

AVALIAÇÃO DO CUSTO RECORRENTE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL

DANILO LOSANO ALVES DE AZEVEDO
UNICAMP UNIVERSIDADE DE CAMPINAS

Introdução

O Brasil apresenta aumento da demanda energética nas últimas décadas. A matriz energética do país é composta 60% de fontes não-renováveis, com predominância do uso de petróleo e gás natural. O setor de transporte é responsável pelo consumo de 70% dessas fontes. Dado o cenário de mudanças climáticas, os veículos elétricos podem ser potenciais para a redução de emissão de GEE no país.

Problema de Pesquisa e Objetivo

O avanço do mercado de eletrificação de veículos, porém, é barrado pelo seu alto preço do produto. Esse trabalho busca avaliar os custos recorrentes desse meio de transporte para demonstrar vantagens financeiras e ambientais com potencial de estimular medidas regulatórias e investimentos para a sua disseminação.

Fundamentação Teórica

Mobilidade elétrica é todo tipo de deslocamento realizado com uso de motor elétrico como fonte primária ou secundária. Cerca de 0,2% da frota brasileira é eletrizada. Os modelos de veículos elétricos disponíveis são: Elétrico Híbrido (HEV); Elétrico Híbrido Plug-in (PHEV); Elétrico a Bateria (BEV); e o Elétrico a Célula Combustível (FCEV). O Brasil tem à disposição para venda apenas os modelos BEV, PHEV e HEV, que têm autonomia média de 43,6 km e máx. de 528,0 km. O Brasil ainda tem poucos postos de carregamento, além do problema de concentração destes postos na região sul do país.

Metodologia

Os dados foram obtidos por fontes confiáveis, em especial de agências governamentais, e tratados em modelo matemático desenvolvido pelo autor no software Excel da Microsoft. O trabalho analisou os seguintes sujeitos e amostras: veículos leves de uso particular nas categorias Grande e SUV Grande à venda no Brasil em 2023 (combustão por etanol ou gasolina comuns, híbrido, plug-in e elétrico); tarifas de energia elétrica (comum e branca) operadas pelas distribuidoras de cada Estado brasileiro; realidade brasileira de regulação e infraestrutura relativa aos postos de carregamento.

Análise dos Resultados

A redução do custo por km dos veículos elétricos comparados à combustão é de 8,9% para Extra Grandes e 5,5% para SUV. Os PHEV e BEV podem atingir reduções de 18% a 80% a depender do Estado brasileiro. A redução da emissão de GEE é de 30 a 100% para PHEV e BEV. Os HEV têm reduções menores que dependem da lógica interna do motor. Verificou-se que há potencial de aumento das vantagens financeiras a partir da economia com combustível (avaliada por VPL e retorno por Selic/2023) e da chamada Tarifa Branca (redução do custo da energia ordinário para carregamentos de veículos em horário fora ponta).

Conclusão

Para além da significativa redução de emissão de GEE, o trabalho demonstrou que o uso de veículos elétricos tem potencial de redução do custo recorrente por km rodado se comparado aos veículos por combustão. Porém, para disseminar esse produto menos poluente no Brasil, são necessárias medidas regulatórias e de investimento de otimização do seu, por exemplo: adaptação da rede elétrica; aumento e distribuição igualitária de postos de recarregamento no país; incentivos para recarga fora do horário de pico, com o objetivo de reduzir ainda mais o custo recorrente desses veículos.

Referências Bibliográficas

CARVALHO, Carlos H. R. Emissões Relativas De Poluentes Do Transporte Urbano. Brasília: IPEA – Boletim Regional, Urbano e Ambiental, Junho de 2011.
INMETRO. Veículos Leves 2023 – 15º Ciclo. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2023.pdf/view>. Acesso em: 23/08/2023. 2023. PNME. 2º Anuário Brasileiro de Mobilidade Elétrica: O Brasil em direção ao mix de tecnologias para a descarbonização e digitalização dos transportes. Novembro, 2022.

