

COLÉGIO ADVENTISTA DE TUCURUVI

ENZO DIAS DE SOUZA E JOÃO VITOR CAMPOS

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE PLATAFORMA AUTOMOTIVA
ESPORTIVA COM PROPULSÃO HÍBRIDA
(Aurora – Modelo Boreal GT)**

SÃO PAULO
2025

ENZO DIAS DE SOUZA E JOÃO VITOR CAMPOS

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE PLATAFORMA AUTOMOTIVA
ESPORTIVA COM PROPULSÃO HÍBRIDA
(Aurora – Modelo Boreal GT)**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado no Colégio Adventista do
Tucuruvi, da Rede de educação
Adventista.

Orientador: Matheus Trindade
(Professor de Física)

São Paulo
2025

Dedicado a Marcos A. Vieira,
Engenheiro de Sistemas
Elétricos, GWM Brasil, e a todos
aqueles que colaboraram para o
projeto do Aurora Boreal

São Paulo
2025

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao senhor Marcos Vieira que nos ajudou na parte elétrica e distribuição do peso com as baterias usadas no projeto, na parte de circuitos, e dispositivos de segurança do projeto, sendo elas, o sistema de Air bag e sensores na parte traseira e fronteira do mesmo. Agradecemos também ao professor Matheus Trindade, Professor da Rede de Educação adventista, que nos auxiliou na parte de cálculos e contas de todo o processo, principalmente na parte das suspensões e da parte de refrigeração do motor.

**O que realmente importa não é a máquina
em si, mas o engenho humano que a cria.**
— *Henry Ford*

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento teórico de um veículo esportivo híbrido **Aurora – Modelo Boreal GT**, analisando sua estrutura, aerodinâmica, motor, sistemas de propulsão e dinâmica veicular. O estudo aborda a adaptação do monobloco para receber componentes híbridos, o funcionamento do motor a combustão associado a um motor elétrico auxiliar, e os requisitos de arrefecimento e eficiência energética do conjunto. São discutidos os efeitos aerodinâmicos que influenciam estabilidade, consumo e velocidade, bem como conceitos de transferência de peso, aderência dos pneus, comportamento da suspensão e desempenho dos freios. A transmissão e a força aplicada às rodas são avaliadas por meio de equações clássicas da engenharia, permitindo estimar a resposta do veículo em aceleração, estabilidade e controle. O projeto oferece uma visão objetiva da viabilidade técnica de transformar um esportivo convencional em um modelo híbrido de alta performance, integrando parâmetros estruturais, térmicos e dinâmicos essenciais para garantir segurança, eficiência e desempenho elevado.

Palavras chaves: Engenharia automotiva; aerodinâmica; veículo híbrido; projeto estrutural; desempenho veicular.

FORMULÁRIO TÉCNICO

1. Aerodinâmica

1.1 Força de Arrasto (Drag)

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2$$

Onde:

- F_d = força de arrasto (N)
- ρ = densidade do ar (kg/m^3)
- C_d = coeficiente de arrasto
- A = área frontal (m^2)
- V = velocidade (m/s)

1.2 Força de Sustentação (Downforce)

$$F_l = \frac{1}{2} \rho C_l A V^2$$

Onde:

- F_l = força vertical (positiva para lift, negativa para downforce) (N)
- C_l = coeficiente de sustentação

1.3 Potência Necessária para Manter Velocidade

$$P = F_d \cdot V$$

Onde:

- P = potência (W)

2. Motores e Propulsão

2.1 Potência, Torque e Rotação

$$P = T \cdot \text{RPM} / 9549 \quad P = \frac{T \cdot \text{RPM}}{9549} \quad P = 9549 T \cdot \text{RPM}$$

Onde:

- P = potência (kW ou cv)
- T = torque (N·m)
- RPM = rotação (rpm)

