



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CARLA EDUARDA SALES QUEIROZ
VICTOR HUGO OLIVEIRA COSTA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE CARROS ELÉTRICOS: ESTUDO
DE MODELOS COMERCIALIZADOS EM PALMAS – TO**

Palmas – TO

2025

CARLA EDUARDA SALES QUEIROZ
VICTOR HUGO OLIVEIRA COSTA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE CARROS ELÉTRICOS: ESTUDO
DE MODELOS COMERCIALIZADOS EM PALMAS – TO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel(a) em Engenharia Elétrica do
Curso Superior de Bacharelado em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins,
Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Brunno Henrique Brito

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

Q3a Queiroz, Carla Eduarda Sales
 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE CARROS
 ELÉTRICOS: ESTUDO DE MODELOS COMERCIALIZADOS EM
 PALMAS – TO / Carla Eduarda Sales Queiroz, Victor Hugo Oliveira
 Costa. – Palmas, TO, 2025.
 71 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Brunno Henrique Brito

1. Veículos Elétricos. 2. Veículo a Combustão. 3. Viabilidade
Econômica. I. Costa, Victor Hugo Oliveira. II. Brito, Brunno Henrique
III. , . IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

CARLA EDUARDA SALES QUEIROZ
VICTOR HUGO OLIVEIRA COSTA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE CARROS ELÉTRICOS: ESTUDO
DE MODELOS COMERCIALIZADOS EM PALMAS – TO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel(a) em Engenharia Elétrica do
Curso Superior de Bacharelado em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins,
Campus Palmas.

Aprovado em: 28/ 08/ 2025

BANCA AVALIADORA



Documento assinado digitalmente
BRUNNO HENRIQUE BRITO
Data: 04/09/2025 17:09:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Brunno Henrique Brito (Orientador) IFTO – Campus Palmas



Documento assinado digitalmente
MARCUS ANDRÉ PEREIRA OLIVEIRA
Data: 04/09/2025 17:49:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Marcus André Pereira Oliveira IFTO – Campus Palmas



Documento assinado digitalmente
WENDELL EDUARDO MOURA COSTA
Data: 04/09/2025 17:58:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Wendell Eduardo Moura Costa IFTO – Campus Palmas

AGRADECIMENTOS

Concluir esta etapa representa muito mais do que entregar um Trabalho de Conclusão de Curso. É a realização de um percurso repleto de aprendizados, superações e, acima de tudo, do apoio de pessoas que fizeram parte dessa trajetória.

Agradecemos primeiramente a Deus, pela vida, pela saúde e pela força concedida nos momentos mais desafiadores.

Às nossas famílias, especialmente aos nossos pais, nosso eterno agradecimento. Pelo amor, pelo incentivo e pelos sacrifícios silenciosos que nos permitiram chegar até aqui. Essa conquista também é de vocês.

Aos amigos e colegas que estiveram ao nosso lado ao longo do curso, agradecemos pela parceria, pelo companheirismo e pelas trocas que tornaram essa jornada mais leve e significativa.

Ao nosso orientador, Brunno Henrique Brito, registramos nossa profunda gratidão pela orientação dedicada, pelas contribuições valiosas e pelo apoio constante durante todas as fases deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, nossa sincera gratidão pelas oportunidades oferecidas, pelo ambiente de aprendizado e pela qualidade do ensino. Agradecemos também a todos os professores que contribuíram para a nossa formação, compartilhando conhecimento com compromisso e excelência.

Por fim, deixamos um agradecimento especial a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade. A cada um, o nosso muito obrigado.

“Nada neste mundo supera a boa e velha persistência.
A persistência e a determinação sozinhas são onipotentes.”

Calvin Coolidge

RESUMO

Nos últimos anos, fatores como a consciência ambiental, a procura por fontes de energia renováveis e os progressos tecnológicos têm incentivado a disseminação de veículos elétricos no mercado global. Esses modelos são considerados uma opção mais limpa e eficiente em comparação com os motores de combustão interna, que produzem grandes quantidades de gases poluentes e de combustíveis fósseis. Nesse cenário, o objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso é realizar uma análise de viabilidade econômica de veículos elétricos em Palmas-TO, quando seus custos são comparados com os custos de veículos a combustão compatíveis. A análise se fundamenta na comparação do custo total de propriedade (*Total Cost of Ownership - TCO*), levando em conta não apenas o preço de compra, mas também os principais custos associados à vida útil do veículo, como manutenções, seguro anual, IPVA, desvalorização e, principalmente, despesas com abastecimento. A comparação é realizada para diferentes categorias de carros comercializados na cidade e inclui três diferentes cenários de custos para a recarga do veículo elétrico: (1) pagando 100% da tarifa convencional; (2) pagando uma tarifa reduzida resultante da recarga noturna em uma unidade consumidora (UC) com sistema fotovoltaico conectada à rede (SFCR); e (3) pagando uma tarifa ainda mais reduzida devido a maior parte da recarga ocorrer durante o dia em uma UC com SFCR. Dessa forma, o estudo busca identificar em que situações o carro elétrico se torna financeiramente mais vantajoso. Os resultados apontam que, no cenário (1), o carro elétrico apresenta menor vantagem econômica, demandando mais tempo para alcançar o *payback* em relação ao veículo a combustão. No cenário de recarga noturna com SFCR (2), há uma redução considerável no custo de abastecimento, encurtando o tempo de retorno do investimento. Já no cenário de recarga diurna com SFCR (3), onde a energia solar é utilizada de forma mais intensa, observa-se a maior economia total, tornando o veículo elétrico a opção mais vantajosa ao longo da vida útil. Dessa forma, o estudo identifica que o cenário de recarga diurna é o mais favorável financeiramente, seguido pela recarga noturna, enquanto a tarifa cheia apresenta o menor retorno econômico. Ademais, para todos os cenários, o tempo de retorno do investimento é reduzido a medida que a quilometragem rodada no mês aumenta.

Palavras-chaves: Veículo Elétrico, Veículo a Combustão, Viabilidade Econômica.

Abstract

In recent years, factors such as environmental awareness, the search for renewable energy sources, and technological advances have encouraged the spread of electric vehicles in the global market. These models are considered a cleaner and more efficient option compared to internal combustion engines, which produce large amounts of pollutants and rely on fossil fuels. In this context, the objective of this Final Undergraduate Project is to carry out an economic feasibility analysis of electric vehicles in Palmas-TO, comparing their costs with those of compatible combustion vehicles. The analysis is based on the comparison of the Total Cost of Ownership (TCO), taking into account not only the purchase price but also the main costs associated with the vehicle's lifetime, such as maintenance, annual insurance, IPVA (vehicle tax), depreciation, and, most importantly, fueling expenses. The comparison is conducted for different categories of cars available in the city and considers three different cost scenarios for charging the electric vehicle: (1) paying 100% of the conventional electricity tariff; (2) paying a reduced tariff resulting from nighttime charging at a consumer unit (UC) with a grid-connected photovoltaic system (SFCR); and (3) paying an even lower tariff when most of the charging takes place during the day at a UC with SFCR. Thus, the study seeks to identify under which conditions the electric car becomes financially more advantageous. The results indicate that, in scenario (1), the electric car presents lower economic benefits, requiring more time to achieve payback compared to the combustion vehicle. In the nighttime charging with SFCR scenario (2), there is a considerable reduction in fueling costs, shortening the payback period. In the daytime charging with SFCR scenario (3), where solar energy is used more intensively, the greatest total savings are observed, making the electric

vehicle the most advantageous option over its lifetime. Therefore, the study identifies that the daytime charging scenario is the most financially favorable, followed by nighttime charging, while the full-tariff scenario offers the least economic return. Furthermore, in all scenarios, the payback period decreases as the monthly mileage increases.

Key words: Electric Vehicle, Combustion Vehicle, Economic Feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vendas por região em 2025.....	15
Figura 2 - Frota por ano em Powertrain.	20
Figura 3 - Configuração do Veículo Elétrico.....	27
Figura 4 - Demanda por baterias de veículos elétricos por região, 2016-2023.....	29
Figura 5 - Tipos De Carregadores.....	34
Figura 6 - Fluxograma da abordagem metodológica	40
Figura 7 - Payback por quilômetro rodado — recarga tarifa cheia (em meses).....	52
Figura 8 - Payback por quilômetro rodado — recarga noturna (em meses)	54
Figura 9 - Payback por quilômetro rodado — recarga diurno (em meses)	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vendas internas de Combustíveis em 2024	22
Tabela 2 - Baterias dos Modelos Elétricos	31
Tabela 3 - Veículos Elétricos Selecionados	46
Tabela 4 - Veículos à Combustão Selecionados	46
Tabela 5 - Custo de Manutenção (100.000 km) - a cada 100.000km	48
Tabela 6 - Payback por quilômetro rodado — recarga tarifa cheia (em meses)	52
Tabela 7 - Payback por quilômetro rodado — recarga noturna (em meses)	55
Tabela 8 - Payback por quilômetro rodado — recarga diurno (em meses).....	57
Tabela 9 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 1.....	59
Tabela 10 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 2.....	59
Tabela 11 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 3.....	60
Tabela 12 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 4.....	60
Tabela 13 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 5.....	61
Tabela 14 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 6.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Amperes
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEV	Veículo elétrico 100% a bateria
BYD	Build Your Dreams
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
EV	Veículo Elétrico
GWM	Great Wall Motors
BMW	Bayerische Motoren Werke
IEA	International Energy Agency
MCI	Motores de combustão interna
SUVs	Sport Utility Vehicle
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

TCO	Custo Total de Propriedade
TO	Tocantins
HP	Horsepower
CV	Cavalo-Vapor
GD	Geração Distribuída
UC	Unidade Consumidora
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
IPVA	Imposto Sobre Propriedades de Veículos Automotores
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Problema de Pesquisa	16
1.2 Justificativa	17
1.3 Objetivos Geral	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
2 CARROS A COMBUSTÃO	19
2.1 Tipos de Combustíveis	21
3 CARROS ELÉTRICOS	23
3.1 Veículos Movidos a bateria	24
3.2 Baterias em Veículos Elétricos	28
3.2.1 Tecnologias das Baterias VEs	29
3.3 Autonomia dos Veículos elétricos	31
3.4 Eletropostos	32
3.4.1 Carregadores	34
3.5 Energia Solar Fotovoltaica	37
3.5.1 Tarifa Cheia	37
3.5.2 Geração Distribuída Noturna (GD Noite – excedente acumulado no sistema de compensação)	38
3.5.3 Geração Distribuída Diurna (GD Dia – consumo direto do sistema fotovoltaico)	38
4 METODOLOGIA	39
4.1 Identificação de Veículos à Combustão Compatíveis	40
4.2 Modelagem da Estrutura	41
4.3 Análise Comparativa de Viabilidade Financeira	44
5 RESULTADOS	45
5.1 Análise do Mercado de Veículos 100% Elétricos e Identificação de Veículos à Combustão Compatíveis	45
5.2 Análise de custo de Veículos 100% Elétricos e à Combustão	49
5.2.1 Cenário 1: Recarga com Tarifa Cheia	50
5.2.2 Cenário 2: Geração Distribuída – Recarga Noturna (GD Noite)	53
5.2.3 Geração Distribuída – Recarga Diurna (GD Dia)	55
5.2.4 Resultados e Discursões	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE A – Planilha de Dados Utilizados na Construção dos Gráficos e Tabelas de Payback	69

1 INTRODUÇÃO

A eletrificação dos meios de transporte é um marco na busca por um futuro mais ecológico e com menos emissões poluentes. Os veículos elétricos já mostraram seu potencial no século XIX, porém foram superados pelos motores de combustão interna por conta de restrições tecnológicas e infraestruturais. Contudo, com o progresso nas tecnologias de baterias e o aumento da consciência ecológica, os veículos elétricos estão se estabelecendo como uma opção viável e atrativa em relação aos veículos convencionais (TANAKA, 2013)

A indústria de transporte é um dos principais geradores de poluentes, e a implementação dos veículos elétricos é uma resposta aos objetivos globais de descarbonização (Agência Internacional de Energia - IEA, 2024). Várias nações têm implementado políticas de estímulo à eletromobilidade, e as empresas de automóveis antecipam que os veículos elétricos irão dominar o mercado nos próximos anos, estabelecendo-se como uma alternativa mais ecológica e eficaz em comparação aos veículos a combustão.

No Brasil, embora ainda representem uma fatia reduzida do mercado automotivo, os veículos eletrificados vêm apresentando crescimento constante e consolidando sua participação. De acordo com a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE, 2025), no primeiro semestre de 2025 foram comercializados 86.849 veículos leves eletrificados, que incluem modelos 100% elétricos (BEV), híbridos plug-in (PHEV), híbridos elétricos (HEV) e híbridos flexíveis (HEV Flex), um aumento de 9,5% em relação às 79.304 unidades registradas no mesmo período de 2024. Essa evolução levou o segmento a atingir cerca de 8% de participação nas vendas de automóveis leves no país.

A distribuição de mercado no 1º semestre de 2025 foi liderada pelos Veículos Híbridos Plug-in (PHEV), com 48,8% de participação (42.370 unidades), seguidos pelos Veículos 100% Elétricos (BEV), com 35,2% (30.576 unidades). Os Veículos Híbridos Elétricos (HEV) representaram 8,1% (7.015 unidades) e os Híbridos Flex (HEV Flex) corresponderam a 7,9% (6.888 unidades). Juntos, os modelos plug-in (BEV + PHEV) totalizaram 84% do mercado de eletrificados no semestre, refletindo um crescimento de 33,8% em relação a 2024.

Entre 2023 e 2024, as vendas saltaram de 57.510 para 122.548 unidades, um crescimento de 114%. Já entre 2024 e 2025, houve um avanço mais moderado, de 9,5%, consolidando a tendência de expansão. Vale destacar que, desde janeiro de 2025, os modelos micro-híbridos (MHEV) deixaram de ser contabilizados pela ABVE, alinhando as estatísticas aos padrões internacionais. Além disso, o mercado apresentou diversificação significativa, passando de 39 fabricantes e 225 modelos disponíveis em 2024 para 57 fabricantes e 293 modelos em 2025.