Palavras Chave

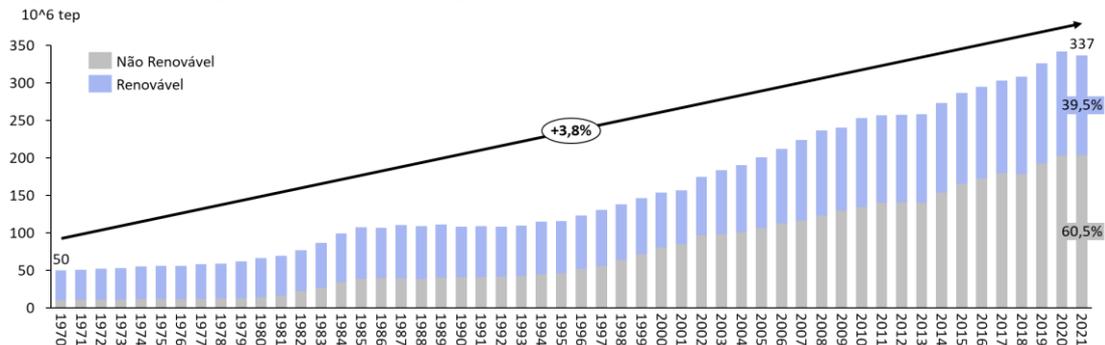
Veículos Elétricos, Emissão de GEE, Custo Recorrente

AVALIAÇÃO DO CUSTO RECORRENTE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL

1. INTRODUÇÃO

Há mais de cinco décadas, o Brasil apresenta aumento constante da geração de energia tanto a partir de fontes renováveis como de não-renováveis, sendo que, em 2021, as últimas representaram mais de 60% do total da matriz energética do país (Figura 1).

Figura 1 - Evolução da Matriz Energética Brasileira



Fonte: BEN - EPE, 2023

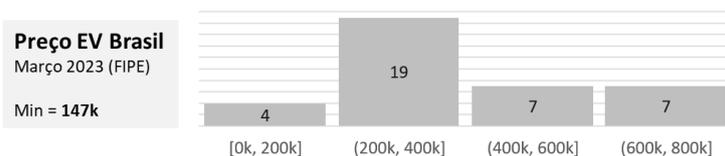
Em 2021, cerca de 59,0% do total da geração de energia no país foi realizado a partir de petróleo e gás natural e 70% dessas fontes foi consumida pelo setor de transportes (EPE, 2023).

De acordo com o censo do IBGE 2022, automóveis e motocicletas são os tipos de veículo mais comuns do setor, pois representam, respectivamente, 52,5% e 22,4% da frota nacional. Ao mesmo tempo, esses veículos são responsáveis por cerca de 60% das emissões de gases poluentes e gases do efeito estufa (GEE) no Brasil (Carvalho, 2011).

Nesse contexto, a eletrificação de automóveis e motocicletas apresenta-se como possível solução para o setor de transporte e mobilidade urbana em termos de emissão de GEE, haja vista a crescente preocupação, no Brasil e no mundo, com as questões de mudanças climáticas e de transição da matriz energética nacional para predominância de fontes renováveis.

Contudo, embora tenha havido crescimento de 76% das vendas entre janeiro de 2023 e janeiro de 2021 (ABVE, 2023), o mercado brasileiro de veículos elétricos ainda é incipiente. O preço elevado (Figura 2) e a escassez de infraestrutura urbana e rodoviária para o seu uso são, provavelmente, os principais entraves para o seu avanço no país.

Figura 2 - Histograma do preço de veículos elétricos no Brasil em março de 2023



Fonte: FIPE, 2023 – Gráfico elaborado pelo autor

Desenvolver o mercado de veículos elétricos no Brasil depende, portanto, de soluções financeiras que, para além da redução da emissão de GEE, justifiquem incentivos governamentais, medidas regulatórias e investimentos voltados a viabilizar o interesse e o acesso desse produto pela população. O objetivo deste trabalho é, nesse sentido, analisar o custo recorrente dos veículos elétricos, com foco na categoria de automóveis leves, comparado aos veículos à combustão, para identificar dados financeiros com potencial de estimular a disseminação desses veículos menos poluentes no Brasil.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