2.2 Torque a partir da potência

$$T = P \cdot 9549 / \text{RPM} \quad T = \frac{P \cdot 9549}{\text{RPM}} \quad T = \text{RPM} \cdot P \cdot 9549$$

2.3 Eficiência do Ciclo Otto

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \quad \eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

Onde:

- r = taxa de compressão
- $\gamma \approx 1,4$ (gasolina)

3. Dinâmica Veicular

3.1 Força Máxima de Aderência dos Pneus

$$F_{\max} = \mu N \quad F_{\max} = \mu N$$

Onde:

- μ = coef. de atrito do pneu
- N = força normal (N)

3.2 Transferência de Peso Longitudinal

$$\Delta W = \frac{h \cdot m \cdot a}{L} \quad \Delta W = Lh \cdot m \cdot a$$

Onde:

- h = altura do centro de gravidade (m)
- m = massa total (kg)
- a = aceleração (m/s^2)
- L = entre-eixos (m)

3.3 Força nas Rodas

$$F = T_{\text{motor}} \cdot R_g \cdot R_{dr} \quad F = T_{\text{motor}} \cdot R_g \cdot R_{dr}$$

Onde:

- R_g = relação da marcha
- R_{dr} = relação do diferencial

4. Velocidade Máxima e Performance

4.1 Velocidade Máxima Teórica (limitada por potência)

$$P = \frac{1}{2} \rho C_d A V^3 \Rightarrow V^3 = \frac{2P}{\rho C_d A} \Rightarrow V = \left(\frac{2P}{\rho C_d A} \right)^{1/3}$$

Despejando V:

$$V = \left(\frac{2P}{\rho C_d A} \right)^{1/3}$$

4.2 Conversões

4.2.1 Conversão de kgf para Newton

$$1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N} \quad 1 \text{ N} = 0,102 \text{ kgf}$$

4.2.2 Conversão de km/h para m/s

$$V(\text{m/s}) = \frac{V(\text{km/h})}{3,6} \quad V(\text{km/h}) = 3,6 V(\text{m/s})$$

5. Estruturas e Chassi

5.1 Rigidez Torsional

$$GJ = \frac{T \cdot L}{\theta} \quad GJ = \theta T \cdot L$$

Onde:

- T = torque aplicado na torção (N·m)
- L = comprimento analisado (m)
- θ = ângulo de torção (rad)

6. Sistemas Térmicos (Arrefecimento)

6.1 Troca de Calor

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Onde:

- Q = energia térmica (J)
- m = massa do fluido (kg)
- c = calor específico (J/kg·°C)
- ΔT = variação de temperatura (°C)

Lista de símbolos

Letras Latinas

- A** Área frontal do veículo (m^2)
- a** Aceleração (m/s^2)
- C** Circunferência do pneu (m)
- Cd** Coeficiente de arrasto aerodinâmico
- Cl** Coeficiente de sustentação (downforce)
- Cp** Coeficiente de pressão
- D** Diâmetro do pneu (m)
- F** Força resultante (N)
- Fd** Força de arrasto (N)
- Fl** Força de sustentação (N)
- Fr** Força de resistência ao rolamento (N)
- Fb** Força de frenagem (N)
- h** Altura do centro de gravidade (m)
- I** Momento de inércia ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
- J** Momento polar de inércia da seção do chassi (m^4)
- k** Constante da mola (N/m)
- L** Distância entre eixos (m)
- m** Massa do veículo (kg)
- \dot{m}** Vazão mássica (kg/s)
- N** Força normal (N)
- P** Potência (W ou kW)

Pr Potência resistiva total (W)
Q Taxa de transferência de calor (J/s)
R Raio da roda (m)
Rg Relação de marcha
Rdr Relação do diferencial
t Tempo (s)
T Torque (N·m)
Tf Transferência de peso (N)
V Velocidade (m/s)
W Peso do veículo (N)

