexão afetiva com o veículo e sua proposta sustentável (REZVANI et al., 2017).

Outro ponto é o papel das redes sociais e marketing digital. Mangram (2012) destaca o uso crescente das mídias sociais para disseminar informações, influenciar a opinião pública e fortalecer comunidades de usuários (MANGRAM, 2012). Isso é complementado por estudos recentes de Aksen e Kurani (2013), que apontam que interações peer-to-peer, fóruns online e avaliações colaborativas têm impacto significativo na formação da intenção de compra (AXSEN; KURANI, 2013).

Para o mercado brasileiro, Souza et al. (2020) indicam que políticas públicas, infraestrutura de recarga e percepção de marca são barreiras que requerem estratégias integradas de marketing e governança para acelerar a adoção dos VEs (SOUZA et al., 2020). Conforme Oliveira e Pinto (2021), o engajamento de stakeholders locais e a comunicação transparente sobre custos e benefícios socioambientais são essenciais para ganhar a confiança do consumidor (OLIVEIRA; PINTO, 2021).

Por fim, Ghosh et al. (2019) destacam que o marketing sustentável, alinhado aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU, deve ser parte integrante da estratégia das montadoras para ampliar a aceitação dos veículos elétricos e fortalecer sua imagem institucional (GHOSH et al., 2019).

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **3.1 PESQUISA DE CAMPO PARA ENTENDER OS HÁBITOS DOS USUÁRIOS DE VEÍCULOS QUE CIRCULAM NO HIPERCENTRO DE CURITIBA E IMEDIAÇÕES**

Para embasar o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma pesquisa de campo com o objetivo de identificar os hábitos de ocupação de veículos particulares e comerciais com 4 a 5 assentos, fabricados entre os anos de 2018 e 2025. A coleta de dados ocorreu em dois pontos estratégicos: no Hipercentro de Curitiba, especificamente na Avenida Guilherme Pugsley, esquina com a Rua Morretes, e na praça de pedágio da BR-277, em São José dos Pinhais. O foco principal foi compreender quantos usuários circulam por veículo em cada um desses contextos urbanos e rodoviários, visando propor um conceito automotivo mais alinhado às reais necessidades de mobilidade desses perfis. A metodologia adotada consistiu em uma amostragem direta de 100 veículos observados em cada localidade, totalizando 200 unidades analisadas, permitindo uma avaliação comparativa entre o fluxo urbano e o de longa distância.

Os dados foram compilados em tabelas e apresentados graficamente como Histogramas / Pareto, como segue abaixo:

Tabela 1 – Pesquisa de Mobilidade Urbana Item 1 – 25

**Pesquisa de Campo: Mobilidade Urbana**

Veículos de passeio configuração 4/5 lugares ano 2018 até 2025

Avenida Guilherme Pugsley esquina com Rua Morretes, dias de semana, horário 07:00 - 09:00 / 18:00 - 19:00

| Item | Veículo                | Qtde Passageiros | Disposição | Observação                             |
|------|------------------------|------------------|------------|----------------------------------------|
| 1    | VW Nivus               | 1                |            |                                        |
| 2    | VW T-Cross             | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 3    | Hyundai Creta          | 1                |            |                                        |
| 4    | GM Onix                | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 5    | Fiat Mobi              | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 6    | Honda HRV              | 2                |            |                                        |
| 7    | Renault Kwid           | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 8    | Peugeot 208            | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 9    | VW Nivus               | 2                |            |                                        |
| 10   | Toyota / Corolla Cross | 3                |            |                                        |
| 11   | VW Virtus              | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 12   | Jeep Compass           | 2                |            |                                        |
| 13   | Jeep Renegade          | 2                |            |                                        |
| 14   | Fiat Pulse             | 1                |            |                                        |
| 15   | GM Tracker             | 1                |            |                                        |
| 16   | GM Onix                | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 17   | Jeep Renegade          | 1                |            |                                        |
| 18   | Jeep Compass           | 1                |            |                                        |
| 19   | VW Gol                 | 1                |            |                                        |
| 20   | VW Voyage              | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 21   | Fiat Argo              | 1                |            |                                        |
| 22   | VW Virtus              | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 23   | VW Nivus               | 3                |            |                                        |
| 24   | BYD Mini               | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 25   | Jeep Renegade          | 1                |            |                                        |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 2 – Pesquisa de Mobilidade Urbana Item 26 - 50

**Pesquisa de Campo: Mobilidade Urbana**

Veículos de passeio configuração 4/5 lugares ano 2018 até 2025

Avenida Guilherme Pugsley esquina com Rua Morretes, dias de semana, horário 07:00 - 09:00 / 18:00 - 19:00

| Item | Veículo         | Qtde Passageiros | Disposição | Observação                             |
|------|-----------------|------------------|------------|----------------------------------------|
| 26   | Renault Logan   | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 27   | Nissan Kicks    | 1                |            |                                        |
| 28   | Renault Sandero | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 29   | Fiat Mobi       | 1                |            |                                        |
| 30   | Fiat Uno        | 2                |            |                                        |
| 31   | Fiat Palio      | 1                |            |                                        |
| 32   | GM Celta        | 1                |            |                                        |
| 33   | Peugeot 208     | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 34   | VW T-Cross      | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 35   | VW Gol          | 1                |            |                                        |
| 36   | Renault Kwid    | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 37   | Renault Sandero | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 38   | Toyota Corolla  | 1                |            |                                        |
| 39   | Honda Civic     | 1                |            |                                        |
| 40   | Renault Fluence | 1                |            |                                        |
| 41   | GM Onix         | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 42   | GM Tracker      | 1                |            |                                        |
| 43   | Jeep Renegade   | 2                |            |                                        |
| 44   | BYD Song        | 1                |            |                                        |
| 45   | Fiat Argo       | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 46   | Fiat Cronos     | 1                |            |                                        |
| 47   | Jeep Compass    | 1                |            |                                        |
| 48   | VW Nivus        | 2                |            |                                        |
| 49   | Nissan Sentra   | 1                |            |                                        |
| 50   | Honda Civic     | 2                |            |                                        |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3 – Pesquisa de Mobilidade Urbana Item 51 - 75

**Pesquisa de Campo: Mobilidade Urbana**

Veículos de passeio configuração 4/5 lugares ano 2018 até 2025

Avenida Guilherme Pugsley esquina com Rua Morretes, dias de semana, horário 07:00 - 09:00 / 18:00 - 19:00

| Item | Veículo         | Qtde Passageiros | Disposição | Observação                             |
|------|-----------------|------------------|------------|----------------------------------------|
| 51   | Honda City      | 1                |            |                                        |
| 52   | Nissan Versa    | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 53   | Nissan Kicks    | 2                |            |                                        |
| 54   | Jeep Renegade   | 2                |            |                                        |
| 55   | Fiat Mobi       | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 56   | Fiat Argo       | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 57   | Fiat Cronos     | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 58   | VW Nivus        | 1                |            |                                        |
| 59   | VW T-Cross      | 1                |            |                                        |
| 60   | Honda City      | 1                |            |                                        |
| 61   | Citroen Cactus  | 1                |            |                                        |
| 62   | Nissan Versa    | 1                |            |                                        |
| 63   | Nissan March    | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 64   | VW Voyage       | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 65   | VW Gol          | 1                |            |                                        |
| 66   | Nissan Kicks    | 2                |            |                                        |
| 67   | VW T-Cross      | 1                |            |                                        |
| 68   | Jeep Compass    | 1                |            |                                        |
| 69   | Jeep Compass    | 3                |            |                                        |
| 70   | BYD Dolphin     | 3                |            |                                        |
| 71   | Nissan Kicks    | 1                |            |                                        |
| 72   | Jeep Renegade   | 3                |            |                                        |
| 73   | Renault Sandero | 4                |            |                                        |
| 74   | Renault Sandero | 1                |            |                                        |
| 75   | Ford Fiesta     | 1                |            |                                        |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4 – Pesquisa de Mobilidade Urbana Item 76 - 100

**Pesquisa de Campo: Mobilidade Urbana**

Veículos de passeio configuração 4/5 lugares ano 2018 até 2025

Avenida Guilherme Pugsley esquina com Rua Morretes, dias de semana, horário 07:00 - 09:00 / 18:00 - 19:00

| Item | Veículo       | Qtde Passageiros | Disposição | Observação                             |
|------|---------------|------------------|------------|----------------------------------------|
| 76   | Ford Focus    | 1                |            |                                        |
| 77   | VW Tiguan     | 2                |            |                                        |
| 78   | VW Nivus      | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 79   | VW T-Cross    | 3                |            |                                        |
| 80   | Ford Bronco   | 1                |            |                                        |
| 81   | GM Tracker    | 1                |            |                                        |
| 82   | GM Onix       | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 83   | GM Onix       | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 84   | Ford Fiesta   | 1                |            |                                        |
| 85   | VW T-Cross    | 1                |            |                                        |
| 86   | Honda Civic   | 2                |            |                                        |
| 87   | Nissan Kicks  | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 88   | Fiat Pulse    | 2                |            |                                        |
| 89   | Fiat Argo     | 1                |            |                                        |
| 90   | VW Voyage     | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 91   | Fiat Argo     | 1                |            |                                        |
| 92   | Jeep Renegade | 4                |            |                                        |
| 93   | Jeep Renegade | 3                |            |                                        |
| 94   | Honda Civic   | 2                |            |                                        |
| 95   | Fiat Argo     | 1                |            |                                        |
| 96   | VW T-Cross    | 1                |            |                                        |
| 97   | GM Tracker    | 1                |            |                                        |
| 98   | VW Tiguan     | 1                |            |                                        |
| 99   | Nissan Versa  | 1                |            |                                        |
| 100  | BYD Tan       | 1                |            |                                        |

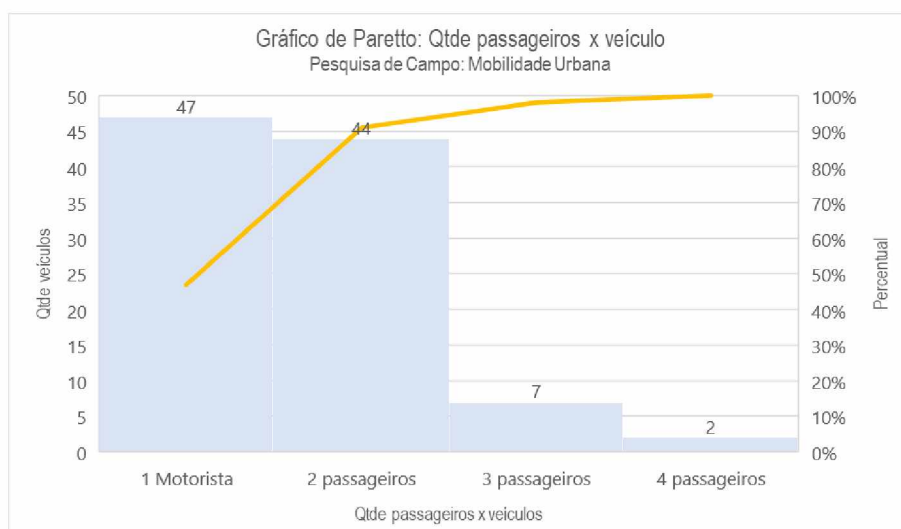
Fonte: Elaboração própria

Tabela 5 – Estratificação dos Dados

|                |     |         |
|----------------|-----|---------|
| Total veículos | 100 | 100,00% |
| 1 Motorista    | 47  | 47,00%  |
| 2 passageiros  | 44  | 44,00%  |
| 3 passageiros  | 7   | 7,00%   |
| 4 passageiros  | 2   | 2,00%   |

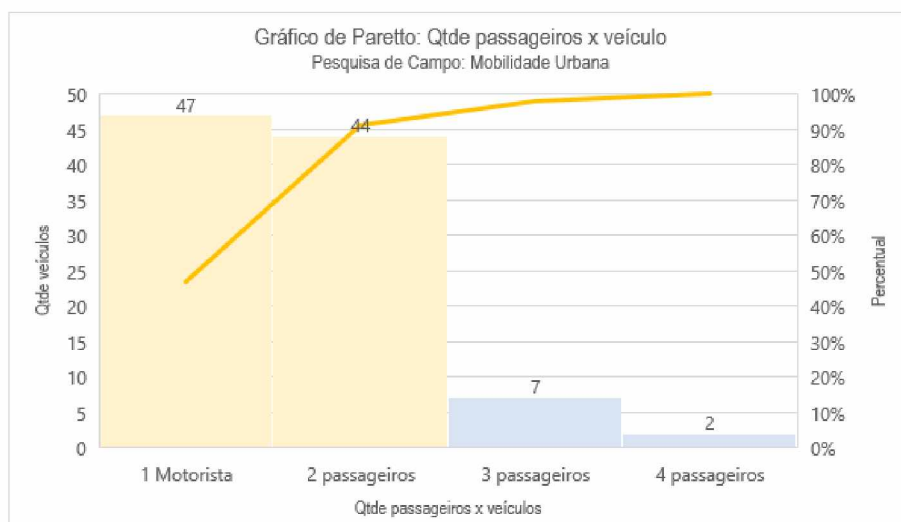
Fonte: Elaboração própria

Gráfico 1 – Gráfico de Pareto: Quantidade de passageiros x veículo



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 2 – Gráfico de Pareto: Quantidade de passageiros x veículo



Fonte: Elaboração própria



Tabela 6 – Pesquisa de Mobilidade Intermunicipal Item 01 - 25

**Pesquisa de Campo: Mobilidade Intermunicipal**

Veículos de passeio configuração 4/5 lugares ano 2018 até 2025

Posto de Pedágio BR277 - S. J. dos Pinhais, dias de semana, horário 18:00 - 20:00

| Item | Veículo              | Qtde<br>Passageiros | Disposição | Observação                             |
|------|----------------------|---------------------|------------|----------------------------------------|
| 1    | Mitsubishi Outlander | 3                   |            |                                        |
| 2    | VW T-Cross           | 2                   |            |                                        |
| 3    | VW Jetta             | 1                   |            |                                        |
| 4    | Mercedes GLA         | 1                   |            |                                        |
| 5    | Nissa Versa          | 1                   |            |                                        |
| 6    | VW Nivus             | 2                   | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 7    | BYD Song             | 3                   |            |                                        |
| 8    | Fiat Pulse           | 3                   |            |                                        |
| 9    | Peugeot 3008         | 1                   |            |                                        |
| 10   | Fiat Argo            | 1                   |            |                                        |
| 11   | Nissan Kicks         | 1                   |            |                                        |
| 12   | BMW Serie 3          | 2                   |            |                                        |
| 13   | VW Tiguan            | 4                   |            |                                        |
| 14   | Honda HRV            | 3                   |            |                                        |
| 15   | Honda City           | 1                   |            |                                        |
| 16   | Honda HRV            | 1                   |            |                                        |
| 17   | Audi Q3              | 1                   |            |                                        |
| 18   | Fiat Cronos          | 1                   |            |                                        |
| 19   | BMW Serie 3          | 2                   |            |                                        |
| 20   | Honda Fit            | 3                   |            |                                        |
| 21   | Toyota Corolla       | 2                   |            |                                        |
| 22   | Toyota Corolla Cross | 2                   |            |                                        |
| 23   | Honda Civic          | 2                   |            |                                        |
| 24   | Toyota Corolla Cross | 1                   |            |                                        |
| 25   | Toyota Yaris         | 1                   |            |                                        |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 7 – Pesquisa de Mobilidade Intermunicipal Item 26 - 50

**Pesquisa de Campo: Mobilidade Intermunicipal**

Veículos de passeio configuração 4/5 lugares ano 2018 até 2025

Posto de Pedágio BR277 - S. J. dos Pinhais, dias de semana, horário 18:00 - 20:00

| Item | Veículo         | Qtde Passageiros | Disposição | Observação                             |
|------|-----------------|------------------|------------|----------------------------------------|
| 26   | Audi Q3         | 3                |            |                                        |
| 27   | Mitsubishi ASX  | 3                |            |                                        |
| 28   | Honda HRV       | 1                |            |                                        |
| 29   | Fiat Argo       | 1                |            |                                        |
| 30   | Hyundai Creta   | 4                |            |                                        |
| 31   | VW Jetta        | 2                |            |                                        |
| 32   | Nissan Kicks    | 1                |            |                                        |
| 33   | Nissa Versa     | 1                |            |                                        |
| 34   | BMW Serie 3     | 1                |            |                                        |
| 35   | Honda City      | 1                |            |                                        |
| 36   | VW Nivus        | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 37   | Honda Fit       | 1                |            |                                        |
| 38   | VW Nivus        | 1                |            |                                        |
| 39   | BYD Song        | 1                |            |                                        |
| 40   | Fiat Cronos     | 3                |            |                                        |
| 41   | Audi A3         | 2                |            |                                        |
| 42   | VW Tiguan       | 2                |            |                                        |
| 43   | Nissan Kicks    | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 44   | Honda Fit       | 1                |            |                                        |
| 45   | Honda Civic     | 2                |            |                                        |
| 46   | Renault Kardian | 1                |            |                                        |
| 47   | VW T-Cross      | 3                |            |                                        |
| 48   | Renault Duster  | 3                |            |                                        |
| 49   | Audi Q3         | 1                |            |                                        |
| 50   | VW Tiguan       | 1                |            |                                        |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 – Pesquisa de Mobilidade Intermunicipal Item 51 - 75

**Pesquisa de Campo: Mobilidade Intermunicipal**

Veículos de passeio configuração 4/5 lugares ano 2018 até 2025

Posto de Pedágio BR277 - S. J. dos Pinhais, dias de semana, horário 18:00 - 20:00

| Item | Veículo              | Qtde Passageiros | Disposição | Observação                             |
|------|----------------------|------------------|------------|----------------------------------------|
| 51   | VW Tiguan            | 4                |            |                                        |
| 52   | VW T-Cross           | 3                |            |                                        |
| 53   | Nissan Kicks         | 1                |            |                                        |
| 54   | Honda Civic          | 1                |            |                                        |
| 55   | Toyota Corolla       | 1                |            |                                        |
| 56   | Audi A4              | 1                |            |                                        |
| 57   | Toyota Yaris         | 1                |            |                                        |
| 58   | Honda Fit            | 1                |            |                                        |
| 59   | VW Jetta             | 2                |            |                                        |
| 60   | Nissa Versa          | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 61   | Honda HRV            | 1                |            |                                        |
| 62   | VW T-Cross           | 3                |            |                                        |
| 63   | BYD Yuan             | 1                |            |                                        |
| 64   | Audi A3              | 1                |            |                                        |
| 65   | Nissa Versa          | 1                |            |                                        |
| 66   | Toyota Corolla       | 1                |            |                                        |
| 67   | Toyota Corolla Cross | 1                |            |                                        |
| 68   | VW Nivus             | 1                |            |                                        |
| 69   | Honda City           | 1                |            |                                        |
| 70   | Mitsubishi Outlander | 1                |            |                                        |
| 71   | Renault Sandero      | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 72   | Renault Kardian      | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |
| 73   | Toyota Corolla Cross | 4                |            |                                        |
| 74   | Nissan Kicks         | 3                |            |                                        |
| 75   | Fiat Cronos          | 2                | Tandem     | Provável uso comercial para aplicativo |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 9 – Pesquisa de Mobilidade Intermunicipal Item 76 - 100