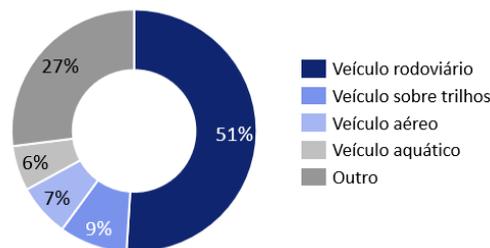
No presente capítulo, serão apresentados os referenciais teóricos, conceitos e a base de análise utilizados para avaliação do custo recorrente dos veículos elétricos no Brasil.

2.1 Mobilidade Elétrica

Mobilidade elétrica corresponde a todo tipo de deslocamento realizado com a utilização de um motor elétrico como fonte primária ou secundária de energia. Isso pode se dar com a eletrificação total ou parcial de qualquer tipo de veículo movido a motor, seja de uso particular ou público; como, por exemplo: bicicletas, patinetes, trens, ônibus, caminhões, e veículos leves (automóveis e motocicletas).

Segundo levantamento do Ministério de Transportes em julho de 2023, a frota brasileira conta com apenas ~0,2% de veículos com algum tipo de acionamento elétrico. Porém, segundo estudo de PNME (2021), diversas iniciativas estão sendo realizadas para a melhoria desse cenário por agentes públicos diretamente ou através parcerias público-privadas, sobretudo no que diz respeito a veículos rodoviários (Figura 3).

Figura 3 - Modelo das Iniciativas em desenvolvimento



Fonte: PNME, 2021

O levantamento de metas governamentais realizado pela PNME em 2022 demonstra a importância da mobilidade urbana para diversos países da América Latina e Caribe (Figura 4).

Figura 4 - Metas de Implementação de mobilidade elétrica na América Latina e Caribe

Tipo de VE	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Transporte Público por Ônibus 	Equador: 3-5% Colômbia: Mínimo 10% Panamá: Mínimo 10%-20% (2027)	Equador: 20-30% Colômbia: Mínimo 60% Panamá: Mínimo 33% Rep. Dominicana: 30%	Colômbia: 100% Chile: 100% novos ônibus Costa Rica: 70%	Equador: 60-70%		Rep. Dominicana: 100% Costa Rica: 100%
Veículos Elétricos Leves 	Equador: 0,2-0,5%	Colômbia: 600 mil VE Equador: 3-5% Panamá: 10%-20% da frota e 25-40% das vendas Rep. Dominicana: 10%	Chile: 100% das vendas Costa Rica: 25%	Equador: 20-25%		Rep. Dominicana: 70% Costa Rica: 100% das vendas e 60% da frota
Frotas públicas 	Colômbia: 30% de VE Panamá: Mínimo 10%-25% (2027)	Panamá: 40% Rep. Dominicana: 30%				Rep. Dominicana: 100% Costa Rica: 60%
Taxis Elétricos 	Equador: 2-4%	Equador: 15-20%	Chile: 100% das vendas Costa Rica: 70%	Equador: 55-60%		Costa Rica: 100%
Caminhões Elétricos 	Equador: 1-3%	Equador: 5-10% Rep. Dominicana: 10%		Equador: 30-40% Chile: 100% das vendas de maquinaria para construção	Chile: 100% vendas de caminhões e ônibus rodoviários	Rep. Dominicana: 50%

Fonte: PNME, 2022

Observa-se que diversos países possuem metas agressivas para a redução de veículos à combustão interna; como é o caso do Chile, que prevê vendas exclusivamente de veículos leves elétricos a partir de 2035, e de caminhões e ônibus rodoviários elétricos a partir de 2045.

2.2. Veículos Elétricos Leves – Modelos e Tecnologia

O foco do presente trabalho são os veículos elétricos leves, considerados de passeio, como os automóveis e motocicletas. Nesse contexto, a definição é dada por todo veículo leve que possui bateria e um motor elétrico que tanto funciona como motor, recebendo energia da bateria acoplada, como de gerador, em que fornece energia para a bateria.