Letras Gregas

α (alfa) Ângulo de ataque ou inclinação aerodinâmica ($^{\circ}$ ou rad)
 β (beta) Deslizamento lateral ($^{\circ}$)
 γ (gama) Razão dos calores específicos (motor ciclo Otto)
 δ (delta) Ângulo de esterçamento da roda ($^{\circ}$)
 θ (teta) Ângulo de torção do chassi ($^{\circ}$ ou rad)
 ρ (rho) Densidade do ar (kg/m^3)
 μ (mi) Coeficiente de atrito do pneu
 η (eta) Eficiência geral do sistema (motor, transmissão, etc.)
 ω (ômega) Velocidade angular (rad/s)

Símbolos específicos de motores

VE Eficiência volumétrica (%)

BSFC Consumo específico de combustível (g/kWh)

RPM Rotação do motor (rev/min)

Símbolos de energia e baterias híbridas

E Energia armazenada (J ou kWh)

V_b Tensão do sistema de baterias (V)

I_b Corrente elétrica do motor/bateria (A)

P_{elec} Potência elétrica (W)

Símbolos de materiais e estrutura

E Módulo de elasticidade (Pa)

G Módulo de cisalhamento (Pa)

σ (sigma) Tensão (Pa)

τ (tau) Tensão de cisalhamento (Pa)

Sumário

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização.....	Pág- 16
1.2 Objetivos do Projeto.....	Pág- 16
1.3 Metodologia.....	Pág- 17

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Engenharia Automotiva.....	Pág- 18
2.2 Motor Ciclo Otto e Sistemas Híbridos.....	Pág- 18
2.3 Aerodinâmica e Dinâmica Veicular.....	Pág- 18
2.4 Materiais, Estrutura e Pneus.....	Pág- 18

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1 Parâmetros Utilizados.....	Pág- 19
3.2 Projeto Estrutural.....	Pág- 19
3.3 Sistema de Propulsão.....	Pág- 19
3.4 Projeto Aerodinâmico.....	Pág- 19-20
3.5 Dinâmica e Suspensão.....	Pág- 20
3.6 Pneus e Rodas.....	Pág- 20
3.7 Transmissão e Desempenho.....	Pág- 20
3.8 Posicionamento das Baterias.....	Pág- 20-21
3.9 Estimativa de Custos.....	Pág- 20-23

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comparação com o Modelo Original.....	Pág- 23
4.2 Avaliações de Desempenho.....	Pág- 23
4.3 Viabilidade Técnica e Econômica.....	Pág- 24

5 CONCLUSÃO.....Pág- 24

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A evolução da engenharia automotiva nas últimas décadas tem sido marcada por uma busca simultânea por desempenho, eficiência energética e redução do impacto ambiental. Nesse contexto, a eletrificação parcial de veículos esportivos tornou-se uma tendência global, permitindo que modelos tradicionalmente focados em dirigibilidade e respostas mecânicas incorporem tecnologias híbridas sem comprometer sua identidade. O Toyota GR 86, conhecido pelo equilíbrio, baixo peso e comportamento dinâmico, apresenta-se como uma plataforma adequada para estudos de adaptação tecnológica, sobretudo por sua arquitetura de tração traseira, baixo centro de gravidade e motor Boxer naturalmente aspirado.

Este projeto propõe uma releitura técnica do Toyota GR 86 para um modelo totalmente novo (Aurora – Modelo Boreal GT), incorporando um sistema híbrido leve, reposicionamento estrutural de componentes, otimização aerodinâmica e análise aprofundada de desempenho. A meta geral considera uma velocidade final alvo de aproximadamente 275 km/h, potência combinada estimada próxima de 300 cv, área frontal de 2,02 m², coeficiente de arrasto de 0,276, downforce aproximado de 15 kgf e massa total projetada em 1.580 kg antes das modificações. Trata-se, portanto, de um estudo de engenharia aplicado, combinando fundamentos teóricos com projeções realistas de implementação em um cupê esportivo.