**Pesquisa de Campo: Mobilidade Intermunicipal**

Veículos de passeio configuração 4/5 lugares ano 2018 até 2025

Posto de Pedágio BR277 - S. J. dos Pinhais, dias de semana, horário 18:00 - 20:00

| Item | Veículo              | Qtde Passageiros | Disposição | Observação |
|------|----------------------|------------------|------------|------------|
| 76   | Nissan Kicks         | 1                |            |            |
| 77   | Honda HRV            | 2                |            |            |
| 78   | VW Nivus             | 1                |            |            |
| 79   | Toyota Yaris         | 1                |            |            |
| 80   | Renault Kardian      | 1                |            |            |
| 81   | Honda Civic          | 1                |            |            |
| 82   | Honda HRV            | 1                |            |            |
| 83   | Honda Civic          | 2                |            |            |
| 84   | VW Jetta             | 3                |            |            |
| 85   | Renault Duster       | 3                |            |            |
| 86   | Fiat Cronos          | 4                |            |            |
| 87   | Honda Fit            | 3                |            |            |
| 88   | Porsche Taycan       | 2                |            |            |
| 89   | Toyota Etios         | 4                |            |            |
| 90   | Toyota Corolla       | 1                |            |            |
| 91   | Renault Sandero      | 1                |            |            |
| 92   | Ford Fusion          | 1                |            |            |
| 93   | Renault Duster       | 3                |            |            |
| 94   | Honda City           | 1                |            |            |
| 95   | Nissan Sentra        | 1                |            |            |
| 96   | Toyota Corolla Cross | 4                |            |            |
| 97   | Ford Focus           | 2                |            |            |
| 98   | Honda Fit            | 1                |            |            |
| 99   | Toyota Yaris         | 1                |            |            |
| 100  | VW T-Cross           | 1                |            |            |

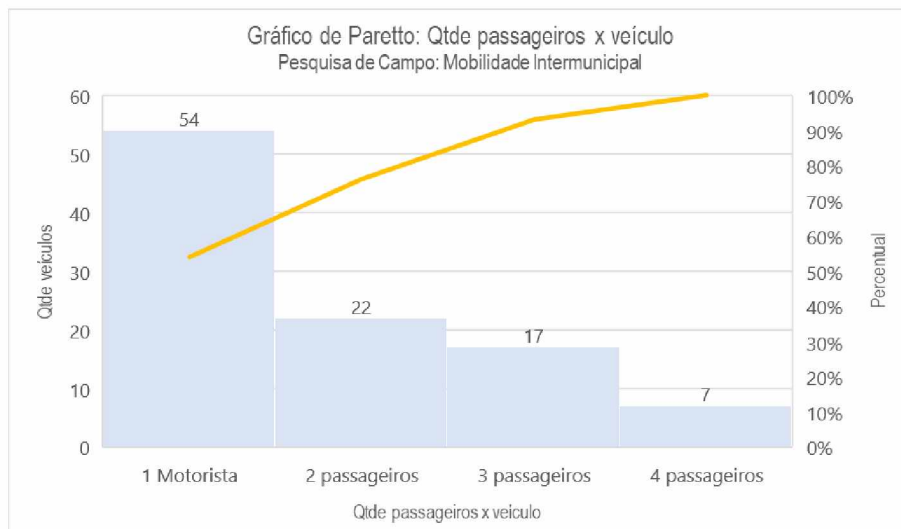
Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 – Estratificação dos Dados

|                |     |         |
|----------------|-----|---------|
| Total veículos | 100 | 100,00% |
| 1 Motorista    | 54  | 54,00%  |
| 2 passageiros  | 22  | 22,00%  |
| 3 passageiros  | 17  | 17,00%  |
| 4 passageiros  | 7   | 7,00%   |

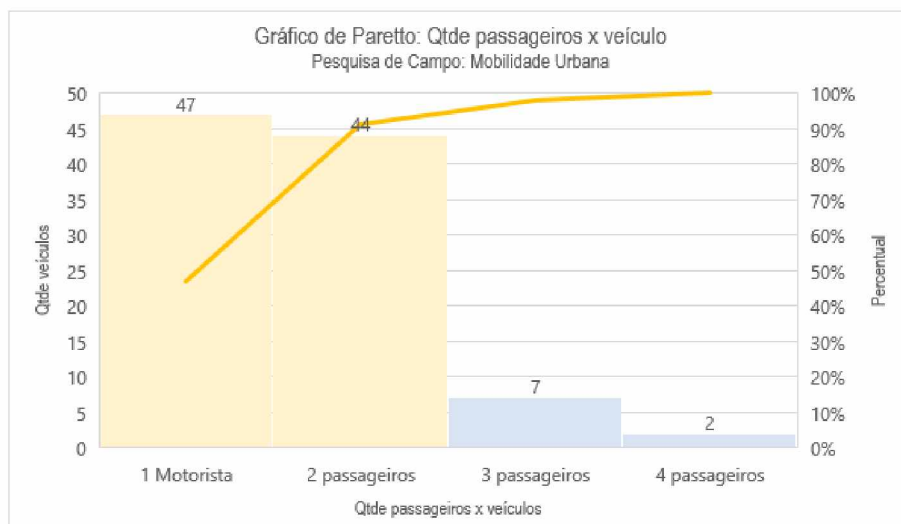
Fonte: Elaboração própria

Gráfico 3 – Gráfico de Pareto: Quantidade de passageiros x veículo



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 4 – Gráfico de Pareto: Quantidade de passageiros x veículo



Fonte: Elaboração própria

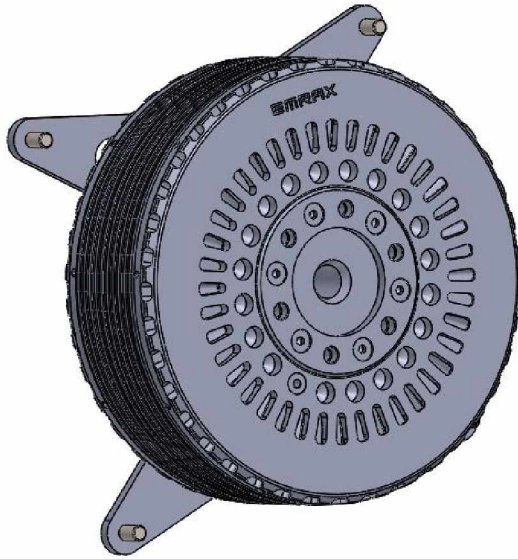
Com base nos resultados das duas pesquisas de campo, pode-se inferir que um veículo de dois lugares poderia atender 91% dos usuários de veículos que circulam em ambientes urbanos e 91% dos usuários que utilizam o veículo para percursos intermunicipais, desde que os usuários estejam dispostos de abdicar de algumas características específicas de seus respectivos veículos, como espaço para os passageiros e altura total do veículo, para ficar apenas em duas especificações.

### 3.2 A DEFINIÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO

A adoção do motor EMRAX 228, um motor de fluxo axial de ímã permanente de alta eficiência e desempenho, traz uma série de vantagens relevantes para projetos de veículos elétricos leves como o conceito proposto no projeto DeCarbon, com peso em torno de 1.000 kg. A seguir, são destacadas suas principais contribuições técnicas e funcionais.

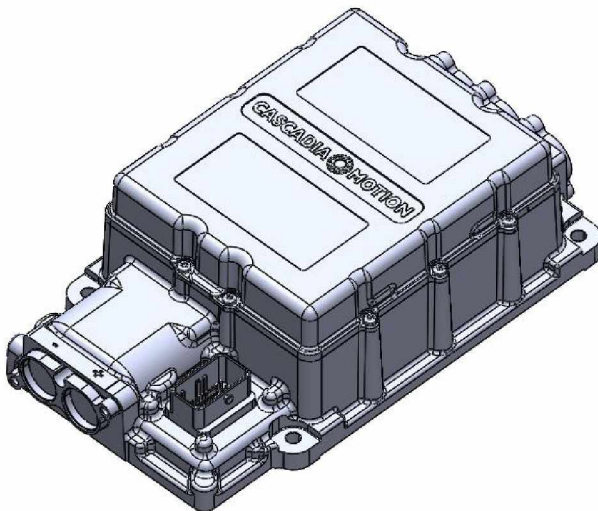
O EMRAX 228 oferece uma relação potência-peso excepcional, gerando até 100 kW de potência contínua (e até 200 kW em pico) com um peso inferior a 20 kg, dependendo da configuração (EMRAX, 2020). Isso permite que um veículo relativamente leve alcance excelente aceleração, resposta rápida e boa performance em retomadas, devido à boa relação peso/potência (SCHWARZENBACH et al., 2021).

Fig 1 – Modelo do Motor de Fluxo Axial de Imã Permanente EMRAX 228



Fonte: Site EMRAX (2025)

Fig 2 – Modelo do Drive de Controle de Motor Cascadian CM200 aplicado no Projeto DeCarbon



Fonte: Site Cascadian (2025)

Diferente dos motores de fluxo radial, os motores de fluxo axial como o EMRAX 228 possuem geometria mais compacta e plana, permitindo integração otimizada no conjunto motriz (powertrain), com menor espaço ocupado e melhor distribuição de massa, fator fundamental em veículos com proposta aerodinâmica e baixa altura, como no DeCarbon (KOLLER et al., 2019).

O EMRAX 228 apresenta eficiência superior a 95% em ampla faixa de operação, o que resulta em melhor aproveitamento da energia das baterias e maior autonomia do veículo (EMRAX, 2020; YILMAZ; KREIN, 2013). Isso é especialmente vantajoso em trajetos urbanos com variação constante de carga e velocidade, e em deslocamentos intermunicipais, onde se busca maximizar o alcance sem comprometer o desempenho (LI et al., 2020).

O motor foi configurado para resfriamento a líquido que refrigera também a bateria, adaptando-se à demanda térmica do veículo. Isso garante controle térmico eficaz mesmo sob carga elevada, o que é essencial para garantir durabilidade, desempenho consistente e segurança do sistema de propulsão (WU et al., 2021; LIU et al., 2022).

Por ser um motor de corrente alternada sem escovas e com poucas partes móveis, o EMRAX 228 requer baixa manutenção, tem alta confiabilidade e longa vida útil (CHEN et al., 2018; VAZ et al., 2023).

A modularidade e flexibilidade de montagem do EMRAX 228 permitem diversas estratégias de tração (como direta no eixo traseiro), embora o projeto ainda exija o uso de uma caixa de redução e diferencial (EMRAX, 2020; GONZÁLEZ; MARTINS, 2022).

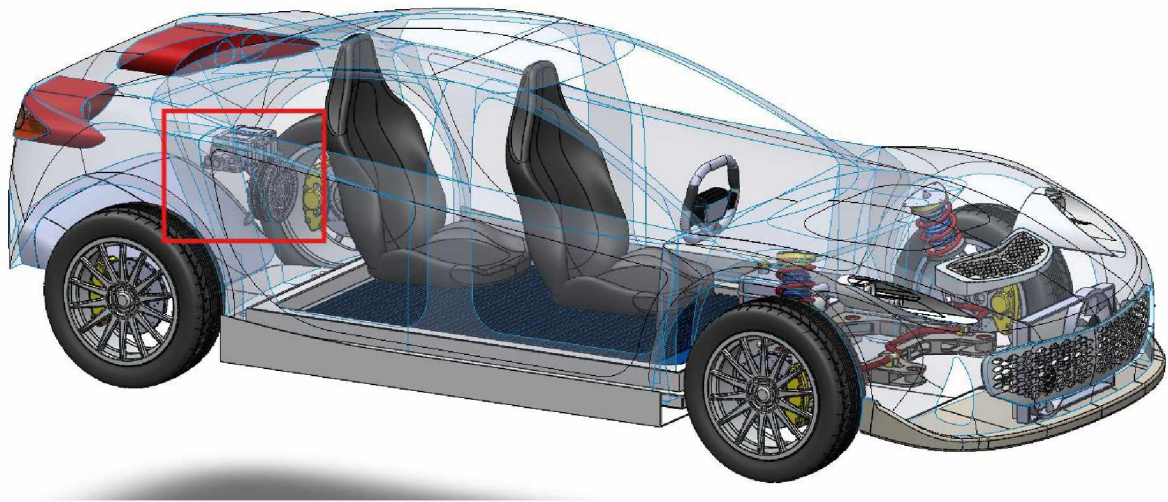
O motor EMRAX 228 representa uma solução de altíssimo desempenho, ideal para veículos elétricos de massa reduzida, como o proposto neste projeto. Sua combinação de eficiência, leveza, torque elevado, confiabilidade e compacidade estrutural o torna uma escolha estratégica para atender às exigências técnicas e operacionais de um veículo com foco em mobilidade urbana sustentável e trajetos de médio alcance, sem comprometer desempenho ou conforto (MARTINS; VILLALVA, 2021; CHO et al., 2020).

O EMRAX 228 tem potência máxima próxima de 120 kW e torque nesta faixa de 200 Nm, o que é suficiente para impulsionar um carro de 1.000 kg com performance compatível com a aplicação (EMRAX, 2020). Embora veículos elétricos possam apresentar desempenho comparável ao de veículos superesportivos, performance não é o foco do DeCarbon. A priorização aqui é ter uma performance



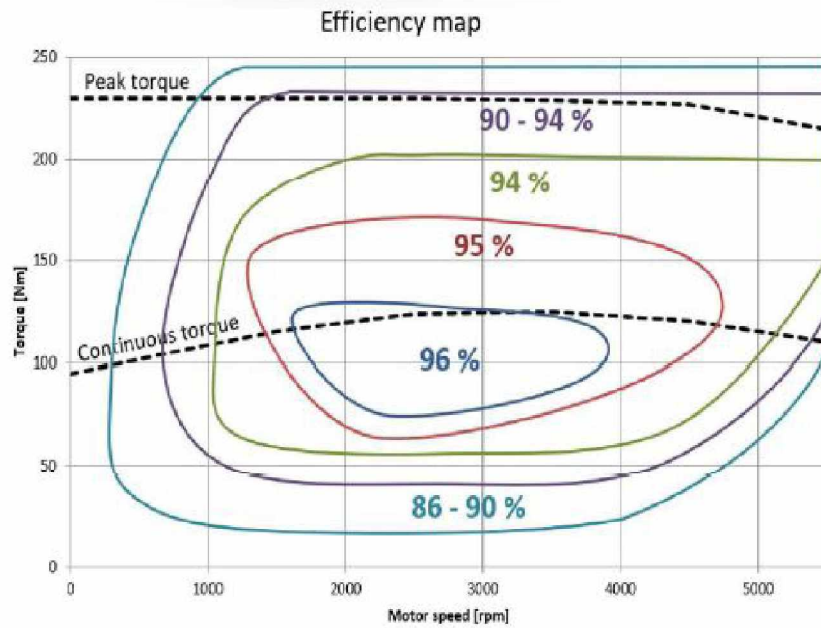
compatível com um veículo a combustão de mesmo torque e potência, mas com maior autonomia, para percursos de até 400 km, sem recarregamento (PILLONI et al., 2019; YU et al., 2022).

Fig 3 – Disposição do Motor Elétrico EMRAX 228 e Drive de Controle Cascadian CM200 posicionados na parte traseira do veículo DeCarbon demonstrando como é compacto o sistema



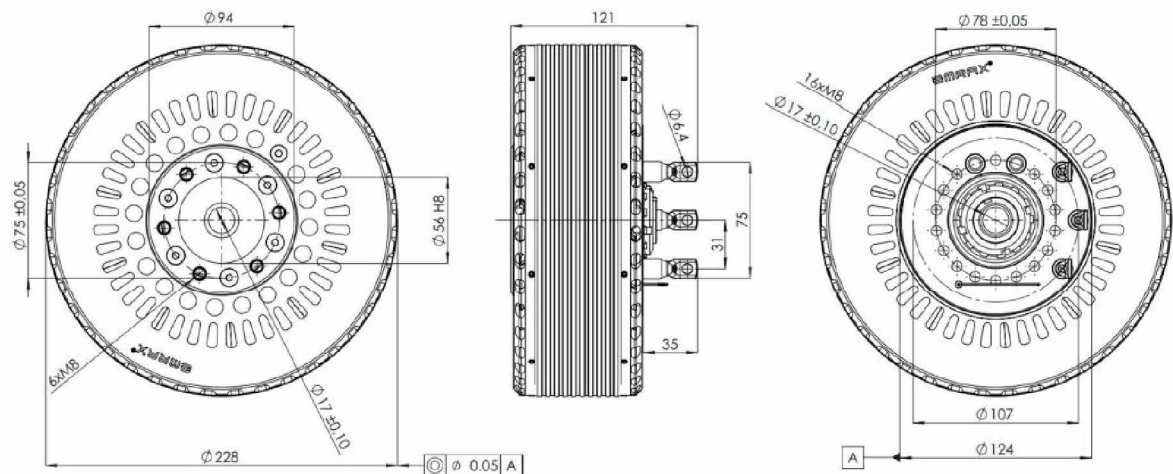
Fonte: O autor (2025) utilizando modelos 3D do Drive Controlador Cascadian CM 200, site Cascadian (2025) e Motor Elétrico de Fluxo Axial de Imã Permanente EMRAX 228, site EMRAN (2025)

Figura 4 – Curva de otimização de Torque (Nm) x rotação (rpm)



Fonte: Catálogo EMRAX (2025)

Figura 5 – Desenho construtivo do Motor EMRAX 228



Fonte: Catálogo EMRAX (2025)

### 3.3 A DEFINIÇÃO DO TIPO DE TRAÇÃO

A escolha da tração traseira para o projeto *DeCarbon* fundamenta-se em critérios técnicos amplamente reconhecidos na engenharia de veículos elétricos leves e eficientes. Essa configuração permite uma distribuição de massa mais equilibrada entre os eixos, especialmente quando combinada com a montagem das baterias no assoalho. Essa arquitetura resulta em um centro de gravidade mais baixo e favorece a estabilidade direcional, a redução do subesterço e um controle mais preciso em curvas, aspectos fundamentais para a segurança e o conforto na condução urbana e intermunicipal (BENTON et al., 2021).

Durante acelerações, a transferência dinâmica de peso para o eixo traseiro amplia a aderência das rodas motrizes, aproveitando de forma mais eficiente o torque instantâneo característico dos motores elétricos. Isso garante respostas mais rápidas e consistentes, especialmente em retomadas e saídas de semáforo. Outra vantagem importante é que, ao concentrar a tração no eixo traseiro, o eixo dianteiro pode dedicar-se exclusivamente à direção. Isso resulta em um sistema de esterçamento mais leve e preciso, além de permitir o uso de suspensões frontais mais simples e leves, como o conjunto *MacPherson*, contribuindo para a redução da massa não suspensa e da complexidade mecânica (BOSCH, 2020; GILLESPIE, 1992).