Atualmente existem quatro principais modelos mecânicos (NeoCharge, 2021): o Veículo Elétrico Híbrido (*Hybrid Electric Vehicle - HEV*); o Veículo Elétrico Híbrido Plug-in (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle - PHEV*); o Veículo Elétrico a Bateria (*Battery Electric Vehicle - BEV*); e o Veículo Elétrico a Célula Combustível (*Fuel Cell Electric Vehicle - FCEV*)

O veículo Híbrido utiliza tanto motor à combustão como elétrico, trabalhando em alternância, de forma automatizada. A bateria fornece energia para o motor e é recarregada pelo motor elétrico, quando não está em operação, ou por freios regenerativos. A gestão de carregamento é interna, sem influência do condutor.

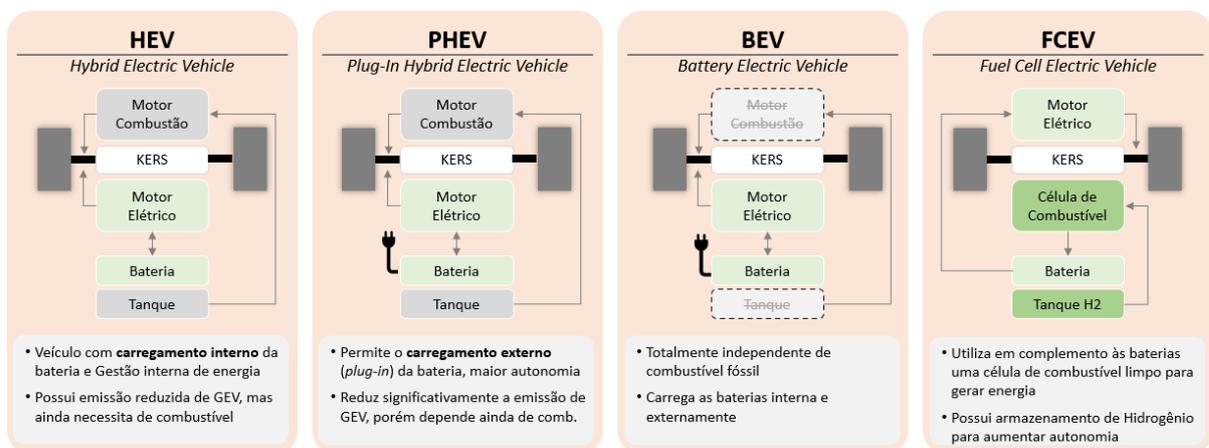
O Plug-In também utiliza ambos os motores à combustão e elétrico, enquanto a bateria é recarregada internamente, embora com a possibilidade de carregamento externo, via plug-in. Esse veículo tem maior autonomia elétrica e, portanto, maior redução da emissão de CO₂.

O Elétrico a Bateria, ou Elétrico Puro, possui apenas motor elétrico, sendo independente de combustíveis fósseis. A bateria pode ser carregada internamente e externamente, pois também possui plug-in para carregamento. Possui, assim, maior autonomia elétrica, porém limitação de deslocamento pela necessidade de estações de recarga.

Por fim, o Elétrico a Célula Combustível possui uma célula combustível para carregar a bateria. O funcionamento da célula deve-se a utilização de H₂ para a geração de energia elétrica, utilizada para o carregamento interno da bateria. Não possui plug-in para o carregamento externo, apenas possibilidade de recarga de H₂ no tanque de armazenamento.

Na figura abaixo foram condensadas as principais características dos modelos (NeoCharge, 2021). O KERS representa a tecnologia de freio regenerativo, em que a energia da frenagem é convertida em energia elétrica para a recarga da bateria interna (Figura 5).