A eletromobilidade avança de forma gradual e constante no Brasil, num processo que envolve não apenas o crescimento das vendas, mas também a sua disseminação por diferentes regiões do território nacional. Observa-se uma tendência clara de interiorização dessas vendas, refletindo maior capilaridade na oferta de veículos eletrificados e na disponibilidade de infraestrutura de recarga.

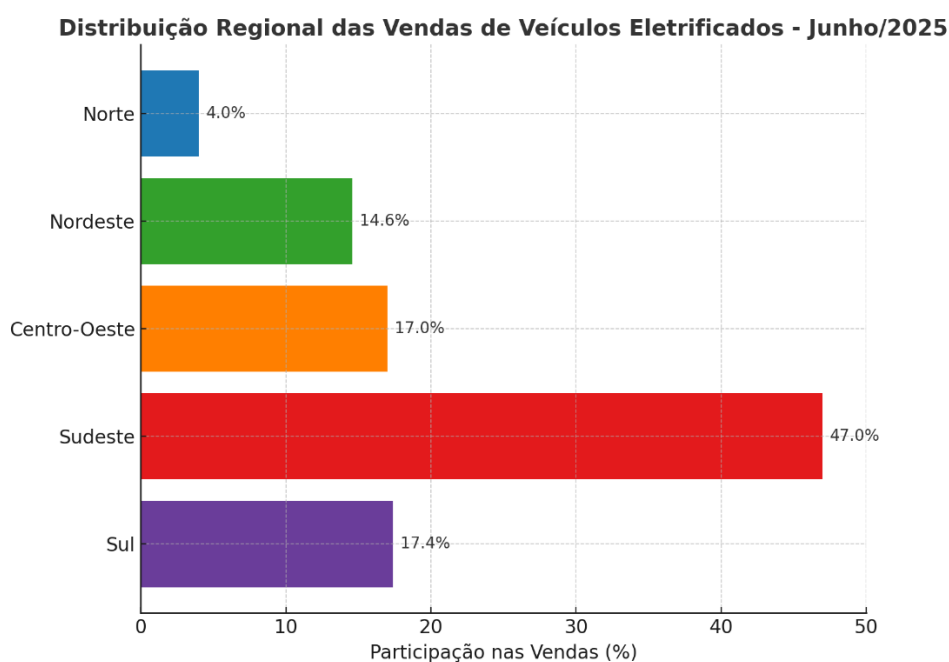
A região Sudeste mantém a liderança absoluta do mercado, sendo responsável por 47% das vendas nacionais de eletrificados em junho de 2025 (7.296 unidades). O estado de São Paulo se destaca com o maior volume, registrando 4.791 unidades no mês, o equivalente a 30,9% de todo o mercado nacional.

A região Sul também apresenta uma participação expressiva, correspondendo por 17,4% das vendas totais (2.700 unidades), impulsionada principalmente pelo

Paraná e Santa Catarina, ambos com cerca de 6% de participação cada sobre o total nacional.

A região Norte, embora ainda represente uma fatia menor do mercado, vem apresentando crescimento gradual. Em junho de 2025, respondeu por cerca de 4% das vendas nacionais, com destaque para o Amazonas e o Pará. O Tocantins, 24º no ranking nacional, destaca-se por sua localização geográfica favorável à geração de energia solar, fator que se torna uma vantagem estratégica para quem utiliza veículos elétricos.

Figura 1 - Vendas por região em 2025.



Fonte: Adaptado ABVE (2025).

Dentre os principais fatores que impulsionam o crescimento das vendas de carros elétricos, destacam-se a sustentabilidade e os avanços tecnológicos. Segundo Fabrício Macias, Co-CEO da Macfor, houve um aumento significativo nas buscas online por veículos elétricos em 2024 e 2025, refletindo a crescente conscientização ambiental dos consumidores (CÉSAR, 2025). Além disso, a mobilidade elétrica atrai

consumidores que buscam experimentar novas tecnologias, impulsionados por vantagens como menor custo de rodagem e manutenção em comparação aos veículos a combustão.

Neste contexto, este trabalho tem como principal objetivo mensurar cenários em que já vale apenas financeiramente adquirir um veículo elétrico em Palmas - TO. A pesquisa contempla uma avaliação detalhada dos custos de aquisição, do custo total de propriedade e da infraestrutura necessária, complementada por um estudo de caso de cinco modelos comercializados na região. O objetivo é evidenciar não apenas os benefícios econômicos e ambientais dessa tecnologia, mas também os desafios que ainda precisam ser superados para sua consolidação no mercado local.

Embora a transição para veículos elétricos em Palmas - TO apresente barreiras significativas como a limitada infraestrutura de recarga, o custo inicial elevado e a necessidade de maior conscientização dos consumidores, também oferece oportunidades concretas para a construção de um futuro mais sustentável e economicamente viável. Nesse contexto, antes de realizar tal investimento, é essencial avaliar sua viabilidade econômica frente à aquisição de um veículo a combustão. Tal análise deve considerar fatores como custos de manutenção, disponibilidade e posse de carregadores, capacidade da bateria, autonomia do veículo, IPVA, seguro, entre outros elementos que influenciam diretamente o custo total de propriedade.

1.1 Problema de Pesquisa

Qual é a viabilidade financeira para a compra e utilização de carros elétricos no cenário brasileiro atualmente, levando em conta variados perfis de consumidores e

possíveis cenários de infraestrutura de recarga?

1.2 Justificativa

O crescente interesse global pela sustentabilidade e pela adoção de alternativas mais ecológicas para a mobilidade urbana tem impulsionado a difusão dos veículos elétricos como solução viável para a redução de emissões de gases poluentes e da dependência de combustíveis fósseis. No Brasil, embora o mercado de automóveis elétricos apresente uma trajetória de crescimento, sua penetração ainda é limitada por fatores como o elevado custo de aquisição, a infraestrutura de recarga restrita e a baixa familiaridade de grande parte da população com essa tecnologia.

Nesse contexto, a avaliação da viabilidade econômica dos veículos elétricos torna-se fundamental para compreender seu real potencial de adesão e competitividade frente aos modelos a combustão. Tal análise possibilita identificar se a economia proporcionada ao longo do tempo especialmente pela redução nos gastos com combustível e manutenção é capaz de compensar o investimento inicial mais elevado, fornecendo subsídios para uma tomada de decisão mais consciente por parte dos consumidores.

Além disso, o aproveitamento de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, apresenta-se como um elemento estratégico para potencializar os benefícios econômicos e ambientais dos veículos elétricos. A geração distribuída aplicada à recarga desses automóveis pode reduzir substancialmente os custos operacionais, mitigar a dependência da rede elétrica convencional e tornar a mobilidade elétrica mais atrativa, principalmente em regiões com elevado índice de

radiação solar, como é o caso do Tocantins.

Dessa forma, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de avaliar, de maneira prática e fundamentada, a economia real que um veículo elétrico pode gerar ao longo de sua vida útil, determinando o tempo necessário para que a redução dos gastos com energia e manutenção compense o valor inicial do investimento. Para compreender o cenário atual e a ascensão dos veículos elétricos, é fundamental revisitar a história e a relevância dos carros a combustão, que por décadas dominaram o mercado automobilístico.

1.3 Objetivos Geral

Desenvolver uma análise sobre a viabilidade econômica de um veículo 100% elétrico, destacando os principais benefícios e os desafios envolvidos nesse contexto.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, pode-se listar os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os carros 100% elétricos comercializados em Palmas – TO e comparar com os veículos a combustão compatíveis em termos de potência e acessórios;
- Analisar os custos envolvidos na compra e manutenção de um veículo 100% elétrico, considerando cenários com e sem sistema solar no ponto de recarga;

- Analisar a viabilidade econômico-financeira entre veículos 100% elétricos e veículos a combustão compatíveis.

2 CARROS A COMBUSTÃO

Toda história de evolução científica e tecnológica é repleta de acertos e fracassos. Em 1885, o primeiro veículo movido a gasolina foi criado. O primeiro modelo, então, foi desenvolvido por um alemão chamado *Karl Benz*. E por volta de 1891, Alberto Santos Dumont, que mais tarde seria conhecido como o pai da aviação, decidiu estudar essa novidade e trazê-la para o Brasil (Rodrigues, 2023).

Nos primeiros anos do século XX, a maioria dos automóveis fabricados, eram movidos a energia elétrica ou a vapor. Somente durante a década de 1920, que os carros passaram a contar com motor a gasolina, se tornando preferência entre os consumidores (Dyna, 2024).

Vale ressaltar que a rivalidade entre eletrificação e propulsão a gasolina existe desde o início do século XIX, antes que esta tecnologia se transmitisse até os nossos dias. Eram relativamente prósperas as manufaturas de veículos elétricos (VE). Basicamente, existiam esses três tipos de motores mencionados, mas acabou prevalecendo o motor a combustão interna até hoje por uma simples razão: praticidade.

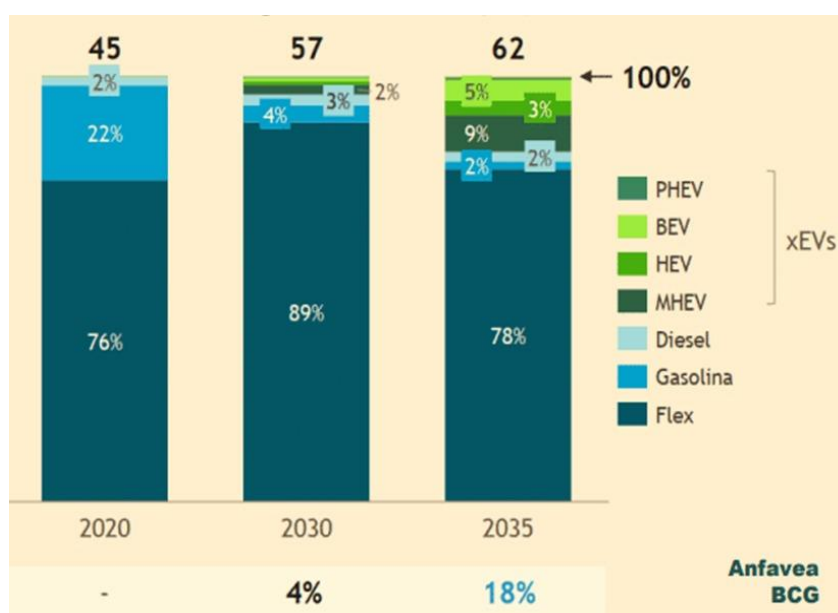
Atualmente, o Brasil já figura entre os 10 países com maior produção automotiva no planeta, sendo responsável por 2,6% da produção mundial. Em questões de números são basicamente 20 montadoras de carros em operação, empresas essas que, reunidas, possuem 65 fábricas em 11 estados da federação, somando capacidade instalada de 4,5 milhões de automóveis por ano e cerca de 5,5

mil concessionárias.

Na previsão mais pessimista da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). Motores a combustão interna ainda vão equipar a frota circulante por muito tempo. O gráfico diz que, em 2035, enquanto países como o Canadá afirmam que terão banido os não elétricos, o Brasil teria circulando 82% de veículos com motor a combustão pura. Desses, 78% flex. E 4% ainda a combustíveis fósseis. Entre os considerados elétricos, entram 9% de “híbridos leves” (MHEV), carros a combustão que possuem motores elétricos auxiliares, um motor a combustão avançado.

Temos ainda 3% de híbridos não plugin (HEV), os que podem andar com o motor elétrico, mas não têm a opção de serem carregados na tomada. Isto é, são carros movidos a combustível, não ligados às redes elétricas. E meros 1% de híbridos plug in (PHEV), os híbridos que podem ser carregados na tomada, além do posto. E, por fim, só 5% de elétricos à bateria (BEV) – elétricos puros, como os da Tesla. (Marton, 2021).

Figura 2 - Frota por ano em Powertrain.



Fonte: Marton (2021).

Um estudo exibido pela consultoria mostra que do poço à roda de um elétrico, ou seja, de todo o seu ciclo de vida, da produção até a sua utilização, ele emite 18 CO₂ g/Km, enquanto um híbrido *flex* abastecido com etanol lança 48 CO₂ g/Km. Para efeito de comparação, um carro somente a gasolina emite 183 CO₂ g/Km. (Balhessa, 2024).

2.1 Tipos de Combustíveis

Em particular, a frota de veículos brasileira emprega quatro combustíveis principais: gasolina, diesel, etanol e gás natural. No Brasil, por regulamentação, os motores de ciclo diesel não podem equipar os veículos de passeio. (A proibição foi estabelecida em 1976, durante a crise do petróleo). E, assim, os automóveis são exclusivamente abastecidos por gasolina, etanol e, nos últimos anos, também por gás natural. O diesel apresenta diversos benefícios em termos de desempenho e economia, tornando-se uma escolha vantajosa para o transporte de cargas, garantindo o suprimento de produtos em todo o território nacional. Caminhões, ônibus e maquinário agrícola são alguns dos veículos pesados que dependem do óleo diesel como fonte de energia e, recentemente, também para veículos de uso comercial leve, como caminhonetes e furgões.

De acordo com projeções da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), espera-se um aumento para os combustíveis do ciclo Otto, estima-se que a tendência de crescimento se manterá em 2023 e 2024, com a participação da gasolina C no mesmo patamar. A recuperação da safra de cana-de-açúcar, junto com o aumento consistente da produção de etanol a partir do milho, contribuirá para a expansão da oferta desse

biocombustível.

Conforme a Avaliação do Mercado de Combustíveis as vendas internas no ano de 2024 no Brasil ficaram em 69.300 mil m³ de diesel, 44.300 mil m³ de gasolina C (32.300 mil m³ de gasolina A + 12.000 mil m³ de álcool anidro) e 23.300 mil m³ de etanol hidratado (totalizando 136.900 mil m³ de combustíveis). Estes dados, bem como o aumento ou redução no consumo de outros combustíveis pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Vendas internas de Combustíveis em 2024

Combustível	mil m ³					Variação (%)
	2021	2022	2023	2024	2025	2025/2024
Diesel	63.500	64.700	66.900	69.300	70.300	1,44%
Diesel A	56.700	58.400	59.400	60.100	60.100	0,00%
Biodiesel	6.800	6.300	7.500	9.200	10.200	10,87%
Gasolina C	39.700	43.600	46.500	44.300	47.400	7%
Gasolina A	28.700	31.400	33.600	32.300	34.600	7,12%
Etanol Anidro	11.000	12.200	12.900	12.000	12.800	6,66%
Etanol Hidratado	17.500	16.900	18.100	23.300	20.900	-10,30%
Total	120.700	125.200	131.500	136.900	138.600	1,24%

Fonte: Adaptado de EPE (2025).