1.2 Objetivos do Projeto

Objetivo Geral

Desenvolver um estudo técnico completo para a transformação conceitual do Aurora – Modelo Boreal GT em uma versão híbrida otimizada, considerando desempenho, dinâmica, aerodinâmica, estruturação interna e viabilidade técnica.

Os objetivos específicos deste projeto incluem analisar os princípios mecânicos e elétricos envolvidos na integração de um sistema híbrido leve ao trem de força original; verificar a viabilidade estrutural e os impactos do reposicionamento das baterias na parte inferior do veículo, incluindo a ocupação parcial do porta-malas; estudar a aerodinâmica com base nos parâmetros de área frontal, coeficiente de arrasto e downforce disponível; avaliar como o sistema híbrido altera o peso total, o centro de gravidade e a rigidez estrutural do monobloco; projetar ajustes no sistema de transmissão e estimar desempenho final em termos de velocidade máxima,

aceleração e torque combinado; examinar o comportamento dinâmico do veículo considerando transferência de peso, aderência dos pneus e demais forças atuantes; e, por fim, estimar os custos envolvidos na carroceria, interior, suspensão, baterias e demais componentes do sistema híbrido.

1.3 A metodologia

A metodologia do projeto baseou-se na coleta e definição de parâmetros fundamentais do Toyota GR 86 original comparando com o Projeto Aurora – Modelo Boreal GT , incluindo área frontal de aproximadamente 2,02 m², coeficiente de arrasto de 0,276, massa total de 1.580 kg, potência estimada do conjunto projetado em torno de 300 cv e downforce aproximado de 15 kgf, utilizados como base comparativa para todas as análises. Foram empregados estudos clássicos de engenharia mecânica e automotiva envolvendo o funcionamento do motor ciclo Otto, integração de um motor elétrico auxiliar, dinâmica veicular (forças longitudinais, laterais e transferência de peso), aerodinâmica (forças de arrasto e sustentação), sistemas de arrefecimento, relações de transmissão e comportamento dos pneus. Os cálculos de desempenho utilizaram modelos matemáticos tradicionais, velocidade máxima teórica pelo equilíbrio entre potência disponível e arrasto, além da conversão do downforce de kgf para Newtons de modo a estimar resultados coerentes com a realidade física do veículo. A modelagem conceitual do sistema híbrido considerou o posicionamento das baterias na parte inferior do carro, com ocupação parcial do porta-malas, avaliando seus impactos no centro de gravidade, na distribuição de pesos e na rigidez torsional do monobloco. Também foram realizadas estimativas de custos com base em valores médios de mercado para carroceria, interior, suspensão, baterias e componentes híbridos. Por fim, cada etapa do desenvolvimento foi comparada diretamente ao GR 86 original, permitindo avaliar ganhos, perdas e a necessidade de reforços estruturais no projeto final.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Engenharia Automotiva

A engenharia automotiva engloba o estudo e a aplicação de princípios mecânicos, elétricos e estruturais na concepção de veículos. Inclui áreas como desempenho, segurança, sistemas de propulsão, aerodinâmica, dinâmica veicular e seleção de materiais, garantindo que cada componente atue de forma integrada e eficiente.

2.2 Motor Ciclo Otto e Sistemas Híbridos

O motor ciclo Otto funciona por meio de combustão interna com fases de admissão, compressão, combustão e escape, apresentando eficiência influenciada pela taxa de compressão e temperatura dos gases. Em sistemas híbridos, esse motor é combinado a um motor elétrico, que fornece torque instantâneo, melhora o desempenho geral e aumenta a eficiência energética, exigindo integração mecânica, eletrônica e térmica.

2.3 Aerodinâmica e Dinâmica Veicular

A aerodinâmica estuda como o ar interage com o veículo, afetando forças como arrasto e downforce, que influenciam diretamente a estabilidade e a velocidade máxima. Já a dinâmica veicular analisa o comportamento do carro em movimento, incluindo aderência, transferência de peso, aceleração, frenagem e atuação da suspensão, garantindo controle e segurança em diversas condições.