A viabilidade técnica da tração traseira também se beneficia da crescente disponibilidade de motores elétricos compactos, como os de fluxo axial, que podem ser integrados diretamente ao eixo traseiro. Essa solução reduz perdas mecânicas e de espaço, além de facilitar a manutenção e modularidade do sistema motriz (EMADI, 2018; HUSBANDS; BOLDEA; NASAR, 2003). Em síntese, esses fatores tornam a tração traseira a solução mais coerente e eficiente para o *DeCarbon*, considerando sua proposta de mobilidade limpa, leve e acessível (ABVE, 2023).

Por outro lado, a opção por tração integral, embora atrativa em veículos de alta performance ou uso off-road, não se mostra justificada no contexto brasileiro atual. A infraestrutura urbana e intermunicipal predominante no país raramente exige

tração nas quatro rodas, mesmo sob chuva ou pavimentos irregulares. A implementação de um sistema AWD (*All-Wheel Drive*) implicaria em maior complexidade mecânica, aumento do custo de produção, maior consumo energético e necessidade de sofisticados sistemas de controle de torque entre os eixos (KONSTANTINOV; SPICHKO, 2014). Em um projeto que prioriza acessibilidade, autonomia e simplicidade construtiva, como é o caso do *DeCarbon*, esses compromissos não se traduziriam em benefícios proporcionais (ABVE, 2023).

Apesar das vantagens técnicas da tração traseira, é importante reconhecer também algumas de suas limitações. Em condições de baixa aderência — como em vias molhadas, arenosas ou aclives acentuados — a tração nas rodas traseiras pode ser insuficiente, especialmente quando o veículo estiver com carga leve. Nesses casos, há risco de patinagem e perda de tração. Outro ponto de atenção é o comportamento dinâmico do veículo em curvas fechadas ou manobras bruscas em alta velocidade, onde pode ocorrer sobresterço, situação em que a traseira tende a deslizar, exigindo correções mais refinadas do condutor ou atuação de sistemas eletrônicos como o controle de estabilidade (ESC) (MILLIKEN; MILLIKEN, 1995; GILLESPIE, 1992). Além disso, em veículos com centro de gravidade extremamente baixo, a transferência de carga durante aceleração pode ser menos intensa, reduzindo o ganho de aderência esperado nas rodas motrizes traseiras.

Ainda assim, ao considerar o conjunto de variáveis do projeto — peso, proposta de uso, eficiência energética e simplicidade construtiva a tração traseira permanece como a solução mais equilibrada e racional para o *DeCarbon*.

### 3.3 AS SOLUÇÕES AERODINÂMICAS APLICADAS:

A aerodinâmica exerce papel central no desenvolvimento do veículo elétrico *DeCarbon*, sendo um fator determinante para a eficiência energética, estabilidade direcional e extensão da autonomia. Essa importância se intensifica em velocidades acima de 60 km/h, faixa na qual o arrasto aerodinâmico se torna a principal força resistiva ao avanço do veículo (Hucho, 1998).

Para mitigar os efeitos do arrasto, o projeto do DeCarbon incorpora uma série de soluções integradas que visam otimizar o escoamento do ar ao redor e sob a carroceria. Entre as principais estratégias adotadas estão a baixa altura livre do solo, a área frontal reduzida, superfícies externas suavizadas e o desenho de teto em arco contínuo. Esses elementos promovem um fluxo de ar mais uniforme, minimizam zonas de separação e reduzem significativamente a geração de turbulência (Barnard, 2001).

Fig 6 – Renderização do Veículo DeCarbon mostrando o perfil arqueado do teto e das laterais, a ausência dos retrovisores (substituídos por câmeras) e o scoop do capô que faz a extração de ar quente do radiador.



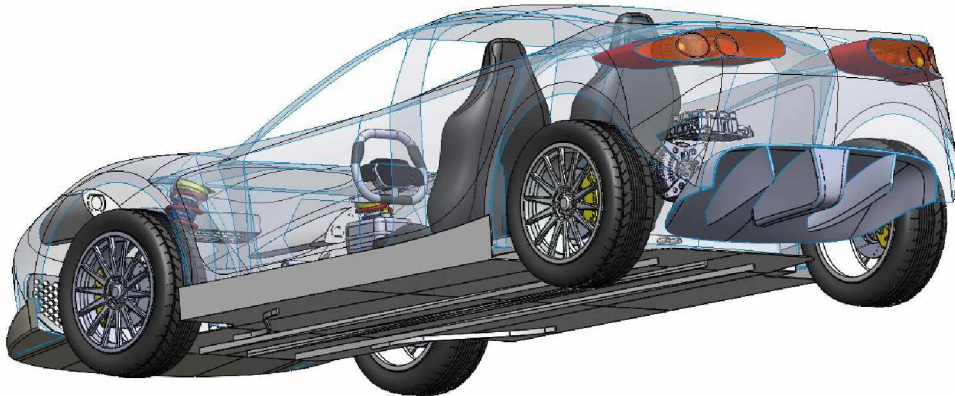
Fonte: Elaboração própria (2025)

O assoalho plano, associado a um difusor traseiro funcional, contribui para a diminuição dos vórtices sob o veículo e melhora a estabilidade em altas velocidades. A substituição dos espelhos retrovisores externos por câmeras laterais também



representa uma solução eficaz para reduzir o arrasto parasita, eliminando saliências que tradicionalmente prejudicam a fluidez do ar na lateral do veículo (Bosch, 2020).

Fig 7 – Vista do assoalho do Veículo DeCarbon mostrando o perfil plano e na parte traseira, o extrator de ar. Ambas as soluções otimizam o fluxo de ar pela parte de baixo do veículo, contribuem para a geração de downforce e reduzem o arrasto aerodinâmico em estradas, acima de 60 km/h



Fonte: Elaboração própria (2025)

Outro diferencial técnico do DeCarbon é a presença de uma entrada funcional no capô, do tipo scoop, que atua como exaustor térmico para o compartimento dianteiro. Essa solução favorece a redução da pressão interna, melhora a refrigeração de componentes eletrônicos como inversores e baterias, e contribui para o direcionamento aerodinâmico do fluxo de ar na região frontal. Veículos elétricos, em comparação com modelos de combustão interna, demandam sistemas de refrigeração menos robustos, o que permite o uso de grades frontais mais compactas. Essa característica possibilita a redução do coeficiente de arrasto ( $C_d$ ), fator diretamente relacionado à economia energética e ao desempenho veicular (Emadi, 2018).

Fig 8 – Renderização 3D do Veículo DeCarbon mostrando o scoop de extração de ar quente do radiador, que otimiza o fluxo reduzindo o arraste aerodinâmico

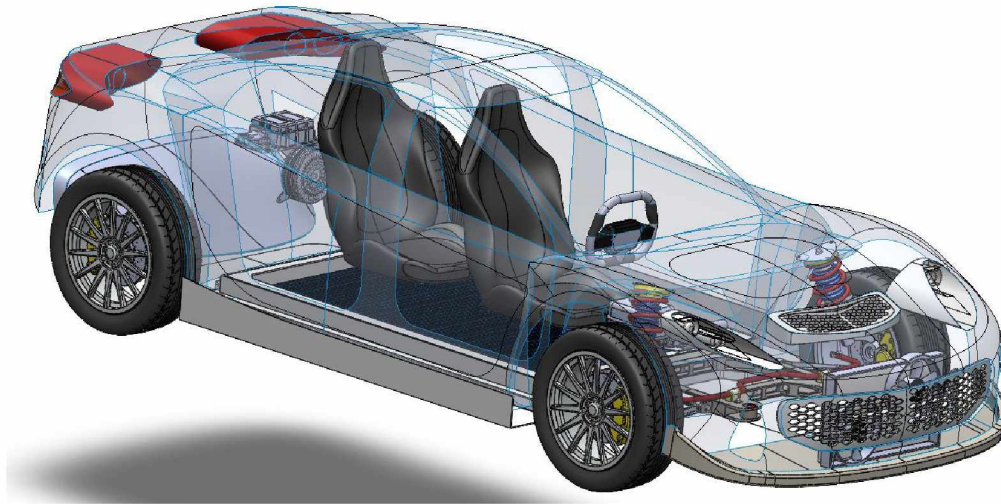


Fonte: o autor (2025)

Enquanto projetos convencionais apresentam coeficiente de arrasto ( $C_x$ ) entre 0,28 e 0,35, veículos otimizados como o DeCarbon visam alcançar valores inferiores a 0,25. Essa redução, embora aparentemente modesta, resulta em ganhos significativos de autonomia, especialmente relevantes para veículos elétricos, que se beneficiam de menor consumo energético sem a necessidade de ampliar a capacidade das baterias (Gillespie, 1992).

Por outro lado, veículos elétricos com dimensões extremamente compactas e elevada altura tendem a apresentar desempenho aerodinâmico inferior. Além do aumento do arrasto, tais veículos tornam-se mais vulneráveis a instabilidades provocadas por rajadas de vento lateral e pelo deslocamento de ar turbulento gerado por veículos de grande porte. No caso do DeCarbon, essas limitações foram superadas por meio de um perfil mais baixo, centro de gravidade rebaixado e largura suficiente para que a suspensão e os pneus absorvam os momentos indesejados, garantindo controle e segurança mesmo em velocidades elevadas.

Fig 9 – Modelo 3D do Veículo DeCarbon com aplicação de transparência no chassis mostrando o perfil baixo do carro que otimiza a redução do coeficiente  $C_d$



Fonte: o autor (2025)

Dessa forma, o conjunto de soluções integradas no DeCarbon, como o perfil afilado, as superfícies carenadas, as grades compactas, a eficiência no gerenciamento térmico e o baixo coeficiente de arrasto, conferem ao veículo uma performance compatível com os desafios da mobilidade elétrica contemporânea. A aerodinâmica, nesse contexto, deixa de ser um elemento exclusivo do universo esportivo e passa a representar uma estratégia indispensável para ampliar a autonomia, reduzir o consumo energético e contribuir com a sustentabilidade ambiental em cenários urbanos e intermunicipais.



Fig 10 – Renderização 3D do Veículo DeCarbon mostrando as soluções aerodinâmicas aplicadas, como o teto em formato de arco, o perfil baixo, o para-brisas inclinado, as superfícies laterais fluidas e o extrator de ar traseiro



Fonte: o autor (2025)

### 3.4 A DEFINIÇÃO DO PNEU

Em projetos de veículos elétricos (VEs), a seleção dos pneus desempenha papel tão relevante quanto a definição do conjunto motopropulsor, do sistema de baterias e das soluções aerodinâmicas. Essa importância se justifica pela influência direta que os pneus exercem sobre variáveis fundamentais do desempenho veicular, como eficiência energética, autonomia, comportamento dinâmico, conforto e durabilidade.

A resistência ao rolamento é um dos principais fatores que impactam o consumo energético em veículos elétricos. Pneus com menor resistência exigem menos energia para vencer o atrito com o solo, permitindo melhor aproveitamento da carga das baterias e resultando em maior autonomia (GILLESPIE, 1992). Além disso, a geometria, o desenho da banda de rodagem e o composto de borracha influenciam diretamente na aderência, na resposta em curvas e na estabilidade do veículo, aspectos essenciais para segurança e controle dinâmico, sobretudo em aplicações urbanas e intermunicipais (REIF, 2014).

A questão acústica também se torna crítica em VEs. A ausência do ruído gerado por motores a combustão interna torna o som proveniente da rodagem mais

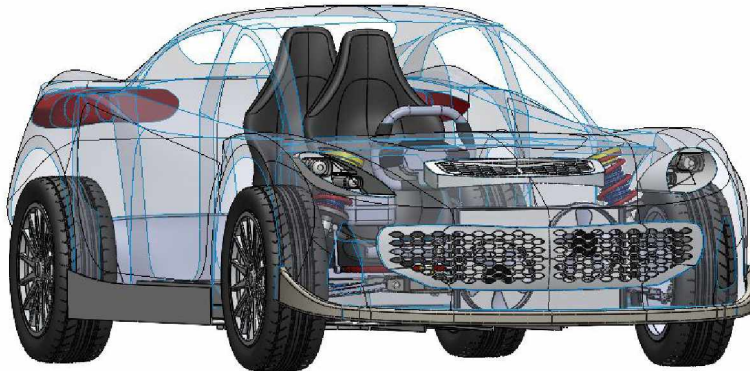
perceptível para os ocupantes. Assim, pneus otimizados para baixo ruído desempenham papel relevante na promoção do conforto interno. Compostos e estruturas desenvolvidos para absorver vibrações e reduzir o som de contato com o solo tornam-se elementos importantes para qualificar a experiência de condução (BOSCH, 2020).

Outro aspecto técnico de destaque é o desgaste dos pneus. O torque instantâneo típico dos motores elétricos pode acelerar a degradação de compostos tradicionais, levando a substituições mais frequentes. Por essa razão, a utilização de pneus com materiais de maior resistência ao cisalhamento e desgaste é recomendada para aumentar a durabilidade e manter o desempenho ao longo do tempo (EMADI, 2018).

No contexto do projeto DeCarbon, que propõe um veículo leve (aproximadamente 1.000 kg), voltado à mobilidade urbana e intermunicipal de médio alcance, foi selecionado o pneu Continental EcoContact 6, na medida 215/55 R18. Esse modelo apresenta características técnicas alinhadas aos objetivos do projeto, como alta eficiência energética, baixa resistência ao rolamento e bom desempenho em estabilidade e conforto. Desenvolvido com sílica altamente otimizada e um desenho de banda que favorece o escoamento e reduz a deformação durante a rolagem, o EcoContact 6 contribui diretamente para o aumento da autonomia elétrica (CONTINENTAL, 2023).

A estrutura da banda de rodagem deste pneu também se destaca pela sua capacidade de mitigar o ruído gerado na rodagem. Essa característica é especialmente relevante para veículos como o DeCarbon, que valorizam o silêncio interno como atributo de qualidade. O perfil 215/55 R18 proporciona um equilíbrio adequado entre conforto, área de contato com o solo e desempenho aerodinâmico. A largura moderada garante boa aderência em curvas e frenagens, enquanto o diâmetro da roda contribui para o desempenho em velocidades de estrada e estabilidade direcional.

Fig 11 – Modelo 3D do Veículo DeCarbon em Software SolidWorks 25 mostrando o modelamento do pneu escolhido



Fonte: o autor (2025)

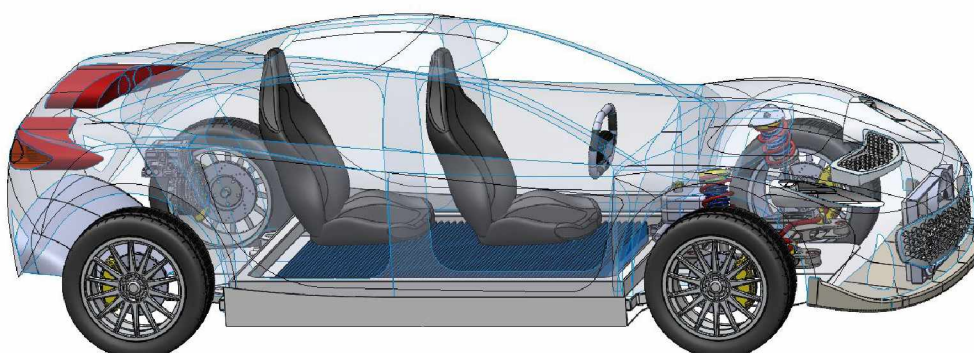
Adicionalmente, a distribuição otimizada de rigidez na banda de rodagem favorece a resposta em manobras e estabilidade lateral, atributos essenciais em um projeto que combina leveza estrutural com exigências de desempenho dinâmico. A seleção do EcoContact 6, portanto, vai além de uma escolha de componente. Trata-se de uma decisão técnica estratégica que impacta diretamente na eficiência energética, no comportamento do veículo e na percepção de qualidade pelo usuário.

Conclui-se que, no projeto DeCarbon, os pneus ocupam um papel funcional crucial, alinhando-se à proposta de racionalidade construtiva, sustentabilidade e eficiência energética. O EcoContact 6 representa uma solução compatível com as demandas da eletromobilidade contemporânea, contribuindo para a consolidação de um veículo urbano limpo, silencioso e com excelente autonomia.

### 3.6 PACKING INTERNO COM FOCO NA ADOÇÃO DE DOIS ASSENTOS EM CONFIGURAÇÃO TANDEM

Apesar de o DeCarbon adotar uma configuração de assentos em tandem com o passageiro posicionado diretamente atrás do motorista isso não significa que sua largura total seja inferior à de um veículo convencional. O habitáculo, de fato, é mais estreito, mas a carroceria mantém dimensões similares às de automóveis tradicionais. Essa diferença entre interior e exterior impõe um desafio ao projeto de estilo, exigindo soluções criativas para que o visual do veículo continue apazível e equilibrado, mesmo com uma cabine mais enxuta.

Fig 12 – Modelo do Veículo DeCarbon em SolidWorks 25 com a carroceria em modo transparência mostrando o packing interno com a disposição dos dois assentos em configuração tandem



Fonte: o autor (2025)

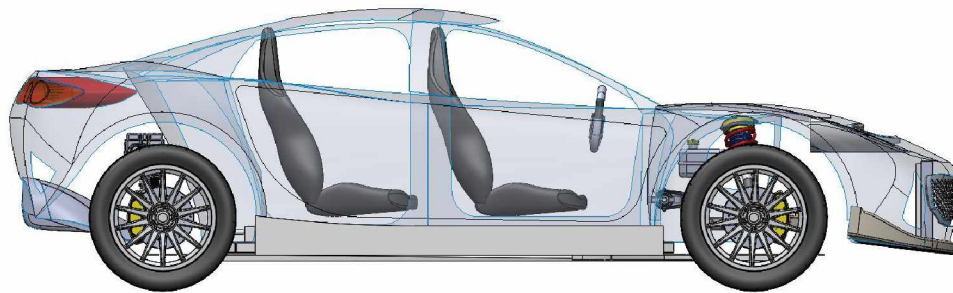
A disposição tandem, pouco comum em carros comerciais, revela-se extremamente vantajosa em projetos de veículos elétricos compactos. Posicionar os ocupantes um atrás do outro permite eliminar a necessidade de espaço lateral duplo, liberando áreas para baterias no assoalho, zonas de deformação lateral reforçadas e estruturas mais rígidas, sem necessidade de ampliar a largura externa do veículo. Isso beneficia diretamente a mobilidade urbana, facilitando manobras e o estacionamento em espaços estreitos.

Mesmo com essa disposição longitudinal, o DeCarbon conta com quatro portas, duas dianteiras e duas traseiras, que garantem fácil acesso tanto ao motorista quanto ao passageiro. Além disso, o veículo dispensa o console central tradicional. Suas funções principais, como controles de climatização, interfaces



digitais e comandos auxiliares, estão integradas às portas laterais, o que reforça a sensação de espaço livre e organização funcional da cabine.