O maior aumento de demanda foi o da gasolina. Foram 46 bilhões de litros vendidos no ano de 2023, uma alta de 6,3% em relação a 2022, quando foram comercializados 43 bilhões de litros. Em volume de vendas, o diesel segue na liderança. Em 2024, foram vendidos 69,3 bilhões de litros, um crescimento de 3,6%.

O etanol hidratado avançou 28,7% com a comercialização de 23,3 bilhões de litros. Foi o 1º ano de crescimento considerável do combustível depois da pandemia de covid, foram 3 anos de quedas consecutivas nas vendas. A alta se deve aos preços mais baixos do etanol em 2023. Como mostrou o (Campos, 2024) o valor do combustível nas bombas caiu 14,7% no acumulado do último ano. A gasolina seguiu o sentido inverso e subiu 9%. Apesar da consolidação dos veículos a combustão no mercado brasileiro, a busca por alternativas mais sustentáveis impulsiona a ascensão dos carros elétricos.

3 CARROS ELÉTRICOS

A trajetória dos veículos 100% elétricos (BEV) no Brasil pode ser dividida em três grandes ondas. A primeira ocorreu ainda na década de 1970, com a iniciativa da Gurgel, que lançou o protótipo Itaipu em 1974 e, posteriormente, a pequena série utilitária E-400 em 1981, considerada a primeira produção em série de carros elétricos na América Latina. Apesar do pioneirismo, a tecnologia da época, especialmente no que se refere às baterias de chumbo-ácido, limitava a autonomia e elevava os custos, o que resultou na descontinuação do projeto em 1983 (QUATRO RODAS, 2024).

A segunda onda começou em 2012, quando a Nissan trouxe o modelo Leaf para programas-piloto no Rio de Janeiro e em São Paulo, voltados para uso como táxis e testes de frotas corporativas. Essa fase culminou em 2014, quando o BMW i3 tornou-se o primeiro veículo totalmente elétrico vendido diretamente ao consumidor no país (NISSAN NEWSROOM, 2023). No entanto, o preço elevado e a ausência de políticas públicas mais robustas dificultaram a popularização desses modelos. A partir de 2015, o governo federal reduziu o Imposto de Importação para veículos elétricos

(Resolução CAMEX nº 97/2015), o que possibilitou uma redução nos preços e favoreceu novas importações (CNT, 2015).

A terceira e mais significativa onda teve início em 2023 com a entrada de montadoras chinesas como *BYD*, *GWM* e *Caoa Chery*, que apresentaram modelos com preços mais competitivos e maior autonomia. Veículos como o *BYD Dolphin*, o *GWM Haval H6* e o *Chery Tiggo 8* rapidamente ganharam destaque nas vendas nacionais. O *BYD Dolphin*, em especial, tornou-se o carro elétrico mais vendido do Brasil em 2023 (IEA, 2024).

Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), o número de veículos eletrificados vendidos em 2024 alcançou 177.358 unidades, sendo 61.615 apenas de modelos 100% elétricos, o que representa 35% dos eletrificados leves comercializados no ano. Esse crescimento é impulsionado pela maior disponibilidade de modelos, benefícios fiscais estaduais e a conscientização ambiental dos consumidores (ABVE, 2024).

A Agência Internacional de Energia (IEA) reforça que o Brasil possui um grande potencial na transição para veículos elétricos, sobretudo por conta da sua matriz energética majoritariamente renovável. Essa característica permite que os veículos elétricos operem com uma pegada de carbono ainda menor, contribuindo significativamente para os compromissos ambientais do país (IEA, 2024). Apesar disso, desafios permanecem: a retomada gradual do Imposto de Importação a partir de 2024 e a necessidade de expansão da infraestrutura de recarga ainda exigem atenção.

3.1 Veículos Movidos a bateria

O avanço tecnológico e a crescente demanda por soluções de transporte mais

sustentáveis têm catapultado os Veículos Elétricos Movidos a Bateria (BEV - *Battery Electric Vehicles*) para o centro das discussões sobre mobilidade. Ao contrário dos veículos a combustão interna (MCI), os BEVs eliminam a necessidade de combustíveis fósseis, operando exclusivamente com energia elétrica armazenada em baterias recarregáveis. Esta característica fundamental simplifica a arquitetura veicular e promove uma operação mais limpa e silenciosa.

O conceito de um carro movido a eletricidade, como ilustrado na Figura 5, é relativamente simples, porém tecnologicamente sofisticado. A propulsão elétrica baseia-se na conversão de energia química, armazenada nas baterias, em energia elétrica que alimenta o motor elétrico. Este, por sua vez, converte a energia elétrica em energia mecânica, impulsionando o veículo.

Os principais componentes de um BEV e suas funções interligadas são:

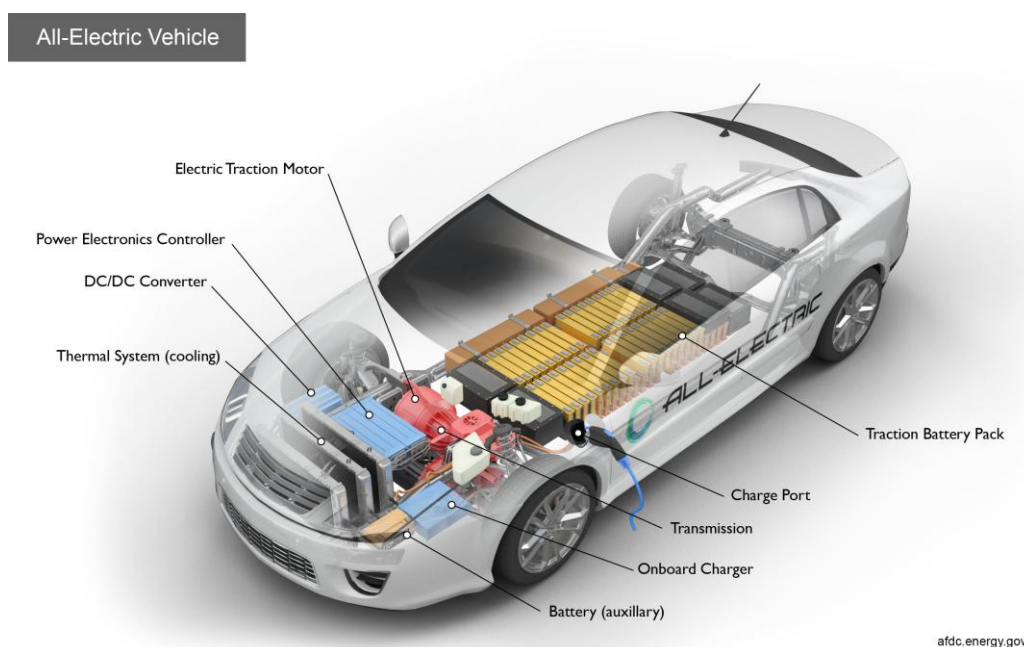
1. Conjunto de Baterias (*Traction Battery Pack*): Atua como o "tanque de combustível" do veículo elétrico, armazenando a energia elétrica necessária para a propulsão. Geralmente composto por milhares de células de íons de lítio interconectadas, esse conjunto é projetado para oferecer alta densidade energética e potência, além de ser um dos componentes mais pesados e caros do VE. O gerenciamento eficiente da bateria é crucial para sua vida útil e desempenho.
2. Motor Elétrico (*Electric Traction Motor*): É o componente responsável por converter a energia elétrica em movimento. Os BEVs podem ter um ou mais motores elétricos, localizados no eixo dianteiro, traseiro ou em ambos, dependendo da configuração (tração dianteira, traseira ou integral). Diferentemente dos motores a combustão, os motores elétricos entregam

torque máximo instantaneamente, resultando em acelerações rápidas e suaves.

3. Inversor (*Power Electronics Controller*): Este dispositivo é essencial em veículos que utilizam motores de corrente alternada (CA), que são a maioria dos casos. O inversor converte a corrente contínua (CC) proveniente das baterias em corrente alternada (CA) para alimentar o motor elétrico. Além disso, ele gerencia a direção e a quantidade de energia que flui para o motor, controlando a velocidade e o torque do veículo.
4. Controlador (*Controller*): Atua como o "cérebro" do sistema de propulsão. O controlador ajusta a energia da bateria às características do motor, regulando a potência fornecida e, conseqüentemente, controlando a velocidade do veículo. Ele recebe informações do pedal do acelerador, do freio e de outros sistemas do veículo para otimizar a entrega de energia e garantir uma condução eficiente e segura.
5. Carregador de Bordo (*Onboard Charger*): Integrado ao veículo, este componente é responsável por converter a corrente alternada (CA) da rede elétrica (de uma tomada comum ou eletroposto de CA) em corrente contínua (CC) para recarregar a bateria principal do veículo. Sua potência determina a velocidade de recarga em pontos de CA.
6. Sistema de Resfriamento (*Thermal System - Cooling*): Crucial para a performance e longevidade da bateria e do motor elétrico. Este sistema gerencia a temperatura desses componentes, garantindo que operem dentro de suas faixas ideais. O superaquecimento pode degradar a bateria e reduzir a eficiência, enquanto temperaturas muito baixas podem diminuir a potência e a capacidade de recarga.

7. Conversor DC/DC: Converte a alta voltagem da bateria principal para a voltagem mais baixa (geralmente 12V) necessária para alimentar os sistemas eletrônicos auxiliares do veículo, como luzes, rádio, sistemas de navegação e vidros elétricos.
8. Bateria Auxiliar (*Battery - Auxiliary*): Uma pequena bateria de 12V (similar à de carros a combustão) que alimenta os sistemas eletrônicos de baixa voltagem do veículo quando a bateria principal de alta voltagem está desligada ou para iniciar o sistema de propulsão.

Figura 3 - Configuração do Veículo Elétrico.



Fonte: U.S. Department of Energy (2021).

A interação entre esses componentes permite que o BEV funcione de maneira eficiente. Quando o motorista pisa no acelerador, o controlador instrui o inversor a retirar energia da bateria, convertê-la (se necessário) e enviá-la ao motor elétrico, que gira as rodas. Ao frear ou desacelerar, muitos BEVs utilizam o freio regenerativo, onde

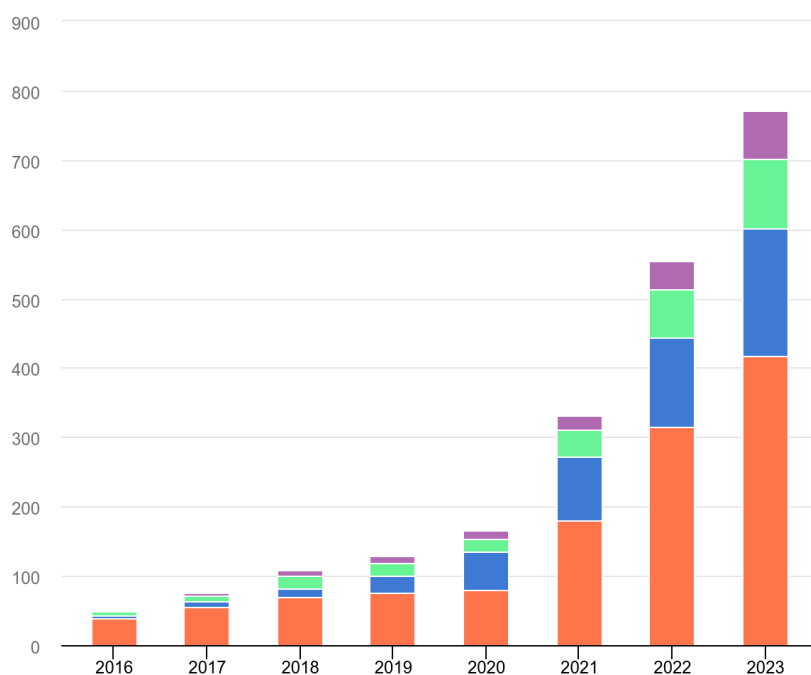
o motor elétrico atua como um gerador, convertendo a energia cinética do veículo de volta em energia elétrica e a armazenando na bateria, aumentando a eficiência e a autonomia. A constante evolução desses componentes, particularmente das baterias (em capacidade, custo e densidade energética) e dos sistemas de controle, tem sido o principal motor do crescimento e da aceitação dos BEVs no mercado global.

3.2 Baterias em Veículos Elétricos

As baterias são o componente mais crítico e, frequentemente, o mais caro dos veículos elétricos, influenciando diretamente sua autonomia, desempenho, tempo de recarga e custo total. As baterias de íons de lítio (*Li-ion*) se estabeleceram como padrão da indústria devido à sua alta densidade energética, bom desempenho em diversas temperaturas e capacidade de reciclagem de seus componentes. No Brasil, as baterias de lítio já fazem parte da sociedade há pelo menos 25 anos, equipando a grande maioria dos veículos eletrificados (ABVE, 2025).

A produção global de células de bateria tem experimentado um crescimento notável, com a capacidade instalada para a produção de células de bateria crescendo consideravelmente em 2023, com aumentos superiores a 45% na China e nos Estados Unidos, e cerca de 25% na Europa, em relação a 2022. Esse progresso está diretamente ligado ao crescimento nas vendas de carros elétricos, com a demanda global por baterias para esses veículos ultrapassando 750 GWh em 2023, um crescimento de 40% em comparação ao ano anterior, sendo que os automóveis elétricos responderam por 95% desse aumento na procura (IEA, 2024).

Figura 4 - Demanda por baterias de veículos elétricos por região, 2016-2023.



Fonte: IEA, 2024.