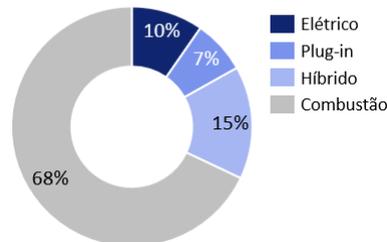
Figura 5 - Modelos de Veículos Elétricos



Fonte: NeoCharge, 2021 – Adaptado pelo autor

Segundo levantamento do INMETRO (2023), o Brasil possui à disposição cerca de 32% de veículos com motor elétrico para compra, divididos em Elétrico Puro (BEV), Plug-in (PHEV) e Híbrido (HEV) (Figura 6). Atualmente, não há veículos com célula combustível (FCEV) disponíveis para compra no Brasil.

Figura 6 - Divisão de Veículos com Motor elétrico disponíveis no Brasil



Fonte: INMETRO, 2023

Ainda segundo o levantamento do INMETRO (2023), os veículos disponíveis no Brasil possuem, em média, a autonomia do uso exclusivo do motor elétrico de 43,6 km para PHEV e 282,96 km para BEV; sendo que o veículo com maior autonomia elétrica é o Extragrande da BMW (IX xDrive 50) que apresenta autonomia de 528,0 km, próximo da média dos veículos a combustão, que se situa entre 400,0 e 500,0 km.

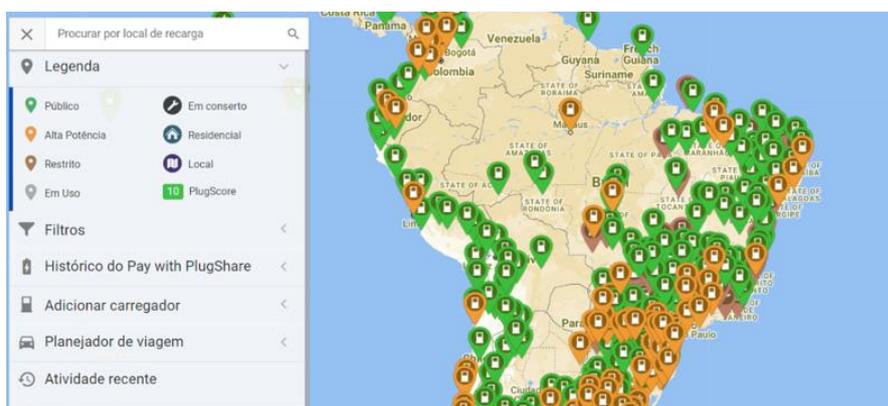
Para os veículos híbridos (HEV), não há medida de autonomia do motor elétrico, tendo em vista que o seu uso intercalado com o motor à combustão é automático, visando à melhora da performance do consumo de combustível.

2.3. Carregamento de Veículos Elétricos

Os veículos elétricos com plug de carregamento (*PHEV* e *BEV*) devem ser recarregados periodicamente. Dessa forma, a autonomia desses veículos e a disponibilidade de seu recarregamento é um fator decisivo, e até impeditivo, para o seu uso.

Segundo a ABVE (2023), em maio de 2023 o Brasil atingiu a marca de mais de 3.200 postos de recarga pelo país, cerca de 10% a mais do que havia em dezembro de 2022. Isso significa que há, em média, 17 veículos elétricos por carregador no país; número alto se comparado à Europa e Estados Unidos, que têm, respectivamente, 10 e 12 veículos por carregador em seu território. Porém, há no Brasil um problema adicional: a oferta de postos de recarga de veículos elétricos está concentrada na região sul/sudeste do país (Figura 7).