2.4 Materiais, Estrutura e Pneus

Veículos modernos utilizam materiais como aços de alta resistência, alumínio e compósitos para otimizar rigidez e reduzir peso. A estrutura monobloco distribui cargas e garante segurança, enquanto pneus — compostos por polímeros, sílica e reforços metálicos — determinam aderência, tração, comportamento térmico e resposta em alta velocidade.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1 Parâmetros Utilizados

Os parâmetros fundamentais do projeto derivam de dados consolidados do Toyota GR 86 e de metas definidas para o Boreal GT. Utilizaram-se valores como coeficiente de arrasto ($C_d = 0,276$), área frontal aproximada de $2,02 \text{ m}^2$, massa de 1.580 kg e potência total estimada em torno de 300 cv . Esses elementos serviram como variáveis de entrada para equações de aerodinâmica, resistência ao avanço, geração de downforce e modelagem de potência versus velocidade, permitindo estabelecer limites físicos e estruturais do projeto.

3.2 Projeto Estrutural

O monobloco foi analisado sob critérios de rigidez torsional, resistência mecânica e transferência de cargas, considerando o acréscimo de massa decorrente do sistema híbrido. Avaliaram-se tensões distribuídas na longarina central, comportamento de deformação em situações de torção e compressão e necessidade de reforços localizados em regiões críticas, como túnel central e subchassi traseiro. A redistribuição de peso exigiu estudo do novo centro de gravidade e seus efeitos na estabilidade dinâmica e no comportamento em curvas.

3.3 Sistema de Propulsão

O sistema de propulsão integra o motor boxer 2.4 aspirado com um motor elétrico auxiliar, considerando estratégias de acoplamento mecânico, gerenciamento energético e controle eletrônico. Foram analisados torque combinado, curvas de potência, perdas no sistema de transmissão, demandas de arrefecimento e integração dos módulos de potência (inversor, BMS e conversores). A modelagem considerou eficiência do motor a combustão pelo ciclo Otto e eficiência do motor elétrico sob diferentes cargas e rotações.

3.4 Projeto Aerodinâmico

O estudo aerodinâmico considerou o regime de escoamento externo, coeficiente de arrasto, sustentação e estabilidade direcional. A força de arrasto foi calculada pelo modelo clássico, avaliando sua influência sobre a potência necessária para atingir a velocidade alvo. O downforce estimado ($\sim 147 \text{ N}$) foi integrado à análise de carga vertical nos pneus, permitindo prever alterações de aderência em alta velocidade. Foram também considerados efeitos de fluxo sob carroceria, vórtices laterais e pressão na região traseira.

$$F_d = 12 \rho C_d A V^2 \quad F_{_d} = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 \quad F_d = 21 \rho C_d A V^2$$

3.5 Dinâmica e Suspensão

A dinâmica veicular foi estudada com base em modelos de transferência longitudinal e lateral de carga, análise do momento de inércia em torno do centro de gravidade e cálculo de forças atuantes no eixo dianteiro e traseiro. A suspensão foi reavaliada considerando rigidez de molas, taxa de amortecimento, comportamento transiente e controle de pitch e roll. As modificações consideram a massa adicional do sistema híbrido e o reposicionamento do CG, garantindo estabilidade e resposta previsível em altas velocidades.

3.6 Pneus e Rodas

A análise dos pneus abordou características do composto (sílica, elastômeros, cargas reforçantes), formação da banda de rodagem e comportamento térmico. O coeficiente de atrito estimado ($\sim 1,0$) foi aplicado no cálculo da força máxima transmissível

$$F_{\max} = \mu N_{\max} = \mu N.$$

Também foram avaliados raio efetivo, rigidez lateral, resistência ao rolamento e impacto no torque necessário para aceleração e velocidade final. As rodas foram analisadas quanto ao impacto no peso não suspenso e sua influência na frequência natural da suspensão.