3.2.1 Tecnologias das Baterias VEs

As baterias de íons de lítio são atualmente a principal solução de armazenamento de energia em veículos elétricos (VE), devido à sua alta densidade energética, eficiência de recarga e desempenho estável em diversas condições de operação (IEA, 2023). Entre as químicas mais utilizadas no setor automotivo destacam-se NMC (Níquel-Manganês-Cobalto), LFP (Fosfato de Ferro-Lítio) e NCA (Níquel-Cobalto-Alumínio), cada uma com características técnicas específicas para diferentes aplicações.

As baterias NMC são compostas por diferentes proporções de níquel, manganês e cobalto, sendo amplamente utilizadas em veículos de médio e alto padrão devido à sua boa densidade energética e desempenho equilibrado. No entanto, a presença de cobalto eleva os custos e traz preocupações socioambientais quanto à

sua extração (*MIT Energy Initiative*, 2019).

As baterias LFP têm se popularizado por sua alta estabilidade térmica, custo mais acessível e maior vida útil, com muitos modelos alcançando mais de 5.000 ciclos de carga e descarga com baixa degradação. No entanto, possuem densidade energética inferior às baterias NMC e NCA, o que pode resultar em menor autonomia ou maior peso do conjunto (*Battery University*, 2024).

As baterias NCA oferecem excelente densidade energética e são comuns em veículos de alto desempenho, como os da Tesla. Contudo, apresentam maior sensibilidade térmica e custo elevado, o que exige sistemas avançados de gerenciamento (*IDTechEx*, 2022).

Independentemente da química, as baterias sofrem degradação ao longo do tempo. Um ciclo de carga completo é definido como uma descarga e recarga de 100% da capacidade nominal. Porém, a maioria dos usuários realiza ciclos parciais (ex: 20% a 80%), o que contribui para prolongar a vida útil da bateria. O fim da vida útil é geralmente considerado quando a capacidade cai para 80% da original, o que pode ocorrer entre 500 e mais de 10.000 ciclos, a depender da química e do padrão de uso (*BloombergNEF*, 2023).

Avanços recentes também incluem tecnologias como a *Blade Battery* (variação prismática da LFP, usada pela *BYD*), que combina alta resistência mecânica com maior aproveitamento volumétrico, e as baterias de estado sólido, ainda em desenvolvimento, que prometem maior densidade energética e segurança (IEA, 2024).

A seguir, apresenta-se uma tabela comparativa com os principais tipos de baterias utilizadas em veículos elétricos, destacando suas características técnicas, ciclos típicos de recarga e limitações operacionais.

Tabela 2 - Baterias dos Modelos Elétricos

Tipo de Bateria	Ciclos de Carga típicos	Vantagens principais	Desvantagens principais
LFP	~2.500 a >10.000 ciclos até 80 % de capacidade	Alta durabilidade, excelente segurança térmica, mais sustentável e de menor custo	Menor densidade energética, o que implica maior peso ou menor autonomia
NMC (Níquel-Manganês-Cobalto)	~1.000 a 2.000 ciclos até 80 % de capacidade	Boa densidade energética, desempenho equilibrado, amplamente utilizado em veículos premium	Contém cobalto (questões ambientais/sociais), vida útil menor
NCA (Níquel-Cobalto-Alumínio)	~1.000 a 2.000 comparáveis ao NMC	Alta densidade energética e melhor desempenho em aceleração	Alto custo e menor estabilidade térmica em comparação ao LFP
LCO (Óxido de Cobalto de Lítio)	500 a 1.000	Muito leve e compacta, usada em veículos leves e eletrônicos portáteis	Vida útil curta, risco elevado de aquecimento
LMO (Óxido de Manganês de Lítio)	300 a 700	Baixo custo, boa estabilidade química	Vida útil mais curta, menor desempenho energético
<i>Blade Battery</i> (LFP prismática – BYD)	~3.000 a 5.000 ciclos (alguns fabricantes relatam >5.000)	Alta resistência mecânica, boa densidade volumétrica, excelente custo-benefício	Ainda menor densidade energética que NMC/NCA,
Estado sólido (protótipo/desenvolvimento)	Estimado >5.000 ciclos futura	Maior densidade energética, segurança superior, excelente ciclo de vida futura	Tecnologia ainda cara e em estágio de desenvolvimento industrial

Fonte: Adaptado de *BATTERY UNIVERSITY*, IEA (2024)

3.3 Autonomia dos Veículos elétricos

Entre 2015 e 2023, a autonomia média dos carros elétricos aumentou cerca de 75%, impulsionada por avanços nas tecnologias de baterias e melhorias no design dos veículos. Contudo, esse aumento variou conforme o segmento do veículo. Em

2023, por exemplo, a autonomia média dos carros pequenos alcançou aproximadamente 250 km, um valor apenas ligeiramente superior ao de 2015. Essa estabilidade indica que essa autonomia já atende bem às demandas de uso urbano, com exceção dos táxis, que possuem uma utilização diária mais intensa. Por outro lado, modelos maiores e de luxo, que em 2015 já ofereciam autonomias elevadas, mantiveram uma média estável entre 360 e 380 km até 2023. Já os carros de médio porte e *SUVs* apresentaram um aumento expressivo no mesmo período (IEA, 2024).

A autonomia média dos veículos médios, que era de cerca de 150 km em 2015, aumentou para cerca de 380 km, enquanto os *SUVs* passaram de uma média de 270 km para também em torno de 380 km. Esse avanço torna esses modelos mais atraentes para consumidores que buscam veículos adequados para viagens mais longas, e não apenas para o uso urbano (IEA, 2024).

De acordo com IEA, desde 2020, o ritmo de crescimento da autonomia média dos veículos elétricos tem sido mais lento em comparação com o período entre 2015 e 2020, isso pode resultar de uma série de fatores, incluindo preços flutuantes de baterias, tentativas das montadoras de limitar custos adicionais à medida que a concorrência se intensifica e restrições técnicas (IEA, 2024). No entanto, olhando para o futuro, a autonomia média dos carros elétricos poderá voltar a crescer com o amadurecimento de novas tecnologias de baterias e a redução de seus custos.

3.4 Eletropostos

Os pontos de carregamento para veículos elétricos, também chamados de eletropostos, são essenciais para o avanço da mobilidade elétrica, tendo um papel crucial na mudança para um modelo de transporte mais ecológico. Conforme o

número de veículos elétricos no mundo aumenta rapidamente, torna-se cada vez mais evidente a necessidade de uma infraestrutura de carregamento eficaz e de fácil acesso.

No primeiro dia do *Electric Days*, evento que aconteceu nos dias 12 e 13 de novembro de 2024 na Bienal do Ibirapuera, em São Paulo (SP), o cenário otimista da eletromobilidade no Brasil ganhou destaque. Ricardo Bastos, presidente da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), informou que outubro foi o terceiro mês mais produtivo da série histórica da entidade, registrando 16.033 vendas de veículos elétricos leves. Além disso, Bastos ressaltou a evolução da infraestrutura de recarga pública e semipública no Brasil, que chegou a 10.622 pontos de carregamento em agosto (9.506 AC e 1.109 DC). Segundo Bastos, a evolução da eletromobilidade brasileira também tem de vir da iniciativa privada, investindo em infraestrutura de recarga. O presidente da ABVE afirmou que o foco das empresas deve ser o investimento em carregadores públicos rápidos (CC) (ABVE, 2024).

A expansão da infraestrutura para veículos elétricos em Palmas-TO é um fator determinante para o sucesso da transição para uma mobilidade mais sustentável. Atualmente, a cidade enfrenta o desafio de desenvolver uma rede de estações de recarga que não apenas acompanhe o crescimento da frota elétrica, mas que também esteja estrategicamente distribuída para oferecer conveniência e confiabilidade aos usuários. A instalação de pontos de recarga em áreas comerciais, residenciais e de grande fluxo, como shoppings, supermercados e postos de combustíveis, pode incentivar um número maior de motoristas a optarem por veículos elétricos.

Atualmente, Palmas conta com apenas um ponto público de recarga rápida em corrente contínua (CC), tecnologia que permite carregamentos significativamente mais rápidos em comparação à corrente alternada (CA). Enquanto a recarga em CA

é comum em carregadores residenciais e semirrápidos, podendo levar várias horas para completar uma carga, os carregadores rápidos em CC conseguem repor de 20% a 80% da bateria em cerca de 30 a 60 minutos, dependendo do modelo do veículo. Essa diferença torna os carregadores rápidos essenciais para viagens de longa distância ou para usuários que necessitam de agilidade no dia a dia.

3.4.1 Carregadores

Existem diversos tipos de carregadores disponíveis no mercado, cada um projetado para atender necessidades específicas, oferecendo características e benefícios distintos, conforme ilustrado na figura 7. Entre os principais tipos de carregadores, destacam-se (NEOCHARGE, 2023):

Figura 5 - Tipos De Carregadores



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)

1. **Carregadores de Emergência:** é o carregador que acompanha o carro já no momento da compra e que permite carregar o carro em tomadas comuns de 10 A, como aquelas que possuímos em casa. Como o próprio nome sugere, eles podem ser usados em situações não previstas onde não são encontrados carregadores ou tomadas mais potentes. Apesar da conveniência, sua baixa potência implica em menor velocidade de recarga das baterias.
2. **Carregadores Portáteis:** semelhantes aos carregadores de emergência, mas se destacam pela maior potência de carregamento. Enquanto os modelos de emergência geralmente operam com uma corrente de até 10 A em uma única fase, os carregadores portáteis podem fornecer até 32 A em até três fases. Essa diferença permite que os portáteis ofereçam uma potência até dez vezes maior, resultando em tempos de recarga significativamente menores para as baterias dos veículos elétricos.
3. **Carregadores Residenciais:** conhecidos como *home chargers* ou *Wallbox*, são dispositivos fixados na parede. Eles oferecem maior velocidade e segurança em comparação com os carregadores de emergência, tornando-se

uma solução preferida para o uso doméstico. Atualmente, esse tipo de carregamento é responsável por cerca de 80% de todas as recargas realizadas em veículos elétricos.

4. **Carregadores Comercial ou *Parking*:** Estes carregadores são muito similares aos residenciais. A maior diferença entre eles é a quantidade de recursos disponíveis no carregador e a robustez. Eles podem ser instalados tanto na área interna quanto externa e por conta da aplicação são projetados para suportar grande fluxo de veículos e até mesmo pequenos acidentes. Carregadores comerciais frequentemente possuem mais de uma saída para o carregamento, possibilitando carregar mais de um veículo ao mesmo tempo.
5. **Carregadores de Carga Rápida *DC FAST*:** Esses carregadores rápidos, também referidos como eletropostos, *Fast Charge* DC ou carregadores ultrarrápidos, são os mais potentes atualmente em operação e têm a capacidade de recarregar a bateria de um carro elétrico em apenas alguns minutos. São perfeitos para postos de serviço e reabastecimento, estradas e operadores de frota. Oferece energia já na forma de corrente contínua. No entanto, eles ainda dispõem de saída para carga em corrente alternada (CA), caso seja preciso ou desejado. Nem todos os carros elétricos podem ser carregados em corrente contínua (CC) em pontos de recarga rápida, já que isso demanda medidas de proteção extras e um gerenciamento preciso do fornecimento de energia para as baterias.

3.5 Energia Solar Fotovoltaica

Com o avanço da mobilidade elétrica no Brasil, a forma como os veículos elétricos são recarregados tornou-se um fator crucial na análise de viabilidade econômica e ambiental dessa tecnologia. Existem diferentes modalidades de recarga, cada uma com características específicas de custo, infraestrutura e impacto no sistema elétrico nacional. Entre as principais opções estão: a tarifa cheia, que utiliza diretamente a energia da rede convencional em qualquer horário; a geração distribuída noturna (GD Noite), em que o veículo é recarregado à noite com créditos energéticos oriundos da produção solar diurna; e a geração distribuída diurna (GD Dia), que possibilita o consumo direto da energia solar no momento da geração, geralmente durante o dia. Compreender essas alternativas é essencial para consumidores, empresas e formuladores de políticas públicas, pois elas influenciam diretamente no custo de uso, no retorno do investimento em veículos elétricos e na eficiência da transição energética no país.

3.5.1 Tarifa Cheia

No cenário de tarifa cheia, o consumidor recarrega seu veículo elétrico utilizando a rede elétrica convencional, pagando a tarifa residencial ou comercial vigente da distribuidora local. Essa tarifa inclui encargos como transmissão, distribuição, perdas técnicas e tributos, podendo variar de R\$ 0,80 a R\$ 1,20 por kWh em algumas regiões do Brasil (ANEEL, 2024). É o cenário mais oneroso, especialmente em horários de ponta, quando a demanda é mais alta e os custos de geração são maiores. Para quem roda grandes quilometragens mensalmente, essa

opção impacta diretamente no Custo Total de Propriedade (TCO) do veículo elétrico. Apesar disso, ainda pode ser mais vantajosa que combustíveis fósseis em algumas situações, considerando que o consumo médio de um veículo elétrico gira em torno de 6 a 8 km/kWh.

3.5.2 Geração Distribuída Noturna (GD Noite – excedente acumulado no sistema de compensação)

A geração distribuída noturna se refere à recarga feita à noite utilizando créditos energéticos acumulados por sistemas fotovoltaicos instalados no imóvel ou em modelo remoto (como consórcios e cooperativas solares). Esses créditos são gerados durante o dia e compensados na rede, permitindo uso posterior, inclusive à noite. Essa é uma alternativa bastante econômica, pois o consumidor praticamente elimina o custo da energia da recarga, arcando apenas com a tarifa mínima de disponibilidade ou eventual excedente não compensado. Com a Resolução Normativa 1.059/2023 da ANEEL, os sistemas de GD instalados até 2022 seguem o modelo de compensação integral até 2045, enquanto novos sistemas já sofrem a incidência de parte dos encargos (sobre a TUSD-Fio B, por exemplo). Ainda assim, o custo médio efetivo da recarga fica em torno de R\$ 0,20 a R\$ 0,40 por kWh, dependendo da capacidade de compensação da instalação.