Fig 13 – Modelo do Veículo DeCarbon em SolidWorks 25 com a carroceria em modo transparência mostrando o packing interno com a disposição dos dois assentos em configuração tandem, vista lateral

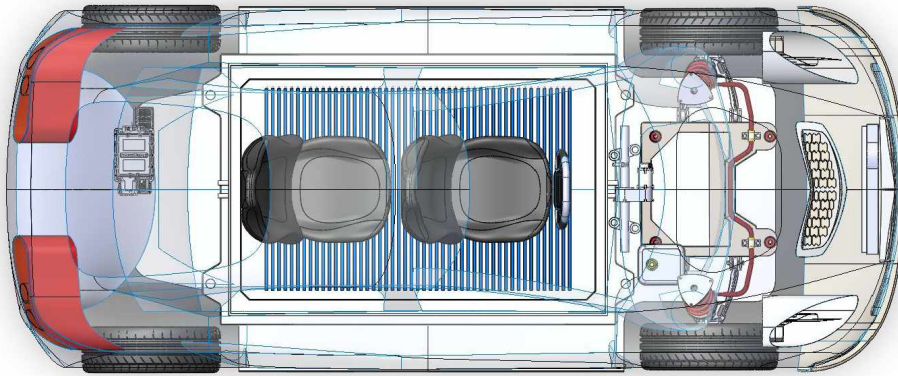


Fonte: o autor (2025)

A ergonomia da posição de condução também é favorecida por esse layout. O motorista conta com uma área de operação centralizada, projetada exclusivamente para facilitar a condução, com visibilidade otimizada e comandos voltados diretamente ao seu alcance. O passageiro, por sua vez, desfruta de maior privacidade, já que não está posicionado ao lado do condutor, o que pode ser um diferencial importante em serviços por aplicativo e deslocamentos individuais.

Outro aspecto técnico de grande relevância é a centralização da massa ao longo do eixo longitudinal do veículo. Esse tipo de distribuição, amplamente utilizada em veículos de competição do tipo fórmula, favorece o equilíbrio dinâmico, reduz transferências laterais e melhora a previsibilidade do comportamento em curvas. Em um modelo leve, com tração traseira como o DeCarbon, essa característica contribui diretamente para uma condução mais segura, ágil e estável.

Fig 14 – Modelo do Veículo DeCarbon em SolidWorks 25 com a carroceria em modo transparência mostrando o packing interno com a disposição dos dois assentos em configuração tandem, vista superior



Fonte: o autor (2025)

Assim, a adoção dos assentos em tandem no DeCarbon não é apenas uma escolha de originalidade, mas uma solução coerente com os princípios da engenharia voltada à eficiência energética, à racionalidade construtiva e à usabilidade real. Mesmo enfrentando o desafio de harmonizar um interior estreito com uma carroceria de proporções convencionais, o projeto entrega um veículo funcional, leve, aerodinâmico e plenamente adaptado às exigências da mobilidade moderna.

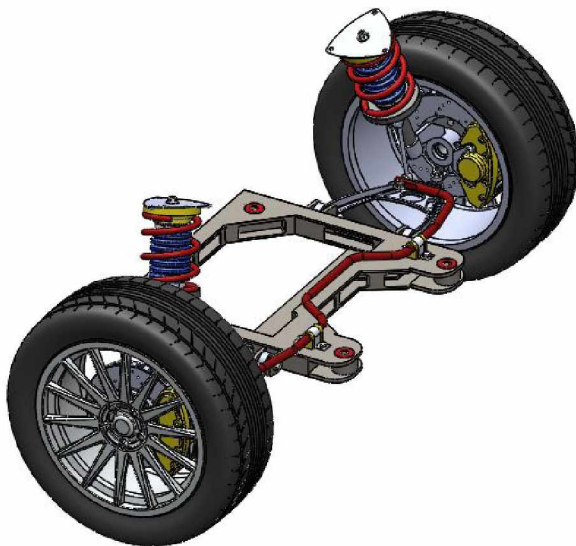
### 3.5 DEFINIÇÃO DA SUSPENSÃO:

A suspensão de um veículo desempenha papel fundamental na definição de sua dinâmica veicular, influenciando diretamente o conforto, a estabilidade e a segurança durante a condução. No contexto do DeCarbon, um concept car elétrico leve, ágil, com tração traseira e voltado para uso urbano e deslocamentos rodoviários de médio alcance, a adoção de um conjunto composto por suspensão dianteira do tipo MacPherson e suspensão traseira Multilink representa uma solução tecnicamente eficiente, estruturalmente coerente e alinhada aos objetivos do projeto.

A suspensão dianteira MacPherson é amplamente utilizada na indústria automotiva devido ao equilíbrio entre desempenho dinâmico, simplicidade construtiva e racionalidade econômica que proporciona. Integrando mola e amortecedor em um único conjunto, esse sistema reduz o número de componentes, o que resulta em menor peso, custos de produção reduzidos e facilidade de manutenção. Sua compactidade possibilita o aproveitamento otimizado do espaço no compartimento dianteiro, viabilizando a integração de zonas de deformação programada, módulos eletrônicos e compartimentos adicionais para bagagem. Além disso, a suspensão MacPherson oferece bom controle direcional, mantendo a geometria estável durante frenagens e curvas, característica essencial em veículos leves com distribuição equilibrada de massas (HEISLER, 2002).

No caso específico do DeCarbon, essas qualidades tornam a suspensão MacPherson especialmente adequada. A leveza estrutural do veículo, combinada com a configuração em tandem e o centro de gravidade rebaixado, permite que esse tipo de suspensão atue com elevada eficácia dinâmica, sem comprometer a massa total do conjunto. A liberação de espaço frontal, proporcionada pela escolha dessa suspensão, contribui para a flexibilidade do projeto, possibilitando adaptações e variações modulares conforme a aplicação pretendida.

Fig 15 – Suspensão dianteira McPherson modelada em Software SolidWorks 25 para o Veículo DeCarbon



A adoção da suspensão dianteira do tipo MacPherson no DeCarbon também possibilita a otimização do espaço disponível no compartimento dianteiro, liberando área suficiente para a inclusão de um bagageiro frontal com capacidade aproximada de 200 litros. Essa solução amplia a funcionalidade e a praticidade do veículo. Além disso, o espaço liberado permite a instalação de um scoop funcional, destinado à extração do ar quente gerado pelo radiador do sistema de refrigeração. Tal recurso contribui para o controle térmico eficiente dos componentes eletrônicos e do motor elétrico, favorecendo a manutenção de temperaturas operacionais ideais e aprimorando o desempenho aerodinâmico ao reduzir a pressão interna no compartimento dianteiro (BOSCH, 2020; EMADI, 2018).

A suspensão traseira Multilink, utilizada no eixo motriz do DeCarbon, oferece maior sofisticação no controle das rodas, permitindo ajustes precisos da geometria durante o curso da suspensão. Essa configuração favorece o conforto e a estabilidade, especialmente em pisos irregulares e em velocidades elevadas. Sua aplicação é particularmente eficaz em veículos com tração traseira e uso rodoviário, pois melhora a aderência, reduz a transferência lateral de massa e contribui para uma condução mais estável e previsível. A boa performance do DeCarbon em ambientes rodoviários está diretamente associada à presença do sistema Multilink, que garante um comportamento refinado e seguro mesmo em condições dinâmicas exigentes (REIF, 2014).

Além dos benefícios dinâmicos, a suspensão traseira Multilink proporciona vantagens estruturais importantes, uma vez que sua arquitetura permite a otimização do espaço disponível no eixo traseiro. Essa configuração libera área suficiente para acomodar de forma integrada o motopropulsor elétrico, os drives de controle do motor, os módulos de carregamento e regeneração, além da caixa de engrenagens e do diferencial. Essa disposição compacta e modular contribui para a eficiência do sistema de tração, facilita a manutenção e possibilita o desenvolvimento de um conjunto traseiro altamente funcional e organizado, fundamental para veículos elétricos leves e de alto desempenho (EMADI, 2018).

Dessa forma, a combinação entre a suspensão dianteira MacPherson e a suspensão traseira Multilink no DeCarbon atende aos requisitos técnicos do veículo



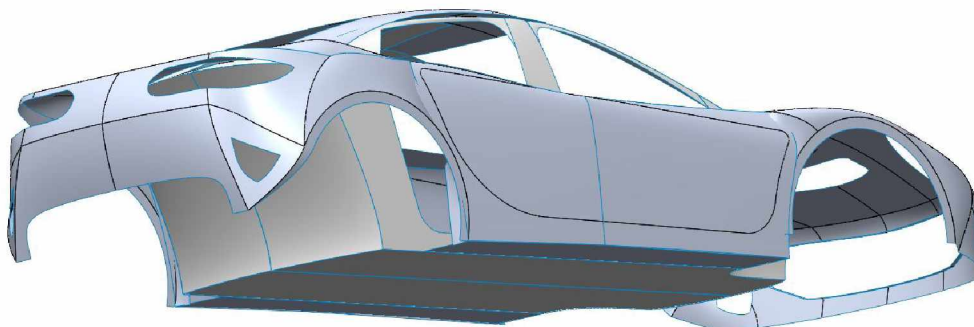
e reforça o compromisso do projeto com a eficiência, a racionalidade construtiva e a adequação funcional à mobilidade elétrica contemporânea.

### 3.6 APLICAÇÃO DE ALUMÍNIO E AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA NO CHASSIS

No projeto do DeCarbon, a estratégia estrutural combina de forma inteligente diferentes materiais para atender simultaneamente aos requisitos de leveza, desempenho dinâmico, segurança e sustentabilidade. A estrutura principal do veículo é composta por um chassi em alumínio, cuja função primordial é garantir rigidez torcional, baixo peso e eficiência energética. Essa base em alumínio, aplicada na forma de perfis extrudados e painéis estampados, contribui significativamente para a redução da massa total do veículo, o que impacta diretamente na autonomia, na agilidade em ambientes urbanos e no consumo de energia (SCHAEFER, 2016).

Reconhecendo, entretanto, as demandas rigorosas de segurança passiva e proteção dos ocupantes, o DeCarbon incorpora, além do chassi leve, uma célula de sobrevivência central construída em aço de alta resistência. Esta célula envolve a cabine dos ocupantes e é projetada para suportar esforços extremos em caso de colisão, preservando a integridade estrutural do habitáculo. O aço de alta resistência possui elevada capacidade de absorção de energia e resistência à deformação, características fundamentais para garantir a segurança em impactos frontais, laterais e em capotamentos (MURRAY; BLACK, 2013).

Fig 16 – Modelo 3D em SolidWorks 2025 do conjunto Célula de Sobrevivência (cinza claro) + Chassis Externo do Veículo DeCarbon; célula de sobrevivência em Aço de Alta Resistência e Chassis Externo em Alumínio

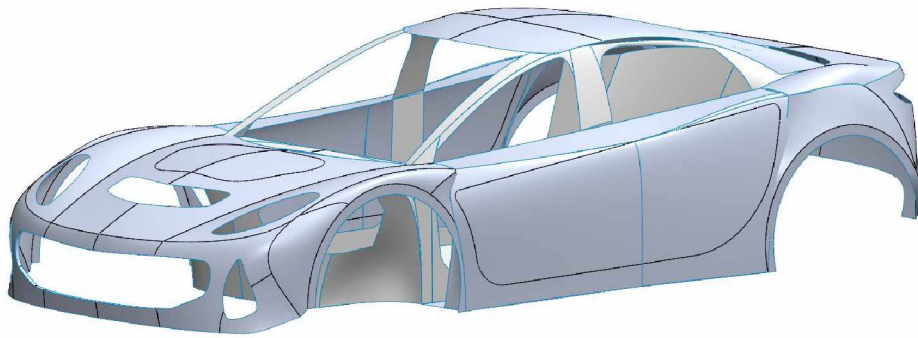


Fonte: o autor (2025)

A combinação entre alumínio e aço de alta resistência configura uma solução técnica cada vez mais empregada na engenharia automotiva avançada, pois permite otimizar a distribuição dos esforços estruturais segundo as propriedades específicas de cada material. Enquanto o alumínio reduz a massa total e melhora o desempenho dinâmico e energético do veículo, o aço de alta resistência atua como elemento-chave na segurança dos ocupantes, formando uma célula robusta, resistente à intrusão e capaz de preservar o espaço vital em situações críticas (KRISHNAMURTHY; KIM, 2018).

No DeCarbon, essa abordagem híbrida resulta em um conjunto estrutural que alia leveza e segurança de maneira equilibrada, atendendo aos requisitos da mobilidade elétrica contemporânea, na qual desempenho, eficiência e proteção dos usuários devem coexistir de forma integrada e inteligente.

Fig 17 – Modelo 3D em SolidWorks 2025 do conjunto Célula de Sobrevivência (cinza claro) + Chassis Externo do Veículo DeCarbon; célula de sobrevivência em Aço de Alta Resistência e Chassis Externo em Alumínio



Fonte: o autor (2025)

A montadora Audi é pioneira na aplicação de chassis de alumínio em veículos de produção em série, tendo iniciado essa trajetória com o lançamento do Audi A8 em 1994, que incorporou a tecnologia Audi Space Frame (ASF). Essa solução inovadora visava reduzir o peso estrutural dos veículos sem comprometer a rigidez e a segurança (SCHMIDT, 2001). A utilização do alumínio trouxe vantagens significativas, como a redução do peso total do veículo, o que resulta em melhor desempenho dinâmico, maior eficiência no consumo de combustível e menor emissão de poluentes.

Entretanto, a aplicação do alumínio também apresentou desafios técnicos e econômicos relevantes. O processamento do alumínio exige técnicas especiais de fabricação, como a soldagem por fricção por agitação (FSW) e a união por adesivos estruturais, que são mais complexas e custosas do que os processos tradicionais para aço (KLEIN; WILHELM, 2010). Além disso, o alumínio possui diferentes características de deformação e fadiga em relação ao aço, o que requer cuidados específicos no projeto e na simulação estrutural.

As vantagens do uso do alumínio incluem a capacidade de alcançar elevada rigidez com menor massa, resistência à corrosão e possibilidade de designs mais flexíveis devido à maleabilidade do material. Por outro lado, as desvantagens englobam os custos elevados, a necessidade de equipamentos especiais para fabricação e reparos mais complexos em caso de danos (SCHMIDT, 2001).

A experiência da Audi demonstra que, embora a incorporação do alumínio em chassis automotivos seja desafiadora, seus benefícios em termos de

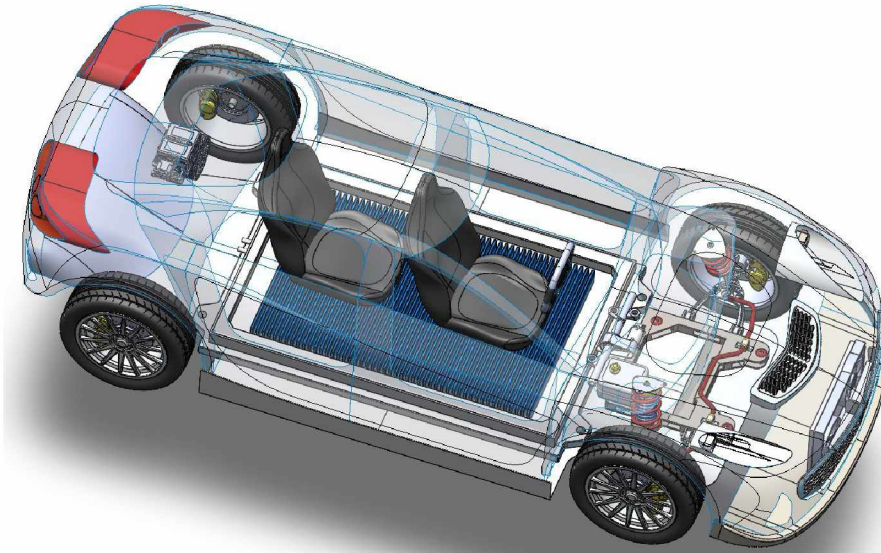
desempenho e eficiência justificam os investimentos tecnológicos e econômicos. Essa trajetória pioneira tem servido como referência para diversos projetos contemporâneos de veículos leves e sustentáveis, como é o caso do DeCarbon.

### 3.7 DEFINIÇÃO DO PACK DE BATERIAS

A instalação da bateria no assoalho do veículo é uma estratégia fundamental para reduzir o centro de gravidade, proporcionando ganhos significativos em estabilidade, dirigibilidade e segurança dinâmica. Ao posicionar o conjunto de baterias na parte mais baixa da estrutura, a massa do sistema de armazenamento de energia fica distribuída próxima ao solo, diminuindo o balanço do veículo em curvas e facilitando o controle em manobras rápidas. Essa localização também contribui para uma melhor distribuição do peso entre os eixos, favorecendo a resposta da suspensão e a aderência dos pneus (KRISHNAMURTHY; KIM, 2018).

Todavia, essa configuração exige cuidados especiais quanto à proteção das baterias, visto que estão localizadas em área vulnerável a impactos provenientes de obstáculos, detritos e colisões laterais ou inferiores. Portanto, é imprescindível o uso de mantas balísticas ou placas de proteção reforçadas ao redor do pack. Esses materiais de alta resistência mecânica são capazes de absorver e dispersar a energia de objetos penetrantes ou perfurantes, minimizando o risco de danos físicos às células da bateria (MURRAY; BLACK, 2013).

Fig 18 – Modelo 3D do Veículo DeCarbon em SolidWorks 25 mostrando a disposição do Pack de Baterias Blade no assoalho do veículo



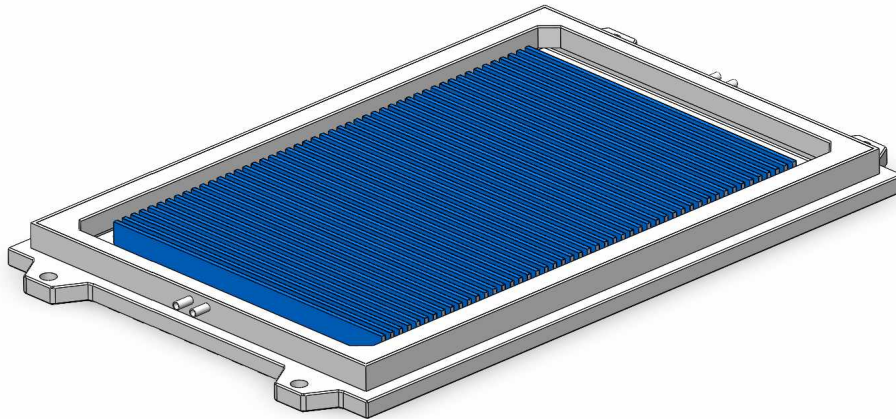
Fonte: o autor (2025)

Outro aspecto crucial relacionado à segurança e desempenho das baterias é o gerenciamento térmico do sistema. Baterias de íon-lítio, como as do tipo Blade, são sensíveis a variações extremas de temperatura. Em condições de calor excessivo, o aumento térmico pode acelerar reações químicas internas, elevando o risco de fuga térmica e deterioração prematura da bateria. Temperaturas muito baixas, por sua vez, reduzem a eficiência das reações eletroquímicas, limitando a capacidade de carga e descarga e, conseqüentemente, a autonomia do veículo. Por isso, sistemas avançados de gerenciamento térmico são essenciais para manter a bateria dentro de uma faixa ideal, garantindo segurança, desempenho constante e prolongamento da vida útil do conjunto (SCHAEFER, 2016).