Figura 7 - Postos de Recarga no Brasil

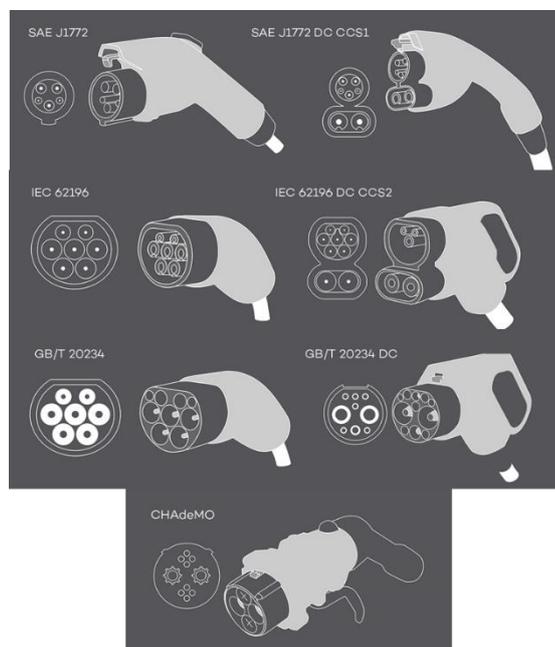


Fonte: PlugShare, 2023

Existem, atualmente, 5 tipos de estações de recarga de veículos elétricos, sendo eles (PALERMO, 2023). Em primeiro lugar, o Carregador de Emergência, com conexão em tomadas comuns, embora com potência muito baixa. Segundo, o Carregador Portátil, que funcionam como um banco de energia, ou *powerbank*, que apresentam potência baixa, embora superior aos carregadores emergenciais. Terceiro, o Carregador Residencial, ou *Wallbox*, que são carregadores fixos em parede, cujo intuito principal é a instalação em residências para uso particular. Fornecem potência variada, podendo chegar a altas potências e carregamentos rápidos, utilizando a fonte de energia residencial. Quarto, o Carregador Comercial, similares ao *Wallbox*, mas com o diferencial de recarregar mais de um veículo simultaneamente e realizar cobrança, por volume de energia utilizado ou tempo de uso. Por fim, em quinto lugar, o Carregador de Carga Rápida, que recarrega os veículos de forma rápida, fornecendo altos níveis de potência, porém implicando na deterioração mais rápida da bateria, também com a possibilidade de cobrança por uso (PALERMO, 2023).

Já para os plugs de carregamento, existem 4 tipos diferentes presentes no Brasil (PALERMO, 2023), conforme imagem abaixo (Figura 8). O Tipo 1 (SAE J1772) funciona tanto para cargas rápidas como lentas, variando de 3,7 kW até 7,4 kW de potência. O Tipo 2 consegue atingir potência de carregamento maior, de até 22 kW. O Tipo GB/T 20234, desenvolvido para atender as normas de carregamento chinesa, pode também chegar a potência de 22 kW. Por fim, o Tipo CHAdeMO foi desenvolvido no Japão para cargas rápidas, possui carregamento apenas em corrente contínua (DC), chegando até 400 kW.

Figura 8 - Tipos de Carregadores Disponíveis



Fonte: PALERMO, 2023

A regulação para os postos de recarga de veículos elétricos no Brasil se dá pela Resolução Normativa nº 1000/2021, que revogou a antiga norma (resolução nº 819/2018). A norma vigente dispõe sobre uma série de obrigações para a implementação de postos de carregamento; no entanto, diferente do que ocorre em outros países (PNME, 2022), a precificação da energia disponibilizada para veículos elétricos é livre no Brasil, no sentido de que cabe ao fornecedor decidir os preços e taxas aplicáveis, sem intervenção regulatória.

Alguns países como Estados Unidos, Alemanha e outros estão implementando em suas respectivas regulações o uso do chamado *Smart Charging* (Carregamento Inteligente, em tradução livre), método que possui as seguintes características (EVBox, 2022):

- **Vantagens**
 - Ajustar **padrões de carregamento** para veículos elétricos.
 - Achatamento do **Pico de demanda**.
 - **Otimização** do sistema de medição e “energia de backup”.
- **Serviços adicionais**
 - Vehicle to Grid (**V2G**) - *EUA, Dinamarca, Alemanha, Amsterdã na Holanda e Málaga na Espanha* – método de fornecer energia para a rede a partir do veículo elétrico, atualmente não permitido no Brasil.
 - **Time-of-use** Tariff – tarifa é calculada de acordo com o tempo de uso da estação.
 - **V2H/V2B** (*Vehicle-to-home/vehicle-to-building*) – Fornecimento de energia do veículo para a rede interna da residência (*V2H*) ou de prédios comerciais (*V2B*).
 - Tarifa **Dinâmica**, de acordo com requisitos pré-definidos.
- **Limites**
 - Permissão e habilitação normativa para que os veículos possam **conectar-se à rede**.
 - **Única** fonte de receita provavelmente tornará o V2G inviável para muitos casos

3. METODOLOGIA

O capítulo anterior estabeleceu os parâmetros e a base teoria sobre veículo elétrico que permeiam esse trabalho. A seguir, será exposta a metodologia utilizada e os dados considerados para a avaliação do custo recorrente dos veículos elétricos no Brasil.