3.5.3 Geração Distribuída Diurna (GD Dia – consumo direto do sistema fotovoltaico)

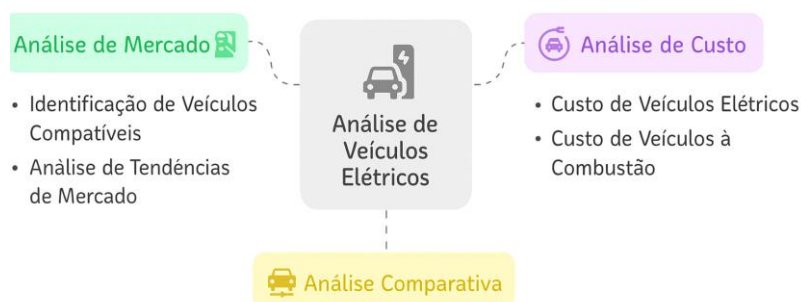
No modelo de geração distribuída diurna, o veículo é recarregado em tempo

real com a energia gerada por um sistema fotovoltaico local durante o período de insolação, ou seja, diretamente da produção do painel solar. É o cenário mais eficiente e sustentável em termos energéticos e econômicos, com o custo efetivo da energia podendo ser inferior a R\$ 0,15 por kWh, considerando apenas a depreciação e manutenção do sistema solar ao longo do tempo. No entanto, esse modelo exige disponibilidade do veículo para recarga durante o dia (em casa, empresa ou ponto com energia solar) e inversores com gestão inteligente de carga. Também é o modelo mais alinhado com a transição energética e as metas de descarbonização, já que evita perdas com transmissão e não gera crédito, otimizando o autoconsumo. A viabilidade é crescente no Brasil, especialmente nas regiões com alta irradiação solar como o Nordeste, Centro-Oeste e Norte.

4 METODOLOGIA

Apesar de o investimento inicial em veículos elétricos ser, em média, de 40% a 80% superior ao de modelos a combustão, os benefícios a longo prazo e o impacto ambiental positivo tornam esses veículos uma alternativa atrativa para o futuro da mobilidade. Para alcançar a aceitação do consumidor, faz-se necessária a padronização dos sistemas de análise, de modo a fornecer embasamento consistente aos resultados. Nesse contexto, o resumo do passo a passo adotado para a comparação entre veículos elétricos e a combustão pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma da abordagem metodológica



Fonte: Autoria própria (2025)

A seguir são detalhadas as etapas para a obtenção dos principais resultados desse trabalho.

4.1 Identificação de Veículos à Combustão Compatíveis

Nos últimos anos, o mercado brasileiro de veículos 100% elétricos tem crescido de forma acelerada, impulsionado por incentivos fiscais, avanços tecnológicos e maior conscientização ambiental por parte dos consumidores. Modelos como *Renault Kwid E-Tech*, *BYD Dolphin (Mini)* e *GWM Ora 3* têm conquistado espaço nas ruas e nos registros de emplacamento, consolidando-se como alternativas viáveis para o uso urbano e cotidiano.

Neste estudo, foram selecionados veículos elétricos com presença consolidada ou crescente no mercado de Palmas - TO, com base em critérios como disponibilidade, preço, especificações técnicas e proposta de uso. A amostra contempla diferentes categorias, abrangendo desde compactos urbanos até *hatches* médios e sedãs de alto padrão, o que possibilita uma análise comparativa mais ampla

e representativa.

A escolha dos veículos a combustão interna (gasolina) foi orientada por parâmetros de equivalência com os modelos elétricos selecionados. Foram considerados aspectos como faixa de preço, potência, torque, porte e finalidade de uso (urbano ou misto), a fim de assegurar comparações tecnicamente coerentes e evitar distorções oriundas da comparação entre categorias distintas.

A comparação entre os pares visa garantir que as análises ocorram entre veículos de porte semelhante, com propostas de uso urbano ou misto, minimizando discrepâncias que possam distorcer os resultados. Além disso, foram priorizados modelos com ampla disponibilidade no mercado brasileiro e informações técnicas acessíveis, o que contribui para maior confiabilidade dos dados e aplicabilidade prática dos resultados obtidos. A equivalência entre potência, torque e faixa de preço é essencial para uma avaliação justa da viabilidade financeira dos veículos elétricos frente aos seus concorrentes a combustão.

4.2 Modelagem da Estrutura

Para a realização da modelagem de custo total de propriedade (TCO), os dados dos veículos foram levantados a partir de fontes primárias e secundárias. Os valores de aquisição dos veículos elétricos e a combustão, referentes ao ano de 2025, foram obtidos por meio de consultas aos websites oficiais das montadoras, tabela Fipe, anúncios de concessionárias localizadas em Palmas-TO e portais especializados do setor automotivo.

As estimativas de depreciação anual de 6% para veículos a combustão e 9% para veículos elétricos, foram baseadas em estudos de mercado (Autodata, 2024). Os custos anuais de seguro foram estimados em aproximadamente 3% do valor atualizado do veículo, prática usual no mercado e compatível com médias observadas em 2025 para veículos populares (R\$ 2.200 a R\$ 2.500/ano), considerando perfis médios e cotações para Palmas-TO (Vrum, 2025; Smartia, 2023).

O IPVA foi calculado segundo as alíquotas vigentes no Tocantins, definidas pelo Código Tributário Estadual: 2% a 2,5% para automóveis até 100 HP e 3% a 3,5% para automóveis acima de 100 HP, aplicadas sobre o valor venal do veículo conforme tabela FIPE (FDR, 2025; SEFAZ-TO, 2025).

O custo de manutenção foi estimado com base nas informações fornecidas pelas montadoras, quando disponíveis, e em médias de mercado para cada tipo de motorização. Os dados de consumo de combustível (km/L) e consumo elétrico (kWh/km), juntamente com a autonomia dos veículos elétricos, foram obtidos nas especificações técnicas oficiais dos fabricantes.

Para o reajuste anual de insumos, adotou-se a projeção da ANEEL para 2025, que indica aumento médio de 6% nas tarifas de energia elétrica (ANEEL, 2025), e um reajuste de 6% ao ano para combustíveis, valor compatível com a volatilidade histórica de preços e utilizado em estudos econômicos de simulação de custos (IBP, 2024; InfoMoney, 2025).

Dessa forma, a modelagem do custo total de propriedade foi conduzida considerando um horizonte temporal de 15 anos e os seguintes parâmetros:

- Valor de aquisição;
- Depreciação anual linear: 6% ao ano para veículos a combustão e 9% para veículos elétricos;

- Seguro anual: estimado em 3% sobre o valor atualizado do veículo;
- IPVA anual: 2,05% sobre o valor atualizado do veículo;
- Custo de manutenção: aplicado proporcionalmente ao uso, com base no valor médio informado pelo fabricante dividido pela quilometragem mensal simulada;
- Reajuste anual de combustível e energia: estimado em 6% ao ano a partir do segundo ano;
- Consumo de combustível: baseado no consumo urbano médio do modelo a combustão, em km/L;
- Consumo elétrico: calculado com base na capacidade da bateria (kWh) e autonomia (km) do modelo elétrico. Com a modelagem dos custos estabelecida, a etapa seguinte da metodologia consiste em uma análise comparativa aprofundada para determinar a viabilidade financeira dos veículos elétricos frente aos modelos a combustão.

Para os veículos a combustão, o custo por quilômetro rodado (R\$/km) é determinado pela seguinte equação:

$$\text{Equação 1: } C_{km} = \frac{P_{comb} * Cap.}{Cap * C_{urb.}}$$

Em que:

- C_{km} = custo por quilômetro (R\$/km);
- P_{comb} = preço do combustível (R\$/L);
- Cap = capacidade do Litro
- C_{urb} = consumo urbano do veículo (km/L).

Para os veículos elétricos, o custo por quilômetro considera três cenários tarifários e é calculado conforme a equação 2:

$$\text{Equação 2: } C_{km} = \frac{T_{ele} * Cap}{A}$$

Em que:

- T_{ele} = tarifa de energia elétrica (R\$/kWh);
- Cap = capacidade da bateria (kWh);
- A = autonomia do veículo (km).

Foram considerados os seguintes valores de tarifa:

- Tarifa cheia (R\$/kWh);
- Tarifa em UC com SFCR e carregamento noturno (R\$/kWh);
- Tarifa em UC com SFCR e carregamento diurno (10% do valor noturno).

4.3 Análise Comparativa de Viabilidade Financeira

Na terceira etapa, os custos totais acumulados de cada veículo foram calculados ano a ano e comparados. Foi estimada a economia anual do veículo elétrico em relação ao modelo a combustão para os três cenários de recarga.

A partir disso, foi calculado o fluxo de caixa acumulado, considerando como investimento inicial a diferença de preço entre os dois veículos. O fluxo de caixa do primeiro ano é definido por:

$$\text{Equação 3: } FC_1 = -(V_{ele} - V_{comb}) + E_n$$

E dos anos seguintes como:

$$\text{Equação 4: } FC_n = -(FC_{n-1} + E_n)$$

Em que:

- FC_n = é o fluxo de caixa acumulado no ano n .
- V_{ele} , V_{comb} = são os valores iniciais dos veículos elétrico e a combustão
- E_n = representa a economia anual no ano n .

O ponto de *payback* foi caracterizado como o período em que o fluxo de caixa acumulado atingiu o equilíbrio econômico, tornando-se positivo. Esse marco indicou o momento em que o veículo elétrico passou a apresentar retorno financeiro integral, superando o desempenho econômico do veículo a combustão.

5 RESULTADOS

5.1 Análise do Mercado de Veículos 100% Elétricos e Identificação de Veículos à Combustão Compatíveis

Realizou-se uma análise comparativa entre seis veículos escolhidos com o objetivo de verificar a viabilidade econômica da substituição de um veículo convencional por um elétrico. O estudo considerou um usuário residente na cidade de Palmas, estado do Tocantins, que utilizava o carro para deslocamentos cotidianos.

Foram definidos os seguintes modelos elétricos: *Renault Kwid E-Tech*, *BYD Dolphin Mini*, *BYD Dolphin*, *GWM Ora 3*, *BMW iX M60* e *BYD Seal*, que representam desde veículos compactos até SUVs de grande porte. Para cada um deles, foram selecionados os respectivos pares a combustão: *Renault Kwid 1.0 Intense*, *Fiat Argo Drive S-Design 1.3 AT*, *Peugeot 208 Griffe 1.6 16V*, *Peugeot 208 GT 1.6 THP*, *BMW X5 M Competition* e *Volkswagen Jetta GLI*. A correspondência entre os pares priorizou similaridade de porte, desempenho e faixa de preço, visando garantir uma análise consistente em termos de custo e viabilidade financeira. A Tabela 3 e 4 apresenta os

pares de veículos utilizados na análise, reunindo dados técnicos como potência, torque, autonomia ou consumo, capacidade energética e valores médios de mercado, com ênfase no contexto regional de Palmas – TO.

Tabela 3 - Veículos Elétricos Selecionados

Elétrico	Potência (cv)	Torque (kgfm)	Autonomia km	Cap. Da bat. kWh	Preço Médio
Renault Kwid E-Tech	65	11,5	185	26,8	R\$ 101.153,00
BYD Dolphin Mini	75	13,8	280	38	R\$ 120.800,00
BYD Dolphin	95	18,3	291	44,9	R\$ 159.777,00
GWM Ora 3	171	25,5	232	48	R\$ 159.000,00
BMW iX M60	619	103,9	565	112	R\$ 1.142.040,00
BYD Seal	530	60,2	372	82,5	R\$ 290.100,00

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 4 - Veículos à Combustão Selecionados

Combustão	Potência (cv)	Torque (kgfm)	Consumo km/l	Cap. Do Tanque. L	Preço Médio
Renault Kwid 1.0 Intense	68	9,4	38	15,3	R\$ 70.729,00
Fiat Argo Drive S-Design 1.3 AT	98	13,2	47	8,9	R\$ 82.990,00
Peugeot 208 Griffe 1.6 16V	115	16,1	47	8,1	R\$ 109.990,00
Peugeot 208 GT 1.6 THP	166	24,5	55	12	R\$ 119.990,00
BMW X5 M Competition	605	76,5	85	10,4	R\$ 1.050.000,00
Volkswagen Jetta GLI	231	35,7	50	10,9	R\$ 251.000,00

Fonte: Autoria própria (2025)

Ao observar os modelos analisados, é possível identificar tendências claras que evidenciam as vantagens dos veículos elétricos, mas também os desafios ainda

existentes para sua plena consolidação no mercado brasileiro.

No que se refere à eficiência energética, os veículos elétricos se destacam amplamente. A ausência de motor a combustão e transmissão convencional resulta em menores perdas mecânicas, o que se traduz em maior aproveitamento da energia fornecida. Estudos apontam que veículos elétricos convertem cerca de 85% da energia elétrica da bateria em movimento, enquanto os modelos a combustão têm eficiência de apenas 20 a 30% (OLIVEIRA; COSTA, 2020). Essa superioridade é refletida diretamente na economia operacional, uma vez que o custo por quilômetro rodado de um EV é substancialmente inferior ao de um veículo tradicional, especialmente em contextos urbanos, onde a regeneração de energia durante frenagens otimiza ainda mais o consumo.

Em relação à autonomia, os modelos elétricos analisados apresentam variação entre 185 km e 565 km com uma carga completa, sendo valores compatíveis com o uso diário da maioria dos usuários urbanos e, em alguns casos, viáveis também para viagens intermunicipais. Por outro lado, os veículos a combustão continuam oferecendo maior alcance total, especialmente pela capilaridade da infraestrutura de abastecimento, fator ainda limitante para os elétricos no Brasil. Isso reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à expansão de estações de recarga rápida e incentivos à instalação domiciliar de carregadores.

Outro ponto de destaque refere-se ao custo de aquisição. Os veículos elétricos ainda possuem preços significativamente superior aos modelos equivalentes a combustão, com diferenças variando entre R\$ 30 mil e R\$ 100 mil, conforme demonstrado na análise entre os pares estudados. Essa diferença de preço, porém, pode ser compensada no médio e longo prazo pela economia com combustível e

manutenção. De acordo com a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE, 2024), a manutenção de um veículo elétrico é, em média, 60% mais barata, em função da ausência de óleo de motor, correias, escapamento e outros componentes mecânicos sujeitos a desgaste, visto na tabela 5.