As baterias do tipo Blade, desenvolvidas originalmente pela BYD (Build Your Dreams), representam um avanço relevante na arquitetura de células para veículos elétricos, com design alongado, estrutura compacta e eficiente aproveitamento volumétrico. Apesar de não apresentarem a maior densidade energética do mercado, sobretudo quando comparadas às baterias de estado sólido emergentes, destacam-se pela segurança aprimorada, robustez e confiabilidade em aplicações intensivas (KRISHNAMURTHY; KIM, 2018). Utilizando a química LFP (lítio-ferro-fosfato), essas baterias apresentam estabilidade térmica superior, reduzindo significativamente os riscos de incêndios e explosões, mesmo em testes severos de perfuração e esmagamento (MURRAY; BLACK, 2013).



Fig 19 – Modelo 3D em SolidWorks 25 do Pack de Baterias do Veículo DeCarbon

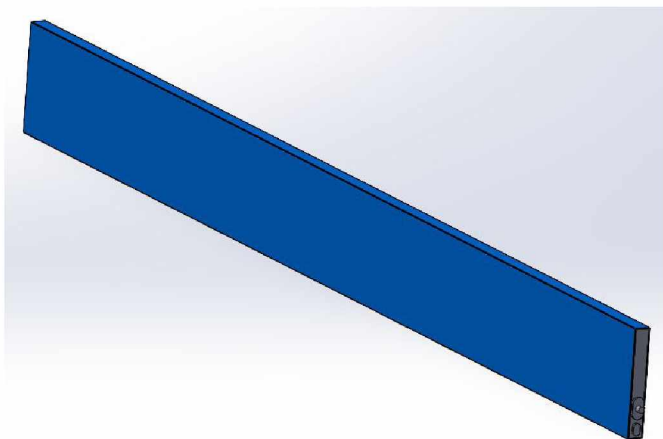


Fonte: o autor (2025)

A arquitetura cell-to-pack adotada elimina módulos intermediários, reduzindo o peso e aumentando a densidade energética por volume, o que possibilita sua instalação plana sob o assoalho. Tal configuração favorece um centro de gravidade baixo, melhor distribuição de massa e maior espaço interno, alinhando-se aos conceitos do projeto DeCarbon (SCHAEFER, 2016).

Embora as baterias de estado sólido apresentem potencial para densidades energéticas superiores, as Blade constituem uma solução madura, com durabilidade superior a 3.000 ciclos de carga e descarga e baixa degradação. Ademais, sua composição dispensa metais críticos como cobalto e níquel, reduzindo custos e riscos associados à cadeia de suprimentos (KRISHNAMURTHY; KIM, 2018). Todavia, a mineração dos materiais, incluindo o lítio, acarreta impactos ambientais significativos, como degradação do solo, alto consumo hídrico e contaminação de ecossistemas, o que levanta preocupações acerca da sustentabilidade a longo prazo desses recursos (MURRAY; BLACK, 2013).

Fig 20 – Modelo 3D em SolidWorks de uma bateria do Tipo Blade (BYD) utilizada no Pack de Baterias do Veículo DeCarbon



Fonte: o autor (2025), baseado na Bateria do tipo Blade, desenvolvida pela empresa BYD

Quanto à reciclabilidade, embora o alumínio e alguns componentes das baterias possuam alta taxa de reaproveitamento, ainda existem desafios tecnológicos e econômicos para a reciclagem eficiente das baterias de íon-lítio em geral, incluindo as do tipo Blade. Os processos atuais são dispendiosos e pouco difundidos globalmente, o que pode comprometer a gestão adequada dos resíduos e gerar impactos ambientais adversos (SCHAEFER, 2016).

Incêndios em veículos elétricos, apesar de não ocorrerem com maior frequência que em veículos convencionais, possuem características críticas que demandam atenção. A energia química armazenada em espaço compacto e a possibilidade de fuga térmica tornam o controle do fogo complexo, uma vez que reações químicas podem persistir mesmo após o uso de extintores comuns. Procedimentos específicos de resfriamento e contenção são necessários para tais ocorrências (MURRAY; BLACK, 2013).

Outro ponto importante refere-se à regulamentação dos sistemas de carregamento de baterias. Atualmente, ainda não existem normas consolidadas e específicas para o carregamento, principalmente em locais fechados como garagens de prédios residenciais e comerciais. Essa lacuna regulamentar representa um desafio para a segurança e a padronização de infraestruturas, exigindo atenção dos órgãos reguladores e das indústrias para garantir instalações seguras e eficientes no contexto da mobilidade elétrica (ANP, 2022).

No projeto DeCarbon, a escolha das baterias Blade reflete o equilíbrio entre segurança, durabilidade, custo e desempenho, considerando as limitações atuais em densidade energética e os desafios ambientais envolvidos. A instalação do pack no assoalho, aliada ao uso de mantas balísticas, reforça o compromisso com um projeto seguro, eficiente e alinhado à mobilidade sustentável contemporânea.

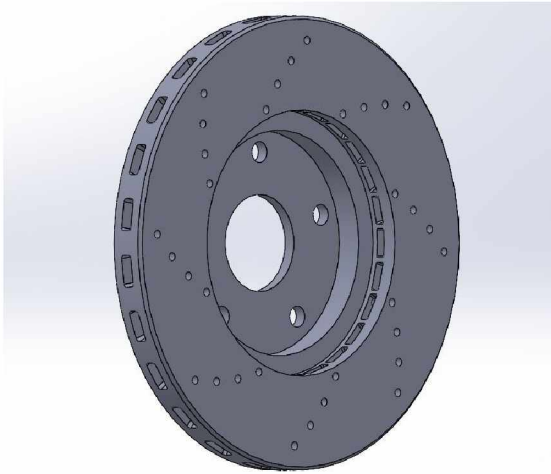
### 3.8 SISTEMA DE FRENAGEM

O sistema de frenagem de um veículo elétrico deve estar em sintonia com suas características estruturais e dinâmicas, como baixo peso, alta eficiência, desempenho confiável e regeneração energética. No caso do DeCarbon, um concept car leve, com dois assentos em posição tandem e tração traseira, a escolha por freios a disco nas quatro rodas, com discos duplamente ventilados e pinças flutuantes, é tecnicamente adequada ao perfil do projeto.

Os discos duplamente ventilados, com canais internos entre as superfícies, favorecem a dissipação de calor durante frenagens repetitivas ou prolongadas, como em descidas e tráfego rodoviário. Essa dissipação reduz o risco de perda de eficiência por superaquecimento (fading) e garante maior estabilidade térmica, o que resulta em desempenho constante mesmo sob uso intenso (REIMANN et al., 2019). Para o DeCarbon, que operará tanto em áreas urbanas quanto em percursos mais longos, essa característica é essencial para segurança e conforto.

Fig 21 – Disco de Freio Frontal Duplo Ventilado modelado no Software SolidWorks 25 do Veículo DeCarbon

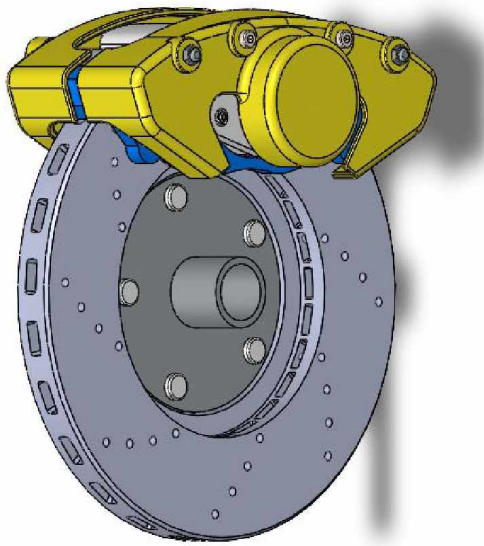




Fonte: o autor (2025)

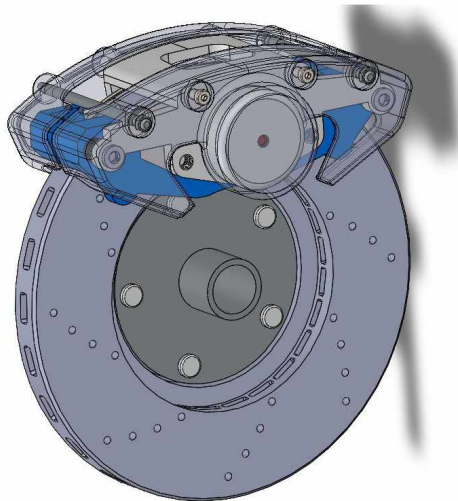
As pinças flutuantes, por sua vez, utilizam um único pistão e estrutura deslizante que aciona ambas as faces do disco. São mais leves que as pinças fixas de múltiplos pistões, simplificam o sistema e reduzem os custos de fabricação e manutenção. São também mais adequadas para veículos leves que não exigem sistemas de frenagem esportivos, promovendo uma resposta eficiente e segura (HARTWIG; KELLER, 2020).

Fig 22 – Conjunto de Freio com Cavalete tipo Flutuante e Disco de Freio Duplo Ventilado modelado no Software SolidWorks 25 do Veículo DeCarbon



Fonte: o autor (2025)

Fig 23 – Conjunto de Freio com Cavalete tipo Flutuante e Disco de Freio Duplo Ventilado modelado no Software SolidWorks 25 do Veículo DeCarbon



Fonte: o autor (2025)

Nos veículos elétricos, a frenagem regenerativa é uma funcionalidade chave. Durante a desaceleração, o motor elétrico atua como gerador, convertendo parte da energia cinética em energia elétrica, que é armazenada na bateria (DUARTE; WATANABE, 2022). Isso reduz o desgaste dos freios mecânicos e melhora a eficiência energética. No entanto, é fundamental prever falhas nesse sistema. No projeto do DeCarbon, os freios foram dimensionados para operar com segurança

mesmo diante da perda total do sistema regenerativo, uma condição possível em virtude de falhas técnicas, temperaturas extremas ou requisitos de segurança.

O correto dimensionamento dos freios mecânicos é indispensável para garantir a frenagem total do veículo em todas as condições. Esse sistema deve entrar em ação em situações de emergência, em baixas velocidades, quando a regeneração é ineficaz, ou como redundância. A presença de discos nas quatro rodas proporciona uma distribuição de frenagem equilibrada, o que é essencial para a estabilidade de um veículo com chassi leve e tração traseira, além de favorecer a atuação de sistemas como ABS (Antilock Braking System) e ESC (Electronic Stability Control).

Outro recurso comum em veículos elétricos é o sistema *one pedal drive*, no qual a frenagem regenerativa é intensificada ao se retirar o pé do acelerador, permitindo desaceleração rápida sem acionar o pedal de freio. Essa tecnologia aumenta a autonomia, simplifica a condução urbana e reduz o uso dos freios mecânicos, prolongando a vida útil dos componentes. Estima-se que, em veículos com esse recurso, o desgaste de discos e pastilhas seja reduzido em mais de 50% (XU et al., 2021).

Portanto, o conjunto de freios ventilados, pinças flutuantes e integração com o sistema regenerativo representa uma solução coerente e eficiente para o DeCarbon. Essa abordagem não apenas melhora o desempenho e a segurança do veículo, mas também contribui para a sustentabilidade ao reduzir o consumo de materiais e a necessidade de manutenção frequente.

### 3.9 DEFINIÇÃO DO DESIGN E DA LINGUAGEM

Com a definição do sistema motopropulsor, do sistema de tração, do packing com dois assentos em tandem e do formato curvilíneo e baixo do veículo, o próximo desafio foi estabelecer o design do DeCarbon. Inicialmente, considerou-se uma

solução com as quatro rodas expostas, sem carenagem; entretanto, essa opção foi descartada devido à geração de numerosos vórtices que comprometeriam a eficiência aerodinâmica do automóvel. Optou-se, então, por um projeto em que o habitáculo fosse mais estreito, enquanto a carroceria mantivesse maior largura. Essa decisão alinha-se a práticas modernas, como a adotada pela Tesla no Model 3, que apresenta design minimalista e altamente aerodinâmico, enfatizando a importância de integrar aerodinâmica e estética para maximizar a eficiência sem perder a praticidade (TESLA, 2021; ANDREWS, 2019).

No desenvolvimento do projeto, foi considerado que a largura do veículo não poderia ser excessivamente reduzida, pois isso comprometeria o correto dimensionamento e acomodação do pack de baterias, além de poder acarretar problemas relacionados à estabilidade dinâmica. Assim, a carroceria foi projetada para ser mais larga, assegurando espaço para os componentes internos, enquanto o habitáculo destinado aos dois ocupantes em configuração tandem foi desenhado com dimensões mais estreitas. Para otimizar o desempenho aerodinâmico, as laterais da carroceria receberam superfícies cuidadosamente moldadas que promovem um escoamento de ar uniforme, reduzindo o coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) e, por consequência, aprimorando a eficiência energética do veículo (SMITH, 2017; JONES, 2018).

Fig 24 – Renderização do Veículo DeCarbon mostrando o Design Orgânico influenciado pelas formas criadas pelo Estúdio Pininfarina



Fonte: o autor (2025)

O Estúdio Pininfarina é mundialmente reconhecido por sua filosofia de design que combina elegância, funcionalidade e inovação, sempre buscando equilibrar estética e desempenho veicular. Sua abordagem caracteriza-se por linhas fluídas, proporções equilibradas e soluções que otimizam a aerodinâmica sem comprometer a personalidade do automóvel (PININFARINA, 2023). O projeto DeCarbon inspira-se profundamente nas linhas e princípios da Pininfarina, buscando unir eficiência e apelo visual de forma harmoniosa.

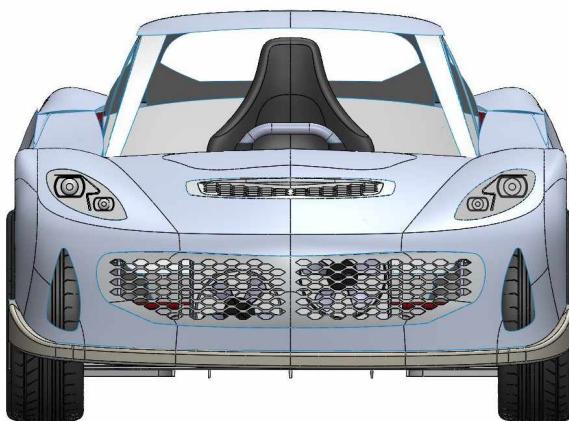
Fig 25 – Renderização do Veículo DeCarbon mostrando o Design Orgânico influenciado pelas formas criadas pelo Estúdio Pininfarina



Fonte: o autor (2025)

Em relação ao design, destaca-se a grade frontal do DeCarbon, que faz menção à araucária, árvore típica do estado do Paraná, reforçando o vínculo com a região e com a Universidade Federal do Paraná (UFPR). O logotipo escolhido remete a um pinhão e à araucária, simbolizando essa conexão cultural e regional.

Fig 26 – Modelo 3D em SolidWorks 25 do Veículo DeCarbon mostrando o formato da grade que faz menção à uma árvore araucária, típica do Estado do Paraná



Fonte: o autor (2025)

Fig 27 – Logotipo concebido para o Veículo DeCarbon, que faz menção visual, ao mesmo tempo, para uma araucária e seu fruto, o pinhão



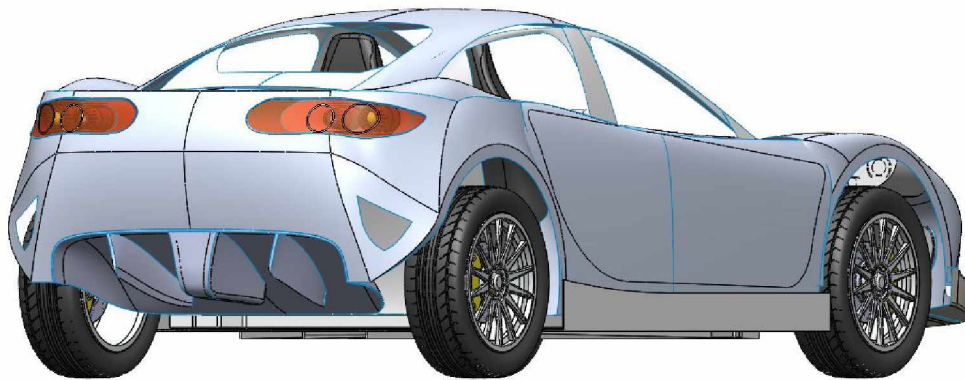
Fonte: o autor (2025)

As maçanetas das portas foram discretamente integradas à carroceria, eliminando saliências que poderiam aumentar o arrasto aerodinâmico. De forma semelhante, os retrovisores tradicionais foram substituídos por câmeras laterais, recurso que reduz o coeficiente de arrasto e proporciona um design mais limpo e contemporâneo (LEE; KIM, 2020).

Adicionalmente, foram empregados recursos estilísticos que criam a percepção de maior largura do veículo. Lanternas traseiras afiladas e posicionadas nos extremos, bem como faróis dianteiros com desenho semelhante, reforçam visualmente a largura e a estabilidade do automóvel, colaborando para um aspecto mais robusto sem comprometer a eficiência aerodinâmica (GONÇALVES, 2019).

Fig 28 – Modelo 3D em SolidWorks 25 do Veículo DeCarbon mostrando o recurso estilístico de alongar as lanternas traseiras posicionada nos extremos para reforçar visualmente a largura.





Fonte: o autor (2025)

Fig 29 – Modelo 3D em SolidWorks 25 do Veículo DeCarbon mostrando o recurso estilístico de alongar as lanternas traseiras posicionada nos extremos para reforçar visualmente a largura.



Fonte: o autor (2025)

O DeCarbon conta com dois compartimentos para bagagem: um frontal, com capacidade aproximada de 200 litros, destinado a objetos menores, e um traseiro, maior, com cerca de 300 litros, suficiente para acomodar a bagagem dos dois passageiros com conforto e praticidade.

### 3.10 O TRABALHO NA REDUÇÃO DE PESO



O projeto DeCarbon foi concebido com foco extremo na eficiência estrutural e redução de massa, adotando soluções inovadoras que o diferenciam significativamente de outros veículos elétricos da mesma categoria. Para fins de comparação, foi utilizado como benchmarking o modelo BYD Dolphin GS 2025, que possui peso total de 1.412 kg. A partir desse valor de referência, foi possível estimar os ganhos em leveza proporcionados pelas decisões de projeto do DeCarbon.

Entre os principais diferenciais, destaca-se a configuração de assentos em tandem, que elimina um dos bancos dianteiros tradicionais e aproximadamente dois terços do banco traseiro, resultando em importante alívio de peso estrutural e de acabamentos. Além disso, o DeCarbon faz uso de um chassi em alumínio, material significativamente mais leve do que os aços convencionais utilizados em plataformas modulares como a do Dolphin.