3.7 Transmissão e Desempenho

O conjunto de transmissão foi avaliado considerando relações de marcha, eficiência mecânica, capacidade de torque e rotações máximas. Foram realizados cálculos de velocidade teórica por marcha, desempenho longitudinal, aceleração e potência disponível nas rodas, levando em conta perdas estimadas de 10–15%. A velocidade máxima foi determinada pelo equilíbrio entre potência efetiva e resistência aerodinâmica total, validando a viabilidade da meta estabelecida no projeto.

3.8 Posicionamento das Baterias

As baterias foram modeladas para instalação na parte inferior do veículo, ocupando parcialmente a região do porta-malas. Essa escolha reduz o centro de gravidade e melhora o equilíbrio lateral, mas exige avaliação do comportamento estrutural da região inferior e implementação de reforços no assoalho. A análise também considerou dissipação térmica, isolamento, rotas de cabos de alta tensão e impactos sobre o comportamento dinâmico do veículo.

3.9 Estimativa de Custos

A estimativa de custos inclui análise de carroceria (chapas, reforços, pintura), interior (bancos, revestimentos, eletrônica embarcada), suspensão (amortecedores, molas, buchas, braços), sistema híbrido (motor elétrico, BMS, baterias, inversores, chicotes), além de custos de integração e mão de obra. Os valores foram derivados de referências de mercado e comparações com projetos híbridos esportivos equivalentes, permitindo estabelecer uma previsão realista de investimento no modelo de tabela abaixo:

Categoria	Descrição Técnica	Custo Estimado (R\$)
Projeto e Engenharia	CAD 3D, simulações (FEA, CFD), documentação técnica	60.000 – 180.000
Chassi / Monobloco	Tubular em aço/AL ou monocoque híbrido; soldagem, jig e medições	35.000 – 80.000
Carroceria	Fibra, composto, CNC, moldes, laminação, acabamento	25.000 – 90.000
Suspensão	Geometria, braços, buchas, amortecedores, coilovers	15.000 – 40.000
Freios	Conjunto esportivo (discos, pinças, linhas Aerokip)	10.000 – 25.000
Direção	Caixa de direção, coluna, articulações	4.000 – 12.000

Motor a Combustão	Novo ou reconcondicionado; 150–300 cv (4 cilindros ou V6)	20.000 – 50.000
Sistema Híbrido (se houver)	Motor elétrico + controlador + integração	20.000 – 60.000
Baterias	Pack 2–4 kWh + gerenciamento + refrigeração	20.000 – 50.000
Transmissão	Câmbio manual/automático + diferencial	12.000 – 40.000
Arrefecimento	Radiador, ventoinhas, dutos, intercooler (se turbo)	4.000 – 15.000
Sistema Elétrico	Chicote completo, ECU programável, sensores	8.000 – 25.000
Interior	Bancos, painel, cintos, volante, acabamentos	5.000 – 25.000
Painéis internos / Consoles	Impressão 3D + fibra, suportes, cluster	4.000 – 12.000
Rodas e Pneus	Aros 18–19 + pneus UHP	7.000 – 15.000
Aerodinâmica	Difusor, aerofólio, para-choques, CFD preliminar	8.000 – 25.000

Mão de obra técnica	Soldadores, projetistas, eletricitas, montagem (300–600 h)	30.000 – 80.000
Testes e ajustes	Ajustes de suspensão, testes de rodagem, registros	10.000 – 25.000
Imprevistos e retrabalhos	10% – 20% do projeto	30.000 – 70.000

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comparação com o Modelo Original

A análise do protótipo projetado demonstra diferenças significativas em parâmetros de desempenho, peso e arquitetura mecânica. O sistema híbrido leve acrescenta massa ao conjunto, mas melhora a eficiência energética e amplia o torque disponível em baixas rotações. A redistribuição de peso decorrente do posicionamento das baterias reduz parcialmente o espaço útil do porta-malas, porém contribui para um centro de gravidade mais baixo e para maior estabilidade. Aerodinamicamente, ajustes no fluxo de ar, área frontal e downforce aumentam o controle direcional em altas velocidades quando comparado ao modelo de fábrica.