Tabela 5 - Custo de Manutenção (100.000 km) - a cada 100.000km

Elétrico	Custo de Man. (100.000 km)	Combustão	Custo de Man. (100.000 km)
<i>Renault Kwid E-Tech</i>	R\$ 300,00	<i>Renault Kwid 1.0 Intense</i>	R\$ 451,00
<i>BYD Dolphin Mini</i>	R\$ 310,00	<i>Fiat Argo Drive S-Design 1.3 AT</i>	R\$ 316,00
<i>BYD Dolphin</i>	R\$ 400,00	<i>Peugeot 208 Griffe 1.6 16V</i>	R\$ 600,00
<i>GWM Ora 3</i>	R\$ 740,00	<i>Peugeot 208 GT 1.6 THP</i>	R\$ 719,00
<i>BMW iX M60</i>	R\$2.217,60	<i>BMW X5 M Competition</i>	R\$ 2.500,00
<i>BYD Seal</i>	R\$ 770,00	<i>Volkswagen Jetta GLI</i>	R\$ 1.000,00

Fonte: Autoria própria (2025)

Além da questão econômica, os veículos elétricos trazem consigo benefícios ambientais significativos. A emissão zero de poluentes locais contribui para a melhoria da qualidade do ar nas cidades, fator relevante especialmente em regiões metropolitanas com alta densidade de tráfego. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), a adoção em larga escala dos veículos elétricos pode reduzir substancialmente as emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes, sendo uma peça-chave na transição energética global.

Em termos de desempenho, os EVs apresentam vantagem em torque instantâneo, resultando em respostas mais ágeis e condução mais confortável,

especialmente no trânsito urbano. Mesmo em modelos de entrada, como o *BYD Dolphin Mini* e o *Renault Kwid E-Tech*, essa característica se destaca frente aos correspondentes a combustão. Essa constatação reforça que a eletrificação não está restrita a modelos de luxo, mas também está acessando segmentos populares, embora com um custo inicial ainda elevado.

Diante desse panorama, constata-se que os veículos elétricos apresentam um conjunto de vantagens técnicas e ambientais que os posicionam como solução promissora e sustentável para o futuro da mobilidade. Todavia, a adoção em massa ainda depende de fatores estruturais, como a ampliação da infraestrutura de recarga e a redução do custo das baterias, além de incentivos fiscais e políticas públicas que estimulem sua acessibilidade.

5.2 Análise de custo de Veículos 100% Elétricos e à Combustão

A análise comparativa entre veículos 100% elétricos e seus correspondentes a combustão revelou um padrão recorrente de vantagem financeira dos modelos elétricos ao longo dos anos, especialmente quando considerados os cenários de recarga mais econômicos, como a geração distribuída (GD). Embora o investimento inicial dos modelos elétricos ainda seja superior, essa diferença tende a ser compensada com o tempo, dependendo do perfil de uso do consumidor.

Dando continuidade a essa análise, serão apresentadas, a seguir, as comparações diretas entre os seguintes pares de veículos:

- Comparação 1 - *Renault Kwid E-Tech* vs *Renault Kwid 1.0 Intense*
- Comparação 2 - *BYD Dolphin Mini* vs *Fiat Argo Drive S-Design 1.3*

- Comparação 3 - *BYD Dolphin vs Peugeot 208 Griffe 1.6 16V*
- Comparação 4 - *GWM Ora 3 vs Peugeot 208 GT 1.6 TH*
- Comparação 5 - *BMW iX M60 vs BMW X5 M Competition*
- Comparação 6 - *BYD Seal vs Volkswagen Jetta GLI*

Cada comparação foi realizada considerando diferentes cenários de recarga, custos de aquisição, manutenção, economia de abastecimento e fluxo de caixa projetado ao longo de até 15 anos de uso, permitindo uma avaliação completa da viabilidade financeira de cada modelo elétrico frente ao seu concorrente a combustão. A viabilidade econômica da mobilidade elétrica depende não apenas do custo inicial de aquisição, mas também da estratégia de recarga adotada. A forma como a energia é fornecida ao veículo, seja pela rede elétrica convencional, por sistemas de geração distribuída noturna ou pela recarga com energia solar diurna impacta diretamente no tempo de retorno do investimento, ou *payback*. Neste capítulo, apresentam-se os resultados da análise comparativa entre veículos elétricos e seus equivalentes a combustão, considerando três diferentes cenários de recarga: tarifa cheia (sem geração própria), geração distribuída durante a noite (GD Noite) e geração distribuída durante o dia (GD Dia). A seguir, detalham-se os efeitos de cada cenário sobre o tempo necessário para que o investimento em um veículo elétrico se iguale, em termos financeiros, ao de um veículo a combustão.

5.2.1 Cenário 1: Recarga com Tarifa Cheia

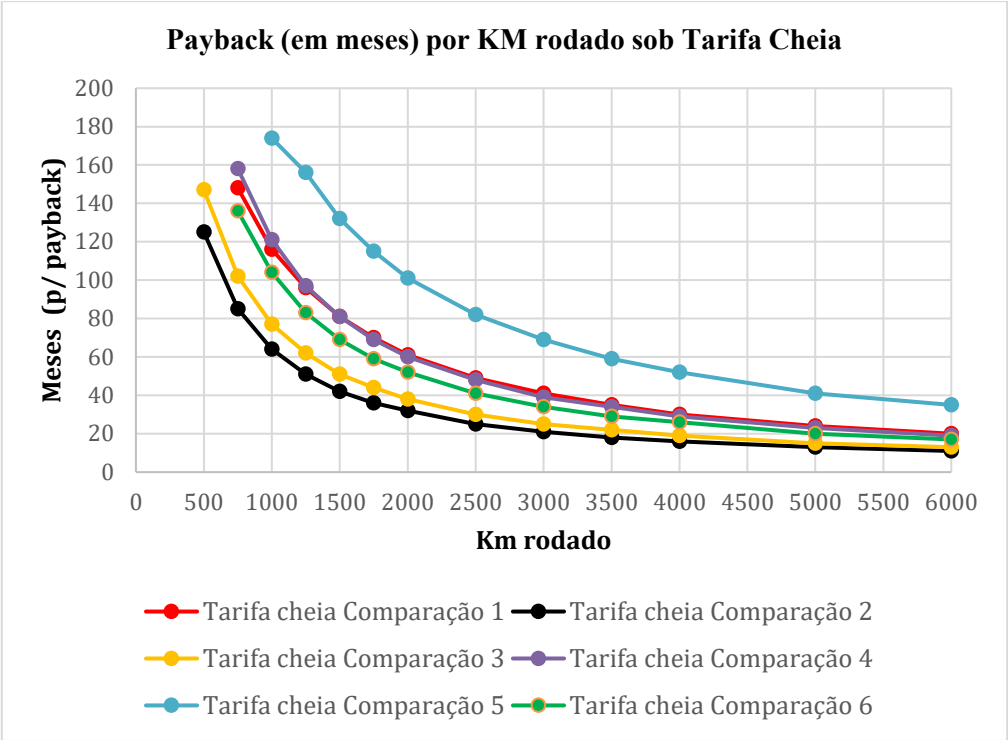
No cenário de abastecimento com tarifa cheia, observa-se que o tempo de retorno do investimento (*payback*) para veículos elétricos, quando comparado aos

modelos equivalentes a combustão, varia de acordo com a quilometragem mensal rodada e o diferencial de custo operacional entre os pares analisados. De acordo com os dados apresentados na Figura 8 e na tabela 6, os prazos para atingir o ponto de equilíbrio situam-se entre 17 e 174 meses, ou seja, entre aproximadamente 1,5 e 14,5 anos. Essa ampla variação decorre, principalmente, da eficiência energética dos modelos, custo de aquisição, preço do kWh e padrão de uso do veículo. Por exemplo, na comparação 2, o retorno ocorre em cerca de 11 meses ao rodar 6.000 km/mês, demonstrando grande viabilidade para frotistas ou motoristas que percorrem longas distâncias. Em contrapartida, a comparação 5 apresenta *payback* mais demorado, superando os 14 anos em quilometragens inferiores a 1.000 km/mês, evidenciando que o custo inicial elevado do modelo elétrico só se justifica com uma alta intensidade de uso.

De maneira geral, os resultados demonstram que o ponto de equilíbrio médio para os seis pares de veículos tende a se estabilizar entre 8 e 12 anos (96 a 144 meses), o que torna o investimento em veículos elétricos pouco atrativo sob tarifa cheia para usuários com baixo uso mensal, mas bastante competitivo em situações de alta demanda. Esses dados estão em consonância com análises anteriores de viabilidade econômica de eletrificação da frota, como apontado por Santos et al. (2023), que destacam o custo do kWh e o perfil de uso como variáveis determinantes na economia do modelo elétrico. Além disso, estudos como o de Silva e Lima (2022) reforçam que o elevado custo da energia elétrica em horário convencional pode comprometer a atratividade dos modelos elétricos caso não haja estratégias de compensação, como recarga fora de ponta ou uso de geração distribuída. Dessa forma, o presente cenário reforça a importância de políticas públicas de incentivo, bem como o uso de fontes alternativas para recarga, como a energia solar, para viabilizar

economicamente a transição para a eletromobilidade no Brasil.

Figura 7 - Payback por quilômetro rodado — recarga tarifa cheia (em meses)



Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 6 - Payback por quilômetro rodado — recarga tarifa cheia (em meses)

Km rodado p/ mês	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6
250						
500		125	147			
750	148	85	102	158		136
1000	116	64	77	121	174	104
1250	96	51	62	97	156	83
1500	81	42	51	81	132	69
1750	70	36	44	69	115	59
2000	61	32	38	60	101	52
2500	49	25	30	48	82	41
3000	41	21	25	39	69	34
3500	35	18	22	34	59	29
4000	30	16	19	29	52	26
5000	24	13	15	23	41	20
6000	20	11	13	19	35	17

Fonte: Autoria própria (2025)

5.2.2 Cenário 2: Geração Distribuída – Recarga Noturna (GD Noite)

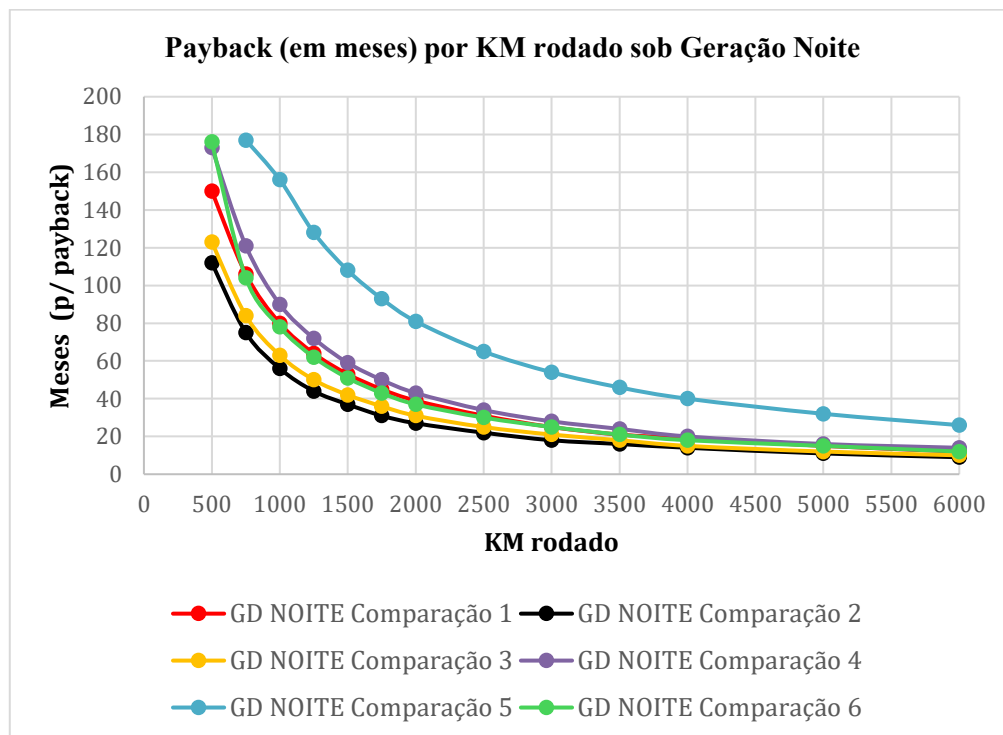
Ao considerar o cenário de abastecimento via geração distribuída noturna, observa-se uma significativa melhora nos prazos de retorno do investimento em veículos elétricos, em comparação ao cenário de recarga com tarifa cheia. Conforme demonstrado na figura 8 e na tabela 7, os tempos de retorno para os veículos elétricos variam entre 9 e 176 meses, com redução substancial do tempo necessário para que o investimento se torne vantajoso, especialmente em quilometragens moderadas e altas. Por exemplo, na Comparação 2, o *payback* é atingido em apenas 9 meses ao se percorrer 6.000 km/mês, e em 16 meses com 3.000 km/mês. Já na Comparação 5, mesmo com seu elevado custo inicial, a economia gerada pela energia solar noturna permite alcançar o equilíbrio em 26 meses com 6.000 km/mês, em contraste com os 108 meses exigidos para a mesma quilometragem sob tarifa cheia. A Comparação 6, por sua vez, que apresentava um retorno muito distante no cenário convencional (174 meses), reduz esse prazo para 12 meses, tornando o investimento consideravelmente mais atrativo.

Essa tendência de antecipação do *payback* é reflexo direto do menor custo por kWh associado à geração distribuída, mesmo no período noturno, e evidencia o papel estratégico das fontes renováveis no barateamento dos custos operacionais dos veículos elétricos. Em termos médios, os retornos sob GD Noite ficam concentrados entre 12 e 40 meses para quem percorre entre 2.000 e 4.000 km/mês, o que representa um ganho econômico importante para usuários com esse perfil. Além disso, há uma redução sensível na disparidade entre os pares analisados, indicando

que a viabilidade se torna mais homogênea com o uso de fontes renováveis, o que favorece a democratização do acesso à eletromobilidade. Segundo estudos como os de Almeida e Rocha (2021), a geração distribuída tende a ser o principal vetor de descentralização da matriz elétrica automotiva, reduzindo o tempo de retorno e ampliando o apelo econômico da eletrificação.