O projeto também opta pela eliminação de aproximadamente metade dos acabamentos internos, mantendo apenas os elementos essenciais ao conforto e segurança. Essa abordagem minimalista reduz substancialmente o uso de plásticos, tecidos e suportes estruturais secundários.

Outra solução adotada é a supressão do airbag frontal do passageiro, possível graças à configuração de assentos deslocados e à priorização de proteção individual. Ainda no campo da redução de massa, os vidros dianteiro e traseiro foram reprojatados com dimensões mais compactas, resultando em uma redução de cerca de 40% no peso desses componentes em comparação com o Dolphin.

Por fim, o sistema de propulsão elétrica do DeCarbon utiliza o motor EMRAX 228, conhecido por sua alta densidade de potência e peso reduzido em relação aos motores convencionais utilizados em veículos elétricos urbanos. Essa escolha não apenas reduz a massa total, como também contribui para a eficiência energética geral do veículo.

Com essas e outras soluções técnicas, o DeCarbon atinge um nível de desempenho e eficiência que o posiciona como uma proposta disruptiva no segmento de veículos urbanos elétricos leves.

Na tabela abaixo está demonstrado um estudo efeuado para estimar o peso final do veículo (aproximadamente 1.000 kgs) com o alívio de peso aplicado no projeto.

Tabela 11: Contabilização da redução de peso com as soluções aplicadas

**Tabela para estimativa da redução de peso: Veículo Elétrico Convencional x DeCarbon**

| Benchmarking Veículo BYD Dolphin GS 2014 |                            | Peso          | 1.412 kgs     |                     |                      |                     |
|------------------------------------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Item                                     | Item reduzido no DeCarbon  | Qtde Original | Qtde Removida | Peso estimado (kgs) | Peso protótipo (kgs) | Peso reduzido (kgs) |
| 1                                        | Assento passageiro frontal | 2,00          | 1,00          | 12,40               | 12,40                | 12,40               |
| 2                                        | Assento traseiro           | 1,00          | 1,00          | 25,00               | 12,40                | 12,60               |
| 3                                        | Limpador de Para-Brisa     | 2,00          | 1,00          | 23,00               | 11,50                | 11,50               |
| 4                                        | Air Bag                    | 2,00          | 1,00          | 4,00                | 0,00                 | 4,00                |
| 5                                        | Acabamento interno         | 1,00          | 0,50          | 250,00              | 125,00               | 125,00              |
| 6                                        | Para-brisas                | 1,00          | 0,40          | 13,00               | 7,80                 | 9,10                |
| 7                                        | Vidro traseiro             | 1,00          | 0,40          | 6,80                | 4,08                 | 2,72                |
| 8                                        | Motor Elétrico             | N/A           | N/A           | 35,00               | 13,50                | 21,50               |
| 9                                        | Chassis                    | N/A           | N/A           | 390,00              | 195,00               | 195,00              |
| 10                                       | Limpador de Para-Brisa     | 2,00          | 1,00          | 2,00                | 1,00                 | 1,00                |
| Peso reduzido total:                     |                            |               |               |                     |                      | 394,82              |
| Peso estimado DeCarbon:                  |                            |               |               |                     |                      | 1.017,18            |

Fonte: o autor (2025)

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 ASPECTOS GERAIS

Como resultado final deste trabalho, foi desenvolvida uma maquete digital tridimensional, modelada no software SolidWorks 2024. Essa maquete permitiu representar a disposição dos principais componentes do veículo, seu arranjo interno (packing) e a aparência externa, contemplando aspectos de design, proporção e integração dos sistemas.

A partir desse modelo tridimensional, foram geradas imagens que serviram como base para o sistema de geração de vídeos por prompt da plataforma Hailuo AI. Esse sistema realizou a renderização automatizada da maquete, convertendo-a em vídeos animados que proporcionam uma visualização dinâmica e realista do projeto, tanto sob o aspecto estético quanto funcional. A adoção dessa tecnologia de inteligência artificial auxiliou na validação técnica do conceito ao permitir a observação do projeto sob diferentes ângulos e cenários simulados, promovendo maior assertividade no desenvolvimento.

Os vídeos obtidos forneceram uma visão definitiva do conceito proposto, contribuindo significativamente para a validação visual e técnica do modelo. Além disso, a apresentação em vídeo favoreceu a comunicação dos resultados do projeto a um público mais amplo, extrapolando os limites das representações estáticas convencionais, o que reforça o caráter inovador da proposta.

A pesquisa de campo realizada no hipercentro de Curitiba e em suas imediações demonstrou que um veículo com dois assentos em configuração tandem possui potencial para atender às necessidades da maioria da população entrevistada, desde que os usuários estejam dispostos a abdicar de algumas características dos veículos convencionais, como o espaço interno ampliado e a maior altura livre do solo. Embora o design final de qualquer veículo tenha um grau inerente de subjetividade, considera-se que a proposta desenvolvida possui apelo estético e funcional compatível com as expectativas de um público urbano que valoriza mobilidade sustentável, compacidade e eficiência.

A proposta do veículo DeCarbon, com sua configuração leve, motorização 100% elétrica e aerodinâmica otimizada, apresenta viabilidade não apenas como

veículo particular, mas também como alternativa estratégica para serviços de mobilidade urbana baseados em plataformas de transporte por aplicativo, como Uber, 99 e serviços similares.

A crescente demanda por soluções sustentáveis nas grandes cidades tem incentivado operadores de transporte individual a adotar veículos com menor impacto ambiental. Nesse contexto, o DeCarbon representa uma alternativa competitiva, pois oferece benefícios diretos ao condutor parceiro da plataforma: menor custo operacional, maior eficiência energética e baixo custo de manutenção (COLOMBO et al., 2022).

Graças ao seu projeto aerodinâmico, com coeficiente de arrasto reduzido e área frontal compacta, aliado à significativa redução de peso estrutural, o DeCarbon demanda menor energia para deslocamento. Esse fator, combinado à motorização elétrica de alta eficiência, como o motor EMRAX 228, resulta em economia energética considerável quando comparado a veículos a combustão tradicionais, especialmente em trajetos urbanos com constantes acelerações e frenagens.

Além da economia direta de energia elétrica, essa eficiência contribui para a redução de emissões indiretas de gases de efeito estufa, sobretudo quando a fonte energética utilizada é predominantemente renovável, como ocorre no Brasil (ANEEL, 2023). A ausência de emissões locais, característica dos veículos elétricos, também elimina completamente a emissão de poluentes atmosféricos em áreas urbanas densas, fator que impacta positivamente a saúde pública (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2022).

Outro aspecto relevante é a eliminação quase total da poluição sonora, especialmente importante em grandes metrópoles, onde o tráfego intenso gera elevados níveis de ruído ambiental. Veículos elétricos, por operarem com níveis muito baixos de emissão sonora, favorecem um ambiente urbano mais silencioso e agradável, melhorando a qualidade de vida da população e reduzindo o estresse urbano (SANTOS; LIMA, 2021).

Do ponto de vista do usuário final, ou seja, do passageiro, o DeCarbon oferece um diferencial importante ao proporcionar um transporte mais limpo, silencioso e eficiente, com uma experiência de deslocamento alinhada às tendências de mobilidade sustentável. Sua proposta de layout com assentos em configuração tandem, embora não convencional, pode ser assimilada positivamente por passageiros que priorizam conforto individual e agilidade urbana.

O projeto DeCarbon foi concebido com foco extremo na eficiência estrutural e redução de massa, adotando soluções inovadoras que o diferenciam significativamente de outros veículos elétricos da mesma categoria. Para fins de comparação, foi utilizado como benchmarking o modelo BYD Dolphin GS 2025, que possui peso total de 1.412 kg. A partir desse valor de referência, foi possível estimar os ganhos em leveza proporcionados pelas decisões de projeto do DeCarbon, onde chegou-se ao peso aproximado de 1.000 kgs.

Entre os principais diferenciais, destaca-se a configuração de assentos em tandem, que elimina um dos bancos dianteiros tradicionais e aproximadamente dois terços do banco traseiro, resultando em importante alívio de peso estrutural e de acabamentos. Além disso, o DeCarbon faz uso de um chassi em alumínio, material significativamente mais leve do que os aços convencionais utilizados em plataformas modulares como a do Dolphin.

O projeto também opta pela eliminação de aproximadamente metade dos acabamentos internos, mantendo apenas os elementos essenciais ao conforto e segurança. Essa abordagem minimalista reduz substancialmente o uso de plásticos, tecidos e suportes estruturais secundários.

Outra solução adotada é a supressão do airbag frontal do passageiro, possível graças à configuração de assentos deslocados e à priorização de proteção individual. Ainda no campo da redução de massa, os vidros dianteiro e traseiro foram reprojatados com dimensões mais compactas, resultando em uma redução de cerca de 40% no peso desses componentes em comparação com o Dolphin.

Por fim, o sistema de propulsão elétrica do DeCarbon utiliza o motor EMRAX 228, conhecido por sua alta densidade de potência e peso reduzido em relação aos motores convencionais utilizados em veículos elétricos urbanos. Essa escolha não apenas reduz a massa total, como também contribui para a eficiência energética geral do veículo.

A estimativa da redução de peso alcançada pelo conceito DeCarbon, por meio das configurações finais apresentadas, resultou em um peso aproximado significativamente inferior ao observado em veículos elétricos convencionais da mesma categoria. Esse valor final é considerado bastante baixo para um automóvel com propulsão totalmente elétrica, refletindo o sucesso das soluções adotadas para otimizar a eficiência estrutural e reduzir a massa total do veículo.

Com essas e outras soluções técnicas, o DeCarbon atinge um nível de desempenho e eficiência que o posiciona como uma proposta disruptiva no segmento de veículos urbanos elétricos leves.

Em síntese, o projeto DeCarbon pode ser estrategicamente posicionado como veículo ideal para o futuro da mobilidade urbana sob demanda, reunindo atributos técnicos, ambientais e econômicos que se alinham tanto às demandas dos motoristas parceiros quanto às expectativas de passageiros e políticas públicas voltadas à sustentabilidade.

## 4.2 DADOS TÉCNICOS DO VEÍCULO

Quadro 1: Dados Técnicos do Veículo DeCarbon

|                     |                                              |                                            |                            |                          |     |
|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----|
| Suspensão Dianteira | Mc Pherson                                   | Independente com barra estabilizadora      |                            |                          |     |
| Suspensão Traseira  | Multibraço                                   | Independente com barra estabilizadora      |                            |                          |     |
| Sub chassis         | Aço                                          | Agregados de Frame Aço                     |                            |                          |     |
| Sobre chassis       | Alumínio                                     | Tipo monocoque com célula de sobrevivência |                            |                          |     |
| Cx                  | Estimado                                     | 0.23                                       | Compatível com a aplicação |                          |     |
| Ára frontal         | Estimado                                     | 2.2                                        | m²                         | Estimado                 |     |
| Peso total          | Bruto abast.                                 | 998,48                                     | kgs                        | 9.785,14                 | N   |
| Direção             | 100% Elétrica                                | Motor alimentado pela bateria 24V          |                            |                          |     |
| Dist. Peso          | 55% traseira                                 | 01 Motor Traseiro                          |                            |                          |     |
| Carroceria          | 2 passageiros                                | Tandem (passageiro atrás do condutor)      |                            |                          |     |
| Pneu                | R18                                          | 18                                         | "                          | 215/55                   | mm  |
| Dimensões           | Largura                                      | 1.700,00                                   | mm                         | 1,7000                   | m   |
| Dimensões           | Comprimento                                  | 4.057,00                                   | mm                         | 4,0570                   | m   |
| Dimensões           | Altura (teto)                                | 1.400,00                                   | mm                         | 1,4000                   | m   |
| Dimensões           | Entre eixos                                  | 2.565,00                                   | mm                         | 2,565                    | m   |
| Dimensões           | Bitola dianteira                             | 1.485,00                                   | mm                         | 1,485                    | m   |
| Dimensões           | Bitola traseira                              | 1.485,00                                   | mm                         | 1,485                    | m   |
| Dimensões           | Altura vão livre                             | 149,00                                     | mm                         | 0,149                    | m   |
| Dimensões           | Altura G                                     | 600,00                                     | mm                         | 0,600                    | m   |
| Motorização         | Elétrico                                     | EMRAX 228 Fluxo Axial de Imã Permanente    |                            |                          |     |
| Potência (Max)      | Na saída Motor                               | 167                                        | Hp                         | 124                      | KW  |
| Torque (Max)        | Na saída Motor                               | 22.43                                      | Kgf.m                      | 220                      | N.m |
| Velocidade          | Máxima                                       | 170,00                                     | Km/h                       | Limitado eletronicamente |     |
| Bateria             | Capacidade                                   | 55,00                                      | kWh                        | Arbitrado                |     |
| Bateria             | Tensão                                       | 630,00                                     | V                          | Arbitrado                |     |
| Acel. 0-100 km/h    | Estimado                                     | 9,00                                       | s                          | Limit. eletronicamente   |     |
| Consumo urbano      | Estimado                                     | 9,50                                       | km/kWh                     | Veloc. Média 50km/h      |     |
| Consumo estrada     | Estimado                                     | 7,50                                       | km/kWh                     | Veloc. Média 90km/h      |     |
| Autonomia Urbana    | Estimado                                     | 522,50                                     | km                         | Veloc. Média 50km/h      |     |
| Autonomia Estrada   | Estimado                                     | 412,50                                     | km                         | Veloc. Média 90km/h      |     |
| Freio dianteiro     | Disco Duplo Ventilado                        | 280                                        | mm                         | ABS + Cont. tração       |     |
| Freio Traseiro      | Disco Duplo Ventilado                        | 200                                        | mm                         | ABS + Cont. tração       |     |
| Tração              | Traseira                                     | 100                                        | %                          | Cont. eletrônico tração  |     |
| ADAS                | LIDAR, 3D Maps, Ultrasônicos (rede Ethernet) |                                            |                            |                          |     |

Fonte: o autor (2025)

Fig 30: Aspecto Geral externo



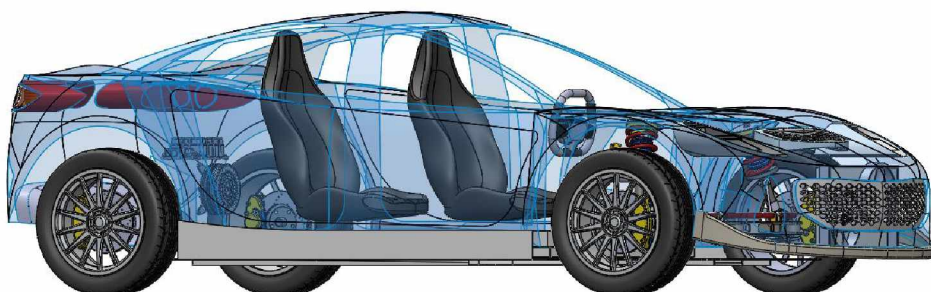
Fonte: o autor (2025)

Fig 31: Aspecto geral externo



Fonte: o autor (2025)

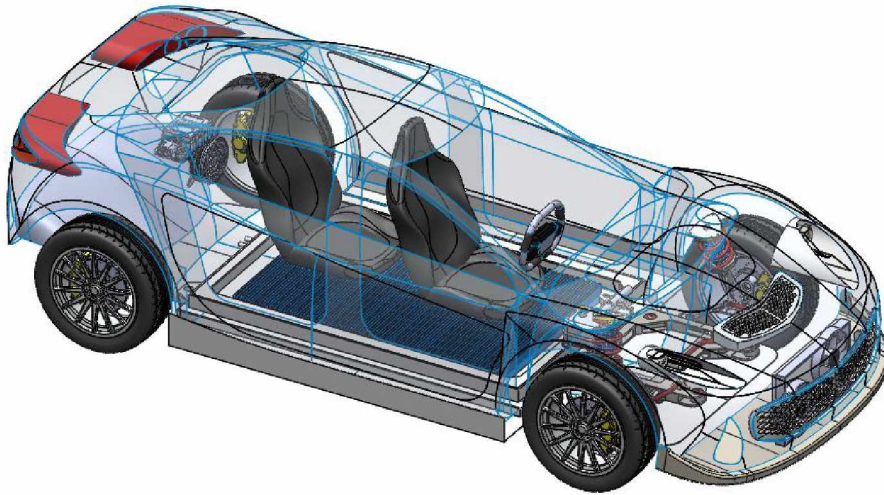
Fig 32: Visão externa com transparência aplicada na carroceria



Fonte: o autor (2025)

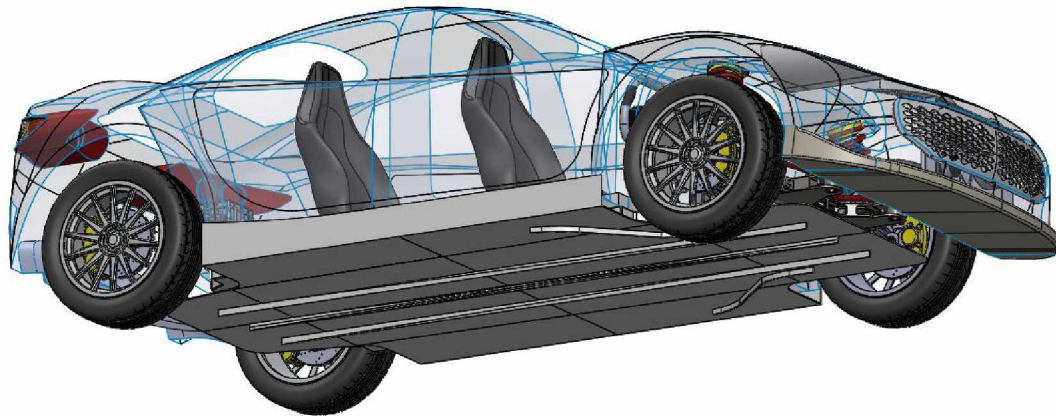
Fig 33: Visão externa com transparência aplicada na carroceria





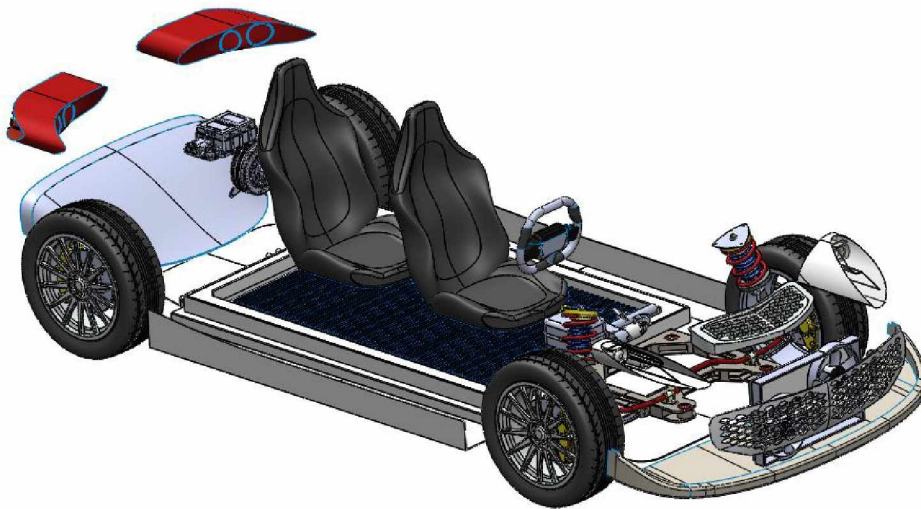
Fonte: O autor (2025)