4.2 Avaliações de Desempenho

Os cálculos indicam ganho de torque combinado, melhoria de aceleração e leve redução da velocidade máxima em função do aumento de peso e do arrasto adicional previsto pelos elementos aerodinâmicos. O sistema elétrico auxiliar reduz o tempo de resposta do trem de força em rotações intermediárias e melhora a eficiência em retomadas. A avaliação dinâmica, considerando transferência de peso, rigidez do monobloco e aderência dos pneus, mostra que o conjunto híbrido se comporta de maneira estável, desde que a suspensão seja recalibrada para compensar a massa adicional. A eficiência térmica permanece dentro do limite operacional quando adotado um sistema de arrefecimento ampliado.

4.3 Viabilidade Técnica e Econômica

Sob a perspectiva técnica, o projeto demonstra viabilidade parcial, dependendo de reforços estruturais, ajustes no sistema de transmissão e integração elétrica adequada. O conceito híbrido pode ser incorporado sem comprometer a segurança estrutural, desde que os pontos de fixação das baterias e dos módulos eletrônicos recebam reforços localizados. Do ponto de vista econômico, o custo total estimado permanece elevado devido à complexidade de integração, necessidade de componentes especializados e mão de obra técnica. Apesar disso, o projeto se mantém exequível dentro de um escopo de protótipo ou estudo avançado, mas não se alinha a custos de produção comercial.

CONCLUSÃO

O projeto **Aurora – Modelo Boreal GT** demonstrou que a integração de um sistema híbrido leve a um veículo esportivo é tecnicamente viável e pode aprimorar desempenho, estabilidade e eficiência. A análise dos parâmetros aerodinâmicos, estruturais e mecânicos permitiu definir um conjunto equilibrado entre potência, peso e comportamento dinâmico. O reposicionamento das baterias na região inferior do chassi melhorou o centro de gravidade, exigindo reforços estruturais, mas sem comprometer a rigidez global do monobloco. Os cálculos aerodinâmicos e de transmissão indicaram que o Boreal GT mantém boas características de alta velocidade, com ganhos em aceleração devido ao torque adicional do motor elétrico. Economicamente, o projeto é viável como protótipo ou estudo acadêmico, embora apresente custos elevados para produção em larga escala. Assim, conclui-se que o Aurora Boreal GT atinge os objetivos propostos e fornece uma base sólida para futuras melhorias em materiais, aerodinâmica e otimização energética.

Referências bibliográficas

TOYOTA MOTOR CORPORATION. *Toyota GR86 – Technical Manual*. Japão, 2023.

SUBARU CORPORATION. *Subaru BRZ – Technical and Aerodynamic Document*. Japão, 2023.

SAE INTERNATIONAL. *Hybrid Electric Vehicle Technical Standards*. SAE J1715, 2019.

CAR AND DRIVER. *2022 Toyota GR86 – Specifications and Performance Testing*. EUA, 2022.

MOTOR TREND. *2022 GR86 Aerodynamic and Track Data*. EUA, 2022.

AUTOESPORTE. *Ficha Técnica Completa do Toyota GR86*. Brasil, 2023.

ROAD & TRACK. *Sports Car Lightweight Structures and Aerodynamic Trends*. EUA, 2021.

SCCA – Sports Car Club of America. *Guidelines for Aerodynamic Appendages*. 2021.

Videos do canal carro chefe- <https://www.youtube.com/watch?v=LldjPnvcps>

<https://www.youtube.com/watch?v=5xFyCepAjA>

<https://www.youtube.com/watch?v=ju3Quli4gVc&t=699s>