Portanto, os resultados demonstram que a utilização de geração solar fotovoltaica para recarga, mesmo à noite, representa um avanço significativo na viabilidade financeira dos veículos elétricos, tornando-se um fator chave para sua adoção em larga escala, especialmente em frotas comerciais, motoristas por aplicativo e consumidores com uso intensivo diário.

Figura 8 - Payback por quilômetro rodado — recarga noturna (em meses)



Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 7 - Payback por quilômetro rodado — recarga noturna (em meses)

<i>Km rodado p/ mês</i>	<i>Comp. 1</i>	<i>Comp. 2</i>	<i>Comp. 3</i>	<i>Comp. 4</i>	<i>Comp. 5</i>	<i>Comp. 6</i>
250						
500	150	112	123	173		176
750	106	75	84	121	177	104
1000	80	56	63	90	156	78
1250	64	44	50	72	128	62
1500	53	37	42	59	108	51
1750	45	31	36	50	93	43
2000	39	27	31	43	81	37
2500	31	22	25	34	65	30
3000	25	18	21	28	54	25
3500	21	16	18	24	46	21
4000	19	14	15	20	40	18
5000	15	11	12	16	32	15
6000	12	9	10	14	26	12

Fonte: Autoria própria (2025)

5.2.3 Geração Distribuída – Recarga Diurna (GD Dia)

O cenário de recarga com geração distribuída durante o dia (GD DIA) apresenta os melhores indicadores de retorno financeiro entre os três modelos analisados. A economia proporcionada pela recarga solar diurna, que ocorre no mesmo período em que a produção fotovoltaica está em seu pico, permite aos veículos elétricos alcançarem tempos de *payback* significativamente reduzidos, reforçando sua viabilidade econômica, conforme a figura 9 e a tabela 8. Na análise comparativa, observam-se retornos entre 9 e 131 meses, sendo possível alcançar o equilíbrio financeiro em menos de dois anos mesmo com quilometragens mensais a partir de 1.000 km, o que representa um marco expressivo na adoção da eletromobilidade.

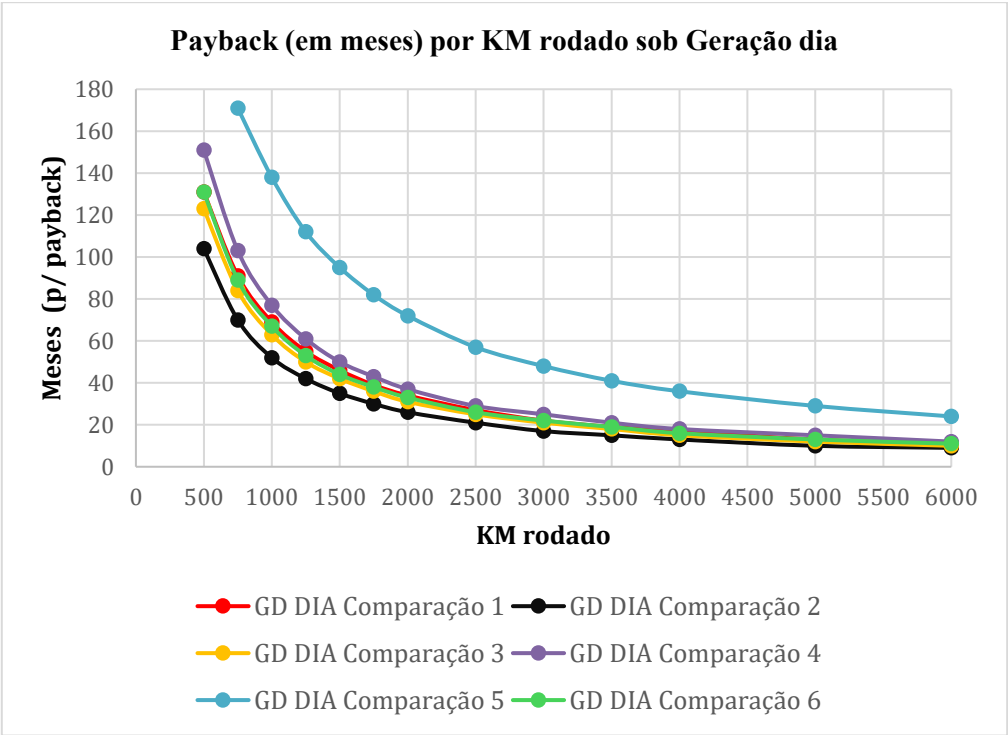
Destaca-se, por exemplo, que na Comparação 2, o investimento em veículo elétrico se paga em apenas 9 meses com 6.000 km rodados/mês, e 13 meses com 4.000 km/mês. Já na Comparação 1, mesmo com valores mais elevados, o retorno se

dá em 11 meses para 6.000 km e 17 meses para 4.000 km mensais. A Comparação 5, que apresentava *payback* de 176 meses na tarifa cheia, reduz esse número para 24 meses, representando uma economia de mais de 12 anos no prazo de retorno. Em todos os pares analisados, verifica-se que a partir de 2.000 km/mês, o *payback* ocorre, em média, entre 26 e 72 meses, com destaque para as Comparações 2, 3 e 6, que se situam abaixo de 40 meses em grande parte dos cenários. Tais números evidenciam a elevada sinergia entre a geração fotovoltaica diurna e o uso de veículos elétricos, sobretudo quando há consumo diretamente associado à produção local de energia.

Este desempenho reforça o argumento de que a utilização da energia solar no período diurno é o cenário ideal para maximizar o retorno sobre o investimento em eletromobidade. O aproveitamento direto da produção solar reduz perdas com armazenamento ou compensação noturna, e permite tarifas ainda mais favoráveis nos modelos de autoconsumo. Como discutem Silva et al. (2023), a geração diurna elimina a dependência de tarifas elevadas de distribuidoras e possibilita um modelo de mobilidade mais sustentável e descentralizado. Além disso, este modelo se mostra mais resiliente frente às oscilações tarifárias e à inflação energética, agregando segurança econômica ao consumidor.

Dessa forma, a recarga diurna com geração própria solar desponta como o cenário mais competitivo para a eletrificação veicular, especialmente para usuários com rotinas diurnas ou para frotas que retornam à base diariamente. Esse resultado indica que políticas públicas de incentivo à geração distribuída e à instalação de sistemas fotovoltaicos residenciais ou comerciais podem ter um papel estratégico fundamental na aceleração da transição energética no setor de transportes.

Figura 9 - Payback por quilômetro rodado — recarga diurno (em meses)



Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 8 - Payback por quilômetro rodado — recarga diurno (em meses)

Km rodado p/ mês	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6
250						
500	131	104	123	151		131
750	91	70	84	103	171	89
1000	69	52	63	77	138	67
1250	55	42	50	61	112	53
1500	46	35	42	50	95	44
1750	39	30	36	43	82	38
2000	34	26	31	37	72	33
2500	27	21	25	29	57	26
3000	22	17	21	25	48	22
3500	19	15	18	21	41	19
4000	17	13	15	18	36	16
5000	13	10	12	15	29	13
6000	11	9	10	12	24	11

Fonte: Autoria própria (2025)

5.2.4 Resultados e Discursões

As Tabelas 9 a 14 - Tempo de retorno de investimento, apresentam a evolução do tempo de retorno do investimento (*payback*) para os seis pares de veículos analisados, considerando simultaneamente os três cenários de recarga: tarifa cheia, geração distribuída no período noturno (GD Noite) e geração distribuída no período diurno (GD Dia). Com o intuito de complementar a análise das tabelas, a planilha de desenvolvimento encontra-se no Apêndice A. A inclusão dessa planilha possibilita uma visualização mais clara e detalhada dos dados numéricos utilizados, permitindo ao leitor compreender de forma precisa a evolução do tempo de retorno do investimento (*payback*) em cada cenário e comparação realizada.

Em todos os casos, observa-se que a adoção da GD, especialmente no período diurno, proporciona reduções expressivas no tempo de *payback* em relação à recarga sob tarifa cheia. Essa diferença é mais acentuada nas faixas de maior quilometragem mensal, nas quais o custo operacional representa parcela significativa do gasto total com o veículo, ampliando a economia proporcionada pelo menor custo do kWh.

Comparando os cenários, verifica-se que a GD Noite apresenta reduções médias de 25% a 45% no tempo de retorno, enquanto a GD Dia proporciona reduções ainda mais significativas, variando de 35% a 60% em relação à tarifa cheia. A análise individual das tabelas revela diferenças relevantes entre os pares:

- Comparações 1 e 2: Apresentam os maiores ganhos relativos com GD, especialmente para usuários de alta quilometragem, alcançando *playbacks* inferiores a 18 meses em GD Dia.
- Comparações 3 e 4: Demonstram benefício consistente, porém menos expressivo, devido à diferença menor no custo de aquisição entre as versões

elétrica e a combustão.

- Comparação 5: É o caso mais impactado pela GD, pois parte de um *payback* muito elevado na tarifa cheia e passa a valores competitivos com a geração própria.
- Comparação 6: Apresenta comportamento semelhante à Comparação 2, com grande sensibilidade à redução do custo de recarga, atingindo retorno inferior a um ano para altas quilometragens em GD Dia.

Tabela 9 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 1

<i>Km rodado p/ mês</i>	<i>Tarifa Cheia</i>	<i>GD Noite</i>	<i>GD Dia</i>
250			
500		150	131
750	148	106	91
1000	116	80	69
1250	96	64	55
1500	81	53	46
1750	70	45	39
2000	61	39	34
2500	49	31	27
3000	41	25	22
3500	35	21	19
4000	30	19	17
5000	24	15	13
6000	20	12	11

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 10 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 2

<i>Km rodado p/ mês</i>	<i>Tarifa Cheia</i>	<i>GD Noite</i>	<i>GD Dia</i>
250			
500	125	112	104
750	85	75	70
1000	64	56	52
1250	51	44	42
1500	42	37	35
1750	36	31	30
2000	32	27	26
2500	25	22	21
3000	21	18	17
3500	18	16	15
4000	16	14	13
5000	13	11	10
6000	10	9	9

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 11 -Tempo de retorno de investimento – Comparação 3

<i>Km rodado p/ mês</i>	<i>Tarifa Cheia</i>	<i>GD Noite</i>	<i>GD Dia</i>
250			
500	147	133	123
750	102	90	84
1000	77	68	63
1250	62	54	50
1500	51	45	42
1750	44	38	36
2000	38	33	31
2500	30	26	25
3000	25	22	21
3500	22	19	18
4000	19	16	15
5000	15	13	12
6000	13	11	10

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 12 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 4

<i>Km rodado p/ mês</i>	<i>Tarifa Cheia</i>	<i>GD Noite</i>	<i>GD Dia</i>
250			
500		173	151
750	158	121	103
1000	121	90	77
1250	97	72	61
1500	81	59	50
1750	69	50	43
2000	60	43	37
2500	48	34	29
3000	39	28	25
3500	34	24	21
4000	29	20	18
5000	23	16	15
6000	19	14	12

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 13 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 5

<i>Km rodado p/ mês</i>	<i>Tarifa Cheia</i>	<i>GD Noite</i>	<i>GD Dia</i>
250			
500		173	151
750	158	121	103
1000	121	90	77
1250	97	72	61
1500	81	59	50
1750	69	50	43
2000	60	43	37
2500	48	34	29
3000	39	28	25
3500	34	24	21
4000	29	20	18
5000	23	16	15
6000	19	14	12

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 14 - Tempo de retorno de investimento – Comparação 6

<i>Km rodado p/ mês</i>	<i>Tarifa Cheia</i>	<i>GD Noite</i>	<i>GD Dia</i>
250			
500		173	151
750	158	121	103
1000	121	90	77
1250	97	72	61
1500	81	59	50
1750	69	50	43
2000	60	43	37
2500	48	34	29
3000	39	28	25
3500	34	24	21
4000	29	20	18
5000	23	16	15
6000	19	14	12

Fonte: Autoria própria (2025)

A análise da viabilidade econômica, focada nos cenários de recarga doméstica (tarifa cheia, GD Noite e GD Dia), evidencia a importância crucial do menor custo por kWh para a atratividade dos veículos elétricos. Embora a recarga em eletropostos públicos e rápidos (*DC Fast*) não tenha sido incluída nos cálculos de *payback*, é fundamental reconhecer sua função estratégica. Diferentemente da recarga doméstica, que busca a economia operacional, os eletropostos públicos servem como

infraestrutura de conveniência, essenciais para viagens de longa distância e para mitigar a "ansiedade de autonomia" dos motoristas. O custo por kWh nesses pontos de recarga é geralmente mais elevado do que o da tarifa residencial, o que tornaria o retorno do investimento mais lento se fossem a única forma de abastecimento. No entanto, sua existência e expansão são vitais para que a mobilidade elétrica se torne uma alternativa prática e confiável para todos os perfis de uso, complementando a economia proporcionada pela recarga residencial.

De maneira geral, os resultados indicam que a sinergia entre alta utilização do veículo e recarga por geração distribuída é determinante para tornar economicamente viável a aquisição de um modelo elétrico em Palmas – TO. As tabelas evidenciam que, à medida que a quilometragem mensal aumenta, as curvas de GD Dia e GD Noite se distanciam progressivamente da curva de tarifa cheia, antecipando o retorno e elevando a competitividade do modelo elétrico frente ao equivalente a combustão.