Fig 34: Visão externa com transparência aplicada na carroceria



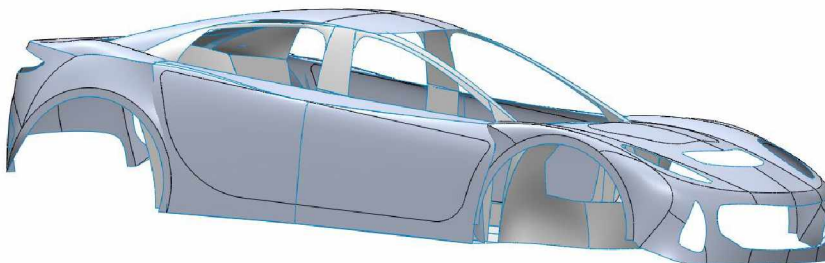
Fonte: O autor (2025)

Fig 35: Visão dos componentes internos



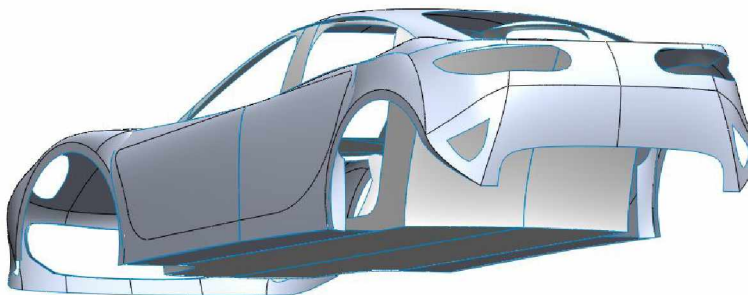
Fonte: O autor (2025)

Fig 36: Carroceria em alumínio e subchassis em aço alta resistência



Fonte: O autor (2025)

Fig 37: Carroceria em alumínio e subchassis em aço alta resistência



Fonte: O autor (2025)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do projeto DeCarbon teve como objetivo principal conceber um veículo elétrico urbano leve, eficiente e sustentável, capaz de

responder às demandas emergentes de mobilidade nas grandes cidades. A proposta foi pautada pela busca de soluções inovadoras em design, engenharia e sustentabilidade, resultando em um conceito que alia leveza estrutural, propulsão elétrica de alta eficiência, aerodinâmica otimizada e um layout inédito de ocupação interna, baseado na disposição tandem dos assentos.

Durante o processo de projeto, foram utilizadas ferramentas avançadas de modelagem tridimensional, simulação e visualização, como o SolidWorks 2024 e a plataforma Hailuo AI. Esses recursos permitiram não apenas a concepção do modelo em detalhes técnicos e estéticos, mas também a validação visual e funcional por meio de animações realistas. Tais ferramentas foram fundamentais para a comunicação do conceito, ampliando sua compreensão e viabilizando uma avaliação mais completa por diferentes públicos.

O benchmarking realizado com o modelo BYD Dolphin GS 2025 possibilitou avaliar com clareza os ganhos proporcionados pelas escolhas técnicas do DeCarbon, especialmente no que diz respeito à redução de peso. A eliminação de elementos como bancos adicionais, partes dos acabamentos internos, airbag do passageiro, além da adoção de um chassi em alumínio e vidros de menor área, culminou em uma redução significativa da massa total do veículo. Tal resultado impacta positivamente tanto na eficiência energética quanto na viabilidade de uso urbano, posicionando o DeCarbon como um dos veículos mais leves de sua categoria, com motorização elétrica integral.

A pesquisa de campo conduzida no centro urbano de Curitiba confirmou que a proposta do DeCarbon apresenta aderência a um público que valoriza eficiência, sustentabilidade e funcionalidade, mesmo com o compromisso de abrir mão de certas características dos veículos convencionais, como maior espaço interno ou robustez para terrenos irregulares. Esse alinhamento com tendências contemporâneas de mobilidade reforça a aplicabilidade do conceito para frotas de aplicativos e serviços urbanos de transporte sob demanda.

Além disso, a proposta mostra-se ambientalmente viável, promovendo uma mobilidade de baixa emissão e ruído reduzido, ao mesmo tempo em que contribui

para a melhoria da qualidade do ar e para a diminuição da poluição sonora nas cidades. A motorização elétrica com o motor EMRAX 228, associada ao projeto aerodinâmico e ao baixo peso estrutural, proporciona vantagens significativas em termos de autonomia, consumo energético e custos operacionais.

Por fim, o DeCarbon se consolida como uma alternativa disruptiva no cenário da mobilidade urbana, reunindo soluções coerentes com as exigências técnicas, ambientais e sociais contemporâneas. Trata-se de um conceito viável, escalável e alinhado às transformações que se impõem no setor automotivo, sendo um exemplo concreto de como o design e a engenharia podem contribuir de forma decisiva para a construção de um futuro mais sustentável.

#### A. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendação para trabalhos futuros, propõe-se a plotagem de um modelo tridimensional, em escala reduzida, do conceito DeCarbon, por meio da utilização de tecnologia de impressão 3D. A confecção de uma maquete física possibilitaria uma avaliação tátil e visual mais acurada das proporções, volumes e soluções projetuais adotadas, além de facilitar a comunicação do conceito em apresentações técnicas, feiras acadêmicas e eventos voltados ao design automotivo. Tal recurso poderá complementar as simulações digitais previamente realizadas, contribuindo para a validação ergonômica, estética e funcional do modelo, bem como abrir espaço para ajustes e aprimoramentos construtivos em versões subsequentes do projeto.

## REFERÊNCIAS

- ABVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. Panorama da mobilidade elétrica no Brasil – Relatório Técnico 2023. São Paulo: ABVE, 2023.
- ACHENBACH, E. Experiments on flow around a circular cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*, Cambridge, v. 62, n. 02, p. 209–223, 1974.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Mobilidade elétrica: infraestrutura de recarga. Brasília: ANP, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/mobilidade-eletrica>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- ANDREWS, D. The aerodynamics of Tesla Model 3. *Automotive Engineering*, Warrendale, v. 127, n. 4, p. 45–52, 2019.
- BARNARD, R. H. Road vehicle aerodynamic design: an introduction. 2. ed. London: Mechaero Publishing, 2001.
- BENTON, T.; HUNGER, R.; GROSS, H. Electric vehicle dynamics and control. London: Springer, 2021.
- BOSCH. Automotive handbook. 10. ed. Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 2020.
- BRISSAUD, D. et al. Design & innovation management. Hoboken: Wiley, 2016.
- CHEN, X.; LI, Y.; WANG, Z. Design and development of high-efficiency permanent magnet axial flux motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, New York, v. 65, n. 9, p. 7216–7225, 2018.
- CHO, Y.; PARK, S.; LEE, J. High-performance cooling system integration in electric vehicle design. *Journal of Power Electronics*, Seoul, v. 20, n. 5, p. 1055–1063, 2020.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. Mobilidade urbana: desafios e perspectivas. Brasília: CNI, 2019. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- DUARTE, R. T.; WATANABE, E. H. Sistemas de propulsão elétrica veicular. São Paulo: Blucher, 2022.
- EMADI, A. (ed.). Advanced electric drive vehicles. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- EMRAX. EMRAX 228 Technical Specification Sheet. Slovenia: EMRAX d.o.o., 2020. Disponível em: <https://emrax.com/products/emrax-228/>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- GILLESPIE, T. D. Fundamentals of vehicle dynamics. Warrendale: SAE International, 1992.



GONÇALVES, M. Estilo e função: o design automotivo moderno. São Paulo: Editora Técnica, 2019.

GONZÁLEZ, L. C.; MARTINS, M. Estratégias de integração do trem de força em veículos elétricos urbanos. Revista Brasileira de Mobilidade Sustentável, v. 8, n. 1, p. 23–35, 2022.

HARTWIG, F.; KELLER, P. Automotive brake systems: fundamentals and service. 3. ed. New York: Cengage Learning, 2020.

HEISLER, H. Advanced vehicle technology. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.

HUCHO, W. H. Aerodynamics of road vehicles: from fluid mechanics to vehicle engineering. 4. ed. Warrendale: SAE International, 1998.

HUSBANDS, C. R.; BOLDEA, I.; NASAR, S. A. Axial flux permanent magnet brushless machines. Boca Raton: CRC Press, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – Mobilidade urbana. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 jul. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Global EV outlook 2022: securing supplies for an electric future. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>. Acesso em: 12 jul. 2025.

JONES, T. Principles of vehicle aerodynamics. 3. ed. New York: Wiley, 2018.

KIM, J. et al. Advanced composite materials for suspension systems. Composite Structures, London, v. 273, 2021.

KIMURA, Y. et al. Active control systems in vehicle suspension. Vehicle System Dynamics, London, v. 55, n. 4, p. 513–528, 2017.

KLEIN, T.; WILHELM, T. Joining techniques for aluminum car bodies. Materials Science Forum, v. 638-642, p. 1540-1545, 2010.

KOLLER, M.; PROBST, T.; JOST, F. Design considerations for axial flux motors in compact EVs. SAE Technical Paper Series, 2019.

KONSTANTINOV, M.; SPICHKO, V. Traction control systems for electric vehicles. Berlin: Springer, 2014.

KRISHNAMURTHY, A.; KIM, Y. Advanced materials and technologies for lightweight automotive structures. Journal of Materials Engineering and Performance, v. 27, n. 9, p. 4445–4454, 2018.

LEE, S.; KIM, H. Aerodynamic benefits of camera-based rear-view systems. Journal of Automotive Safety, v. 22, n. 2, p. 113–120, 2020.

- LEE, S. et al. Integrated vehicle dynamics and aerodynamics simulation. SAE Technical Paper, 2020.
- LI, Y. et al. Optimization of energy efficiency in electric vehicles through advanced drivetrain configuration. *Applied Energy*, v. 265, p. 114801, 2020.
- LI, Y. et al. Wind cross effects on vehicle stability using CFD. *Journal of Wind Engineering*, 2022.
- LIU, H. et al. Thermal management in integrated electric drive systems. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, v. 14, n. 3, 2022.
- LIU, J. et al. CFD-based aerodynamic optimization for electric vehicles. *International Journal of Automotive Technology*, 2021.
- MARTINS, G. D.; VILLALVA, M. G. Dimensionamento de sistemas de propulsão elétrica para veículos leves. *Revista Científica da Mobilidade Elétrica*, v. 4, n. 2, p. 45–59, 2021.
- McDONALD, M. et al. Active aerodynamic components in EVs. SAE International, 2019.
- MILLIKEN, W. F.; MILLIKEN, D. L. Race car vehicle dynamics. Warrendale: SAE International, 1995.
- MURRAY, H.; BLACK, J. Vehicle safety and materials: advances in high-strength steel and aluminum. *Automotive Engineering*, v. 121, n. 6, p. 46–53, 2013.
- PININFARINA. Pininfarina Design Philosophy. Disponível em: <https://www.pininfarina.com/design-philosophy>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- PILLONI, L. et al. Comparative analysis of powertrains for small electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 112, p. 206–219, 2019.
- REIF, K. Chassis handbook: fundamentals, driving dynamics, components, mechatronics, perspectives. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- REIMANN, M. et al. Thermal management in disc brakes of electric vehicles. SAE Technical Paper 2019-01-2054, 2019. Disponível em: <https://www.sae.org>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- SCHAEFER, D. Lightweight automotive structures and energy efficiency. *International Journal of Automotive Technology*, v. 17, n. 3, p. 463–471, 2016.
- SCHMIDT, T. The Audi space frame: aluminum in automobile design. *Automotive Engineering International*, v. 109, n. 7, p. 52–57, 2001.
- SMITH, R. Vehicle design: balancing aerodynamics and practicality. London: Springer, 2017.

TAMAI, T. et al. Microtexture effects on vehicle drag. *Tribology International*, 2020.

TESLA. Tesla Model 3: Design and Efficiency. Disponível em: <https://www.tesla.com/model3>. Acesso em: 15 jul. 2025.

TUN, T. et al. CFD analysis on side mirror aerodynamics. *Journal of Automobile Engineering*, 2020.

VAZ, F. J.; LIMA, C. F.; OLIVEIRA, M. P. Avaliação do desempenho de motores de fluxo axial em aplicações automotivas. *Revista de Engenharia Automotiva*, v. 11, n. 2, p. 29–39, 2023.

WANG, Q.; ZHOU, H. CFD analysis of vehicle suspension response. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2017.

WANG, Z. et al. Topology optimization coupled with CFD. *Computers & Fluids*, 2023.

WHITE, F. M. *Fluid mechanics*. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2011.

WONG, A.; HWANG, J. Emotional design in automotive industry. *Design Studies*, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Air pollution and child health: prescribing clean air. Geneva: WHO, 2018. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/air-pollution-and-child-health>. Acesso em: 12 jul. 2025.

WU, C. et al. Advanced cooling strategies for electric motor and battery integration. *IEEE Access*, v. 9, p. 55872–55883, 2021.

XU, Z. et al. Regenerative braking in electric vehicles: performance, control and optimization. *Energy Reports*, v. 7, p. 2241–2250, 2021.

YILMAZ, M.; KREIN, P. T. Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 28, n. 5, p. 2151–2169, 2013.

YU, S. et al. Efficiency-focused design of electric drivetrains for lightweight EVs. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, v. 8, n. 1, p. 141–150, 2022.



## APÊNDICE 1 – DIMENSIONAMENTO SISTEMA DE FRENAGEM

Dados de entrada para dimensionamento dos freios:

|                |          |                   |
|----------------|----------|-------------------|
| g              | 9,81     | m/s <sup>2</sup>  |
| x              | 0,55     | m                 |
| f              | 0,015    |                   |
| μ              | 0,35     |                   |
| l              | 2,565    | m                 |
| C <sub>x</sub> | 0,30     |                   |
| A              | 1,38     | m <sup>2</sup>    |
| G              | 9.785,14 | N                 |
| h              | 0,60     | m                 |
| ρ              | 1,220    | kg/m <sup>3</sup> |
| v              | 50,00    | m/s               |
| q              | 1.525,00 |                   |

Cálculo da desaceleração na frenagem considerando só freio dianteiro:

|   |      |                  |
|---|------|------------------|
| a | 1,84 | m/s <sup>2</sup> |
|---|------|------------------|

$$a = \frac{g}{(1 + \delta)} \left\{ l \left( \frac{\mu(1 - x) + f}{l - \mu h} \right) \cos \alpha + \sin \alpha + C_x q \frac{A}{G} \right\}$$

Cálculo da desaceleração na frenagem considerando só freio traseiro:

|   |      |                  |
|---|------|------------------|
| a | 1,72 | m/s <sup>2</sup> |
|---|------|------------------|

$$a = \frac{g}{(1 + \delta)} \left\{ \left[ l \left( \frac{\mu x + f}{l + \mu h} \right) \cos \alpha + \sin \alpha \right] + C_x q \frac{A}{G} \right\}$$

Cálculo da desaceleração na frenagem considerando as quatro rodas:

|    |          |                   |
|----|----------|-------------------|
| a  | 3,51     | m/s <sup>2</sup>  |
| g  | 9,81     | m/s <sup>2</sup>  |
| x  | 0,55     | m                 |
| f  | 0,015    |                   |
| μ  | 0,9      |                   |
| l  | 2,565    | m                 |
| Cx | 0,30     |                   |
| A  | 1,38     | m <sup>2</sup>    |
| G  | 998,48   | kgs               |
| h  | 0,60     | m                 |
| ρ  | 1,22     | kg/m <sup>3</sup> |
| v  | 50       | m/s               |
| q  | 1.525,00 |                   |
| m  | 997,47   | kgs               |

180 km/h

$$a = \frac{g}{(1 + \delta)} \left\{ [(\mu + f) \cos \alpha + \sin \alpha] + C_x q \frac{A}{G} \right\}$$

Cálculo do Tempo de frenagem:

|   |           |                  |
|---|-----------|------------------|
| Θ | 8,6291706 | m/s <sup>2</sup> |
| H | 0,0009558 | m <sup>-1</sup>  |

$$\Theta = \frac{g}{(1 + \delta)} [(\mu + f) \cos \alpha + \sin \alpha]$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{\Xi \Theta}} \tan^{-1} \left( v_1 \sqrt{\frac{\Xi}{\Theta}} \right)$$

Cálculo da força de frenagem:

|     |          |   |
|-----|----------|---|
| μ   | 0,90     |   |
| G   | 9.785,14 | N |
| F f | 8.806,62 | N |

$$F_f = \mu G$$

Cálculo da potencia de frenagem:

|          |             |
|----------|-------------|
| $\alpha$ | 0 °         |
| G        | 9.785,14 N  |
| f        | 0,015       |
| v        | 50 m/s      |
| Pf       | -7.338,85 W |

$$P_f + P_{f \text{ adicional}} = G [ \operatorname{sen} \alpha_d - f \cos \alpha ] v$$

$$Q_s = G \operatorname{sen} \alpha$$

$$\alpha_d = -\alpha$$

Cálculo da variação da energia cinética:

|          |                       |         |
|----------|-----------------------|---------|
| G        | 9.785,14 N            |         |
| g        | 9,81 m/s <sup>2</sup> |         |
| $\delta$ | 0,0402                |         |
| vi       | 50 m/s                |         |
| vf       | 0 m/s                 |         |
| E        | 1.296.967 J           | 1,30 MJ |

$$E = \frac{1}{2} m (1 + \delta) (v_i^2 - v_f^2) = \frac{1}{2} \frac{G}{g} (1 + \delta) (v_i^2 - v_f^2)$$