Embora a análise de viabilidade tenha considerado um reajuste linear de 6% ao ano para combustíveis e energia, é fundamental reconhecer a volatilidade inerente a esses mercados. Nesse contexto, admite-se que, mesmo diante de variações distintas nas taxas de reajuste, o impacto sobre o tempo de retorno do investimento tenderia a ser limitado, não alterando de forma substancial os resultados obtidos. Isso ocorre porque, apesar de o reajuste representar um elemento essencial da análise, a diferença relativa entre os custos de abastecimento com combustíveis fósseis e com a recarga elétrica tende a se manter, preservando a vantagem do veículo elétrico. Dessa forma, a recarga via geração distribuída, especialmente a realizada no período diurno, consolida-se como alternativa capaz de garantir maior estabilidade e previsibilidade de custos ao proprietário, reduzindo a exposição às oscilações dos mercados energético e de combustíveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou a viabilidade econômico-financeira da aquisição de veículos 100% elétricos em Palmas – TO, em comparação com veículos a combustão de características equivalentes. Os resultados evidenciaram que, embora a eletromobilidade enfrente desafios relacionados ao preço de aquisição e à infraestrutura de recarga, já existem cenários em que a sua adoção se mostra vantajosa.

A diferença de custo inicial entre veículos elétricos e a combustão foi identificada como um dos principais entraves, situando-se, em média, entre 50% e 80%. Esse acréscimo impacta diretamente no tempo de retorno do investimento, especialmente quando considerada a recarga convencional em tarifa cheia, cenário no qual o payback variou de 8 a 12 anos, podendo ultrapassar 14 anos em perfis de baixa quilometragem mensal. Assim, em condições tradicionais de recarga, a competitividade financeira dos veículos a combustão permanece maior no curto prazo.

Por outro lado, os cenários de geração distribuída demonstraram ganhos significativos de viabilidade. A recarga em horário noturno com uso de energia solar reduziu o tempo de retorno em até 45%, enquanto a recarga diurna apresentou-se como a condição mais favorável, diminuindo o *payback* em até 60% em relação à tarifa cheia. Nesses casos, foram identificados retornos entre 2 e 6 anos para usuários com quilometragem mensal acima de 2.000 km, e em perfis de alta utilização foi possível observar prazos inferiores a 24 meses, demonstrando elevada atratividade econômica.

Esses resultados permitem concluir que a estratégia de recarga e o perfil de utilização são fatores determinantes para a viabilidade econômico-financeira dos

veículos elétricos. Usuários que percorrem longas distâncias mensais e que contam com sistemas de geração distribuída possuem condições muito mais favoráveis para que o investimento seja compensado em prazo relativamente curto.

Para além dos aspectos econômicos, é importante ressaltar os benefícios ambientais e sociais que a eletromobilidade proporciona. A redução das emissões de gases de efeito estufa e de poluentes locais, somada à integração da mobilidade elétrica com fontes renováveis, representa um avanço importante para a construção de um sistema de transporte mais sustentável e alinhado às metas globais de descarbonização.

Portanto, embora o custo inicial elevado e a infraestrutura de recarga ainda se apresentem como barreiras relevantes, os veículos elétricos já configuram uma alternativa viável em cenários específicos, principalmente quando associados à geração distribuída e a perfis de maior utilização. Dessa forma, sua adoção em Palmas – TO pode ser entendida não apenas como uma decisão ambientalmente responsável, mas também como uma opção economicamente sólida em condições favoráveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMNESTY INTERNATIONAL. **Time to Recharge: Corporate Action and Inaction on Cobalt and Human Rights in the Democratic Republic of the Congo**. Londres: AI, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Formulário de autorização. 2023**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 20 dez. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **InfoTarifa: reajuste médio de 3,5% nas tarifas de energia elétrica em 2025. Agência Infra, 7 abr. 2025**. Disponível em: <https://www.agenciainfra.com/>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Baterias de lítio de veículos eletrificados podem ser até 100% recicladas. 2024**. Disponível em: <https://abve.org.br/baterias-de-veiculos-eletrificados-podem-ser-100-recicladas/>. Acesso em: 1 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Emplacamentos de veículos eletrificados crescem no Brasil em 2024**. Disponível em: <https://www.abve.org.br>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Infraestrutura de recarga acelera no país e apresenta crescimento de 179%. 2024**. Disponível em: <https://abve.org.br/infraestrutura-de-recarga-acelera-no-pais-e-apresenta-crescimento-de-179/>. Acesso em: 12 dez. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Presidente da ABVE destaca momento histórico do mercado brasileiro da eletromobilidade. 2024**. Disponível em: <https://abve.org.br/presidente-da-abve-destaca-momento-historico-do-mercado-brasileiro-da-eletromobilidade/>. Acesso em: 2 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Relatório Anual 2024: Panorama dos Veículos Elétricos no Brasil. São Paulo: ABVE, 2024**. Disponível em: <https://abve.org.br>. Acesso em: 20 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE). **Eletrificados seguem crescendo no semestre e se consolidam na faixa de 8% de participação de mercado. Disponível em: https://abve.org.br/eletrificados-seguem-crescendo-no-semester-e-se-consolidam-na-faixa-de-8-de-participacao-de-mercado/**. Acesso em: 15 jun. 2025.

AUTOPAPO. **IPVA Tocantins 2025: calendário, desconto de 10% para pagamento à vista ou parcelado em até 10 vezes. AutoPapo, jan. 2025**. Disponível em: <https://autopapo.com.br>. Acesso em: 12 abr. 2025.

BALHESSA, Mauro. **58% dos automóveis fabricados no Brasil devem ser híbridos e elétricos até 2030. MotorShow, 17 mar. 2024**. Disponível em: <https://motorshow.com.br/58-dos-automoveis-fabricados-no-brasil-devem-ser-hibridos-e-eletricos-ate-2030/>. Acesso em: 20 dez. 2024.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. Boletim Setorial, n. 33, 2010.**

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. 2012. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.**

BATTERY UNIVERSITY. **Types of Lithium-ion Batteries. Disponível em: <https://batteryuniversity.com>. Acesso em: jun. 2025.**

BLOOMBERGNEF. **Battery Price Survey. Bloomberg, 2023.**

BLOOMBERGNEF. **Battery Price Survey 2024. Bloomberg New Energy Finance, 2024.**

BYD. **Blade Battery: Technology White Paper. Shenzhen: BYD Auto Co., 2023.**

CAMPOS, Geraldo. **Vendas de gasolina, diesel e etanol cresceram em 2023, diz ANP. Poder360, 1 fev. 2024. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/energia/vendas-de-gasolina-diesel-e-etanol-cresceram-em-2023-diz>. Acesso em: 8 jan. 2025.**

CANO, Z. P. et al. **Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets. *Nature Energy*, v. 3, n. 4, p. 279-289, 2018.**

CÉSAR, Julio. **Buscas por carros elétricos no Brasil crescem com impulso de chinesas. *InsideEVs Brasil*, 30 jan. 2025. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/749110/pesquisa-interesse-brasileiros-carros-eletricos/>. Acesso em: 1 fev. 2025.**

CHEN, Y. et al. **Thermal behavior and stability of LFP and NMC lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 2021.**

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Governo zera imposto de importação para carros elétricos. Brasília: CNT, 2015. Disponível em: <https://www.cnt.org.br>. Acesso em: 15 jun. 2025.**

DYNA. **História do automóvel: descubra qual foi o primeiro carro no Brasil. 19 dez. 2024. Disponível em: <https://dyna.com.br/historia-do-automovel-descubra-qual-foi-o-primeiro-carro-no-brasil/>. Acesso em: 20 out. 2024.**

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Perspectivas para o mercado brasileiro de combustíveis no curto prazo. 5 dez. 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/perspectivas-para-o-mercado-brasileiro-de-combustiveis-no-curto-prazo>. Acesso em: 12 jan. 2025.**

FDR. **IPVA Tocantins (TO) 2025: alíquotas, valor, calendário, pagamento e isenções. FDR, 2025. Disponível em: <https://www.fdr.com.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.**

FERREIRA, L. C.; SANTOS, A. P. **Infraestrutura de recarga de veículos elétricos no Brasil: desafios e oportunidades. *Revista Brasileira de Mobilidade Elétrica*, v. 3, n. 2, p. 45-61, 2023.**

IDTECHEX. **EV Battery Technology and Trends 2022–2032**. Cambridge: IDTechEx, 2022.

IDTECHEX. **Electric Vehicle Battery Technologies 2024–2034**. Cambridge: IDTechEx, 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global EV Outlook 2023**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>. Acesso em: 20 jul. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global EV Outlook 2024**. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>. Acesso em: 15 jun. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Veículos elétricos e híbridos**. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/informacao/veiculoseletricosehibridos_FINAL_Jan.pdf. Acesso em: 10 nov. 2024.

MARTON, Fábio. **95% de carros a combustão em 2035: plano da indústria aposta tudo em biocombustíveis**. *Olhar Digital*, 3 nov. 2021. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2021/11/03/carros-e-tecnologia/95-de-carros-a-combustao-em-2035-plano-da-industria-aposta-tudo-em-biocombustiveis/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

MIT ENERGY INITIATIVE. **The Future of Energy Storage**. Cambridge: MIT, 2023.

NEOCHARGE. **Mercado brasileiro de carro elétrico: infográfico**. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/mercado-brasileiro-carro-eletrico-infografico>. Acesso em: 1 nov. 2024.

NEOCHARGE. **Tipos de carregadores para veículos elétricos**. 2023. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-eletrico/tipo-carregador-ve>. Acesso em: 29 dez. 2024.

NISSAN NEWSROOM. **Memória Nissan e o primeiro Leaf no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://nissannews.com>. Acesso em: 15 jun. 2025.

OLIVEIRA, M. J.; COSTA, E. R. **Eficiência energética de veículos elétricos em comparação com modelos a combustão**. *Cadernos de Engenharia e Sustentabilidade*, v. 8, n. 1, p. 18-29, 2020.

QUATRO RODAS. **Gurgel Itaipu – primeiro carro elétrico brasileiro completa 50 anos**. São Paulo: Quatro Rodas, 2024. Disponível em: <https://quattrorodas.abril.com.br>. Acesso em: 15 jun. 2025.

RECYCLING TODAY. **Battery Recycling Industry Update 2024**. Disponível em: <https://www.recyclingtoday.com>. Acesso em: jun. 2025.

RODRIGUES, Eduardo. **Santos Dumont 150 anos: 1º carro do Brasil foi de sua família**. *AutoPapo*, 21 jul. 2023. Disponível em: <https://autopapo.com.br/noticia/santos-dumont>

pioneiro-carro/. Acesso em: 21 nov. 2024.

SEGURA.AI. **Seguro de carros: alta de até 47% no valor para homens em 2025 e média de preço nacional. Segura.ai, jun. 2025.** Disponível em: <https://segura.ai>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SMARTIA. **Tabela de preços do seguro auto em Tocantins – valores praticados em Palmas (TO). Smartia, 28 set. 2021.** Disponível em: <https://www.smartia.com.br>. Acesso em: 30 abr. 2025.

STUDIO, Genoma. **Quais são as principais fábricas de automóveis no Brasil? Automotivo Shopping, 20 fev. 2024.** Disponível em: <https://automotivoshopping.com.br/quais-sao-as-principais-fabricas-de-automoveis-no-brasil/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

TANAKA, C. N. **Metodologia de dimensionamento do sistema de tração para veículos elétricos. 2013. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.**

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY – ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER. **How Do All-Electric Cars Work?.** Disponível em: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>.

WANG, J. et al. **Degradation mechanisms of lithium-ion batteries under high-rate charging. Nature Energy, 2022**

APÊNDICE A – Planilha de Dados Utilizados na Construção dos Gráficos e Tabelas de *Payback*.

Planilha de base para a elaboração das tabelas e gráficos estar disponível para consulta no Acervo do presente trabalho, acessível a Estudantes e Servidores do IFTO, por meio do link:
<https://excel.cloud.microsoft/open/onedrive/?docId=D60788B945594026%21s7d4f4025aaa142c59a6d94f08e02e5ae&driveId=d60788b945594026>

Payback com depreciação - Comparação 1			
km rodado mês	Tarifa cheia	GD noite	GD dia
250			
500		150	131
750	148	106	91
1000	116	80	69
1250	96	64	55
1500	81	53	46
1750	70	45	39
2000	61	39	34
2500	49	31	27
3000	41	25	22
3500	35	21	19
4000	30	19	17
5000	24	15	13
6000	20	12	11

Fonte: Autoria própria (2025)

Payback com depreciação - Comparação 2			
km rodado mês	Tarifa cheia	GD noite	GD dia
250			
500	125	112	104
750	85	75	70
1000	64	56	52
1250	51	44	42
1500	42	37	35
1750	36	31	30
2000	32	27	26
2500	25	22	21
3000	21	18	17
3500	18	16	15
4000	16	14	13
5000	13	11	10
6000	10	9	9

Fonte: Autoria própria (2025)

Payback com depreciação - Comparação 3			
km rodado mês	Tarifa cheia	GD noite	GD dia
250			
500	147	133	123
750	102	90	84
1000	77	68	63
1250	62	54	50
1500	51	45	42
1750	44	38	36
2000	38	33	31
2500	30	26	25
3000	25	22	21
3500	22	19	18
4000	19	16	15
5000	15	13	12
6000	13	11	10

Fonte: Autoria própria (2025)

Payback com depreciação - Comparação 4			
km rodado mês	Tarifa cheia	GD noite	GD dia
250			
500		173	151
750	158	121	103
1000	121	90	77
1250	97	72	61
1500	81	59	50
1750	69	50	43
2000	60	43	37
2500	48	34	29
3000	39	28	25
3500	34	24	21
4000	29	20	18
5000	23	16	15
6000	19	14	12

Fonte: Autoria própria (2025)

Payback com depreciação - Comparação 5			
km rodado mês	Tarifa cheia	GD noite	GD dia
250			
500			
750		177	171
1000	174	156	138
1250	156	128	112
1500	132	108	95
1750	115	93	82
2000	101	81	72
2500	82	65	57
3000	69	54	48
3500	59	46	41
4000	52	40	36
5000	41	32	29
6000	35	26	24

Fonte: Autoria própria (2025)

Payback com depreciação - Comparação 6			
km rodado mês	Tarifa cheia	GD noite	GD dia
250			
500		176	131
750	136	104	89
1000	104	78	67
1250	83	62	53
1500	69	51	44
1750	59	43	38
2000	52	37	33
2500	41	30	26
3000	34	25	22
3500	29	21	19
4000	26	18	16
5000	20	15	13
6000	17	12	11

Fonte: Autoria própria (2025)