Distribuição de força e energia:

|       |         |
|-------|---------|
| x     | 0,55 m  |
| $\mu$ | 0,9     |
| f     | 0,015   |
| h     | 0,60 m  |
| l     | 2,565 m |
| F fl  | 0,66    |
| F Fii | 0,34    |
| $\xi$ | 1,98    |

$$F_{fI} = \frac{\xi}{\xi + 1} F_f$$

$$F_{fII} = \frac{1}{\xi + 1} F_f$$

Reação nas rodas dianteiras e traseiras:

|       |          |   |
|-------|----------|---|
| G     | 9.785,14 | N |
| x     | 0,55     | m |
| $\mu$ | 0,9      |   |
| f     | 0,015    |   |
| h     | 0,60     | m |
| l     | 2,565    | m |
|       |          |   |
| R I   | 6.497,67 | N |
| R II  | 3.287,46 | N |

$$R_I = G \left[ (1 - x) + (\mu + f) \frac{h}{l} \right]$$

$$R_{II} = G \left[ x - (\mu + f) \frac{h}{l} \right]$$

Força de frenagem nos eixos:

|       |          |   |
|-------|----------|---|
| F fl  | 5.847,91 | N |
| F flI | 2.958,72 | N |

$$F_{fI} = \mu R_I =$$

$$F_{fII} = \mu R_{II}$$

Força da pastilha sobre o disco:

|       |           |   |
|-------|-----------|---|
| rd    | 0,354     |   |
| r fl  | 0,1       |   |
| r flI | 0,1       |   |
| F dl  | 10.344,57 | N |
| F dII | 5.233,78  | N |

$$F_{dI} = \frac{1}{2} F_{fI} \frac{r_d}{r_{fI}}$$

$$F_{dII} = \frac{1}{2} F_{fII} \frac{r_d}{r_{fII}}$$

Área dos cilindros com pressão hidráulica de 2,45 Mpa:

|               |          |                 |      |     |
|---------------|----------|-----------------|------|-----|
| $\mu$ pastilh | 0,45     |                 |      |     |
| $p_{hid}$     | 2,45     |                 |      |     |
| A I           | 9.382,83 | mm <sup>2</sup> | Diam | 103 |
| A II          | 4.747,19 | mm <sup>2</sup> | Diam | 74  |

$$A_I = \frac{F_{dI}}{p_{Hid} \mu_{Pastilha}}$$

$$A_{II} = \frac{F_{dII}}{p_{Hid} \mu_{Pastilha}}$$

Veículo carregado e freada de emergência

|       |           |   |
|-------|-----------|---|
| G     | 9.785,14  | N |
| pass  | 1600      | N |
| G'    | 11.385,14 | N |
| x     | 0,55      | m |
| $\mu$ | 0,9       | * |
| f     | 0,015     |   |
| h     | 0,60      | m |
| l     | 2,565     | m |
| R I'  | 7.560,13  | N |
| R II' | 3.825,01  | N |

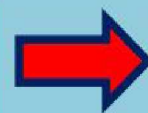
$$R_I \equiv G \left[ (1 - x) + (\mu + f) \frac{h}{l} \right]$$

$$R_{II} \equiv G \left[ x - (\mu + f) \frac{h}{l} \right]$$

Índice de frenagem para o veículo carregado

|            |       |   |
|------------|-------|---|
| $\mu$      | 0,9   |   |
| x          | 0,55  | m |
| f          | 0,015 |   |
| h          | 0,60  | m |
| l          | 2,565 | m |
| $\epsilon$ | 1,09  |   |

$$\xi = \frac{F_{fI}}{F_{fII}} = \frac{\mu R_I}{\mu R_{II}} = \frac{R_I}{R_{II}} = \frac{[(1 - x) + (\mu + f) \frac{h}{l}]}{[x - (\mu + f) \frac{h}{l}]}$$



$$\xi = \frac{F_{fI}}{F_{fII}}$$

Força do disco / pastilha para o veículo carregado:

|       |           |   |
|-------|-----------|---|
| rd    | 0,354     |   |
| r fl  | 0,1       |   |
| r flI | 0,1       |   |
| Fdl'  | 12.036,04 | N |
| FdII' | 6.089,57  | N |

$$F_{dI} = \frac{1}{2} F_{fI} \frac{r_d}{r_{fI}} =$$

$$F_{dII} = \frac{1}{2} F_{fII} \frac{r_d}{r_{fII}}$$

Pressão de frenagem de emergência:

|           |           |     |
|-----------|-----------|-----|
| AI        | 9.382,83  | mm² |
| AII       | 4.747,19  | mm² |
| Fdl'      | 12.036,04 | N   |
| FdII'     | 6.089,57  | N   |
| μ pastilh | 0,45      |     |
| p hid     | 2,85      | Mpa |
| p hid     | 2,85      | Mpa |

$$p_{Hid} = \frac{F_{dI}}{A_I \mu_{Pastilha}}$$

$$p_{Hid} = \frac{F_{dII}}{A_{II} \mu_{Pastilha}}$$

Cálculo da freada de longa duração considerando aerodinâmica e declive:

|          |            |        |    |
|----------|------------|--------|----|
| G'       | 11.385,14  | N      |    |
| Cx       | 0,30       |        |    |
| A        | 1,38       | m²     |    |
| ρ        | 1,22       | kg/m³  |    |
| v        | 50,00      | m/s    |    |
| α        | 5°         |        |    |
| sen α    | 0,08716    |        |    |
| cos α    | 0,99619    |        |    |
| f        | 0,015      |        |    |
| Pf (20°) | -39.026,59 | -39,03 | kW |

$$P_f = G [ \operatorname{sen} \alpha_d - f \cos \alpha ] v - \frac{1}{2} C_x A \rho v^3$$

Outros parâmetros de frenagem:

|          |           |                  |          |     |          |     |
|----------|-----------|------------------|----------|-----|----------|-----|
| $\Theta$ | 8,6291706 | m/s <sup>2</sup> |          |     |          |     |
| $H$      | 0,0009558 | m'               |          |     |          |     |
| $v$      | 50        | m/s              | 27,78    | m/s | 22,22    | m/s |
| $l$      | 11,01139  |                  | 11,01139 |     | 11,01139 |     |
| $ll$     | 0,52621   |                  | 0,29234  |     | 0,23387  |     |
| $\tan'$  | 0,71599   |                  | 0,29810  |     | 0,24107  |     |
| $t$      | 7,88      | s                | 3,28     | s   | 2,65     | s   |

$$t = \frac{1}{\sqrt{\Xi\Theta}} \tan^{-1} \left( v_1 \sqrt{\frac{\Xi}{\Theta}} \right)$$

$$\Theta = \frac{g}{(1 + \delta)} [(\mu + f) \cos \alpha + \sin \alpha]$$

$$\Xi = \frac{1}{2m(1 + \delta)} C_x A \rho.$$

Cálculo da distância da frenagem:

|          |           |     |          |     |          |     |
|----------|-----------|-----|----------|-----|----------|-----|
| $\Theta$ | 8,6291706 |     |          |     |          |     |
| $H$      | 0,0009558 |     |          |     |          |     |
| $v$      | 50        | m/s | 27,78    | m/s | 22,22    | m/s |
| $l$      | 523,1463  |     | 523,1463 |     | 523,1463 |     |
| $ll$     | 1,2769    |     | 1,0855   |     | 1,0547   |     |
| $ln$     | 0,2623    |     | 0,0902   |     | 0,0587   |     |
| $s1$     | 137,22    | m   | 47,19    | m   | 30,68    | m   |

$$s = \frac{1}{2\Xi} \ln \left[ 1 + \frac{\Xi}{\Theta} v_1^2 \right]$$

Forças na suspensão em frenagens (estimado):

|          |           |    |         |    |
|----------|-----------|----|---------|----|
| $a$      | 35        | mm |         |    |
| $b$      | 30        | mm |         |    |
| $s$      | 16        | mm |         |    |
| $R_l$    | 6.497,67  | N  |         |    |
| $F_{fl}$ | 5.847,91  | N  |         |    |
| $r_d$    | 0,353787  | m  | 353,787 | mm |
| $f$      | 0,015     |    |         |    |
| $x$      | 0,55      |    |         |    |
| $G'$     | 11.385,14 | N  |         |    |
| $Q_{rl}$ | 76,85     | N  |         |    |
| $F_{vi}$ | 3.248,84  | N  |         |    |
| $F_{ps}$ | 15.556,32 | N  |         |    |
| $F_{pi}$ | 18.518,70 | N  |         |    |

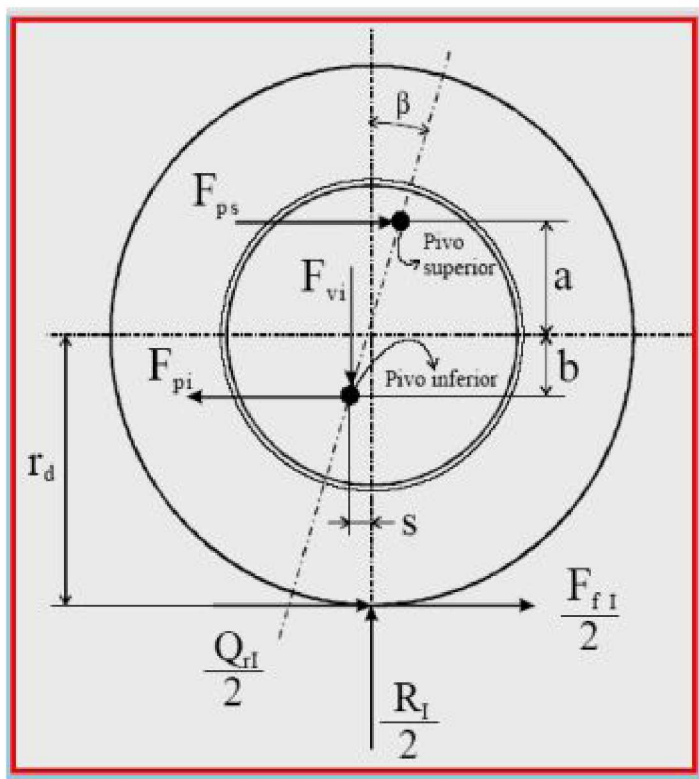


$$Q_r = f G \cos \alpha$$

$$F_{vi} = \frac{R_I}{2}$$

$$F_{ps} = \frac{1}{2(a+b)} [R_I s + (F_{fI} + Q_{rI})(r_d - b)]$$

$$F_{pi} = \frac{1}{2(a+b)} [R_I s + (F_{fI} + Q_{rI})(r_d + a)]$$



## APÊNDICE 2 – DIMENSIONAMENTO DA SUSPENSÃO

**Características do veículo:**

| Grandeza                          |               | Dimensão | Dados    |
|-----------------------------------|---------------|----------|----------|
| Tração                            |               |          | Traseira |
| Distribuição de carga             | x             | N/A      | 0,55     |
| Razão de amortecimento            | $\varepsilon$ | N/A      | 0,30     |
| Suspensão dianteira               | McPherson     | N/A      | N/A      |
| Suspensão traseira                | Duplo A       | N/A      | N/A      |
| Peso do veículo                   | G             | N        | 9.785,14 |
| Massa do veículo                  | m total       | kg       | 998,48   |
| Massa suspensa                    | m             | kg       | 898,635  |
| Massa não suspensa                | m'            | kg       | 99,85    |
| Massa não suspensa eixo dianteiro | m I           | kg       | 44,93    |
| Massa não suspensa eixo traseiro  | m II          | kg       | 54,92    |
| Rigidez do pneu                   | kp i          | N /m     | 210.000  |

**Cálculo das massas suspensas:**

|      |        |     |
|------|--------|-----|
| m 2I | 202,19 | kgs |
| m2II | 247,12 | kgs |

$$m_{2I} = \frac{m(1-x)}{2}$$

$$m_{2II} = \frac{m \cdot x}{2}$$

**Cálculo da rigidez das molas:**

|       |        |     |       |     |
|-------|--------|-----|-------|-----|
| k il  | 7.973  | N/m | 7,97  | N/m |
| k ill | 15.040 | N/m | 15,04 | N/m |

$$k_{iI} = \frac{k_i^p}{\left(\frac{k_i^p}{m_{2I}(2\pi f_2)^2} - 1\right)}$$

$$k_{iII} = \frac{k_i^p}{\left(\frac{k_i^p}{m_{2II}(2\pi f_2)^2} - 1\right)}$$

**Cálculo das frequências naturais:**

|              |      |       |       |     |
|--------------|------|-------|-------|-----|
| $\omega$ cl  | 6,28 | rad/s | f2 I  | 1,0 |
| $\omega$ cII | 7,54 | rad/s | f2 II | 1,2 |

$$\Omega_{2I} = 2\pi f_{2I}$$

$$\Omega_{2II} = 2\pi f_{2II}$$

Cálculo da constante de amortecimento:

|       |          |      |
|-------|----------|------|
| C cl  | 2.539,54 | Ns/m |
| C cII | 3.724,66 | Ns/m |

$$c_I = c_{cI} \xi$$

$$c_{II} = c_{cII} \xi$$

Cálculo da frequência natural não amortecida:

|                |       |       |       |    |
|----------------|-------|-------|-------|----|
| $\omega_{1I}$  | 98,50 | rad/s | 15,76 | Hz |
| $\omega_{1II}$ | 90,53 | rad/s | 14,48 | Hz |

$$\Omega_{1I} = \sqrt{\frac{k_{1I} + k_{1I}^p}{m_{1I}}}$$

$$\Omega_{1II} = \sqrt{\frac{k_{1II} + k_{1II}^p}{m_{1II}}}$$

Cálculo das frequências naturais amortecidas:

|             |      |       |       |    |
|-------------|------|-------|-------|----|
| $\nu_{2I}$  | 5,99 | rad/s | 0,959 | Hz |
| $\nu_{2II}$ | 7,19 | rad/s | 1,150 | Hz |

$$\nu_{2I} = \Omega_{2I} \sqrt{1 - \xi^2}$$

$$\nu_{2II} = \Omega_{2II} \sqrt{1 - \xi^2}$$

Cálculo da frequência natural do eixo dianteiro e traseiro:

|             |       |       |        |    |
|-------------|-------|-------|--------|----|
| $\nu_{1I}$  | 93,96 | rad/s | 15,034 | Hz |
| $\nu_{1II}$ | 86,36 | rad/s | 13,818 | Hz |

$$\nu_{1I} = \Omega_{1I} \sqrt{1 - \xi^2}$$

Cálculo da pré-carga e curso da suspensão dianteira:

|         |       |   |        |    |
|---------|-------|---|--------|----|
| p est I | 0,112 | m | 111,95 | mm |
|---------|-------|---|--------|----|

$$\delta_{estI} = \frac{m_{2I}(1-x)g}{k_{iI}} \left(\frac{u}{v}\right)^2$$

Cálculo da pré-carga e curso da suspensão traseira:

|          |       |   |       |    |
|----------|-------|---|-------|----|
| p est II | 0,072 | m | 72,39 | mm |
|----------|-------|---|-------|----|

|   |     |
|---|-----|
| u | 0,2 |
| v | 0,3 |

$$\delta_{estII} = \frac{m_{2II} \times g}{k_{iII}} \left( \frac{u}{v} \right)^2$$

### APÊNDICE 3 – DIMENSIONAMENTO DOS PNEUS

**Cálculos considerando pista plana:**

|                                        |   |        |                  |              |        |   |
|----------------------------------------|---|--------|------------------|--------------|--------|---|
| Aceleração da gravidade                | g | 9,80   | m/s <sup>2</sup> |              |        |   |
| Coefficiente de atrito pneu asfalto    | μ | 0,85   |                  | Asfalto seco |        |   |
| Raio da curva                          | ρ | 10,00  | m                |              |        |   |
| Velocidade de início de escorregamento | v | 149,94 | km/h             | No plano     |        |   |
| Bitola dianteira / traseira            | t | 1,49   | m                | t/2          | 0,7425 | m |
| Altura centro gravidade                | h | 0,60   | m                |              |        |   |
| Velocidade de início tombamento        | v | 69,92  | km/h             | No plano     |        |   |

$$v \geq 3,6 \sqrt{\mu \rho g}$$

$$v \geq 11,3 \sqrt{\frac{\rho t}{2h}}$$

**Cálculos considerando pista inclinada:**

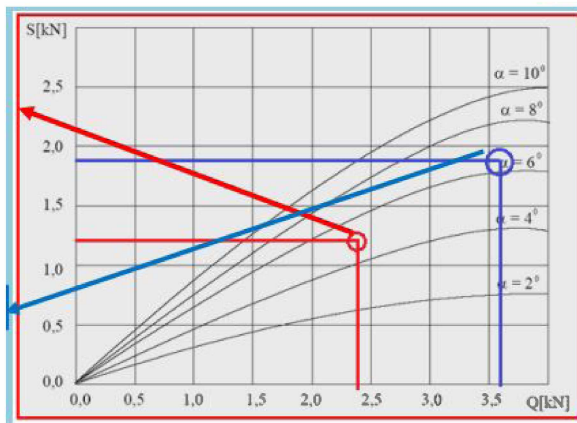
|                                        |   |        |      |      |       |
|----------------------------------------|---|--------|------|------|-------|
| Ângulo inclinação pista                | B | 3,00   | °    | tg B | 0,052 |
| Velocidade de início de escorregamento | v | 166,47 | km/h |      |       |
| Velocidade de início de tombamento     | v | 47,97  | km/h |      |       |

$$v > 3,6 \sqrt{g \rho \frac{(\mu + \tan \beta)}{(1 - \mu \tan \beta)}}$$

$$v \geq 3,6 \sqrt{\rho \left[ \frac{\left( \frac{t}{2} \right) + h \tan \beta}{h - \left( \frac{t}{2} \right) \tan \beta} \right]}$$

**Cálculos das cargas e ângulos de deriva:**

|                                     |             |                        |   |          |          |   |
|-------------------------------------|-------------|------------------------|---|----------|----------|---|
| Peso veículo                        | G           | 9.785,14               | N |          |          |   |
| Equilíbrio peso 55% traseiro        | x           | 0,55                   |   |          |          |   |
| Carga normal no eixo dianteiro      | Q I         | 4.403,31               | N | Por roda | 2.201,66 | N |
| Carga transversal no eixo dianteiro | S I         | 2.201,66               | N | Por roda | 1.100,83 | N |
| Carga normal no eixo traseiro       | Q II        | 5.381,83               | N | Por roda | 2.690,91 | N |
| Carga transversal no eixo traseiro  | S II        | 2.690,91               | N | Por roda | 1.345,46 | N |
| Ângulo de deriva do eixo dianteiro  | $\alpha$ I  | 4,50                   | ° |          |          |   |
| Ângulo de deriva do eixo traseiro   | $\alpha$ II | 5,00                   | ° |          |          |   |
| $\alpha$ II > $\alpha$ I            |             | Comportamento instável |   |          |          |   |

**Pneu escolhido:**

|                          |                               |  |     |    |     |  |
|--------------------------|-------------------------------|--|-----|----|-----|--|
| Continental EcoContact 6 |                               |  |     |    |     |  |
| Dimensão                 |                               |  | 215 | 55 | R18 |  |
| Foco:                    | Redução de consumo e emissões |  |     |    |     |  |

**Especificações:**

|                  |        |          |         |   |
|------------------|--------|----------|---------|---|
| Dados dos pneus: |        |          |         |   |
| Dimensões        | 225    | 45       | 18      |   |
| Perfil           | 101,25 | mm       | 0,10125 | m |
| r e              | 329,85 | mm       | 0,32985 | m |
| r d              | 0,336  | m        |         |   |
| e                | 2      | %        | 0,020   |   |
| f                | 0,015  |          |         |   |
| furação          | 5      | 112      |         |   |
| largura          | 8      | 203,2    |         |   |
| offset           | 16-55  |          |         |   |
| M12              | 12     | Chave 19 | aloj    |   |
| Diâmetro roda    | 18     | 457,2    | mm      |   |
| Raio roda        |        | 228,6    | mm      |   |