3.1. Tipo e Método da Pesquisa

Para atingir o objetivo proposto, será realizada a pesquisa exploratória de dados com a definição de premissas e validação através de cálculos e ferramentas de modelagem matemática. O levantamento de dados será realizado através de bases confiáveis, disponibilizadas por agências governamentais ou de controle de qualidade. As informações sempre foram filtradas na avaliação de outliers e inconsistência de dados.

3.2. Sujeitos e a Amostra

Com o objetivo definido no início do capítulo, o passo seguinte é a delimitação dos sujeitos e amostra utilizada para a realização das análises, quais sejam:

- **Veículos** leves de uso particular na categoria **Grande** à venda no Brasil em 2023 (**Combustão, Híbrido, Plug-in e Elétrico**);
- **Veículos** leves de uso particular na categoria **SUV Grande** à venda no Brasil em 2023 (**Combustão, Híbrido, Plug-in e Elétrico**);
- **Combustíveis** para motor a Combustão: **Etanol Comum e Gasolina Comum**
- **Tarifa de energia elétrica** fornecida pelas **distribuidoras** de cada Estado;
- **Realidade regulatório do Brasil** em termos de regras para o carregamento e oferecimento de serviços de postos de recarga de veículos elétricos; e
- **Realidade brasileira de infraestrutura** de postos de recarga e tipos de carregamento disponíveis aos usuários de veículos elétricos.

Os veículos selecionados possuem representantes em todas as categorias analisadas (Combustão, Híbrido, Plug-in e Elétrico), fornecendo material para a análise consistente dos resultados. Os combustíveis analisados também são os mais comumente encontrados nos Estados brasileiros. As tarifas de energia avaliadas são as praticadas pelas distribuidoras de cada Estado, com o objetivo de manter a paridade de análise entre os veículos e Estados. Por fim, é importante pontuar que o custo recorrente dos veículos se relaciona com a realidade regulatória do país (já que, como visto no capítulo acima, alguns países têm regulação com impacto direto no preço do carregamento dos veículos elétricos, por exemplo); assim como a infraestrutura de recarregamento, que, por sua vez, impacta, entre outros fatores, na autonomia do produto.

3.3. Instrumentos

Os dados são coletados a partir de fontes oficiais, sendo:

- **Veículos:** INMETRO – Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE Veicular 2023
 - Consumo médio na cidade e estrada
 - Autonomia energética
 - Tipo de motor
 - Poluição gerada
- **Preço de Combustíveis:** Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - Preços de Revenda e de Distribuição de Combustíveis
 - Preço médio do Etanol por estado
 - Preço médio da Gasolina comum por estado
- **Preço de Energia:** ANEEL – Relatório de Mercado Cativo – SAMP
 - Tarifa Comum por Distribuidora
 - Tarifa Branca por Distribuidora

Todos os dados foram tratados e analisados via planilha matemática e modelagem realizada no software Excel da Microsoft.

3.4. Procedimentos

Para a realização dessa pesquisa, foram conduzidas 6 etapas de metodologia: definição do problema objeto do trabalho; definição de critérios de borda para a pesquisa, com delimitação dos sujeitos e amostra que justifiquem a sua análise visando à obtenção de resultados concretos e informações relevantes; levantamento de dados em fontes confiáveis e o seu tratamento por meio de modelo matemático; análise prévia dos dados para filtragem do material relevante e eliminação de outliers e dados inconsistentes; modelagem matemática para a consolidação das informações levantadas e realização de cálculos para obter resultados que pudessem ser avaliados; e, finalmente, análise dos resultados obtidos com a modelagem a fim de identificar conclusões relevantes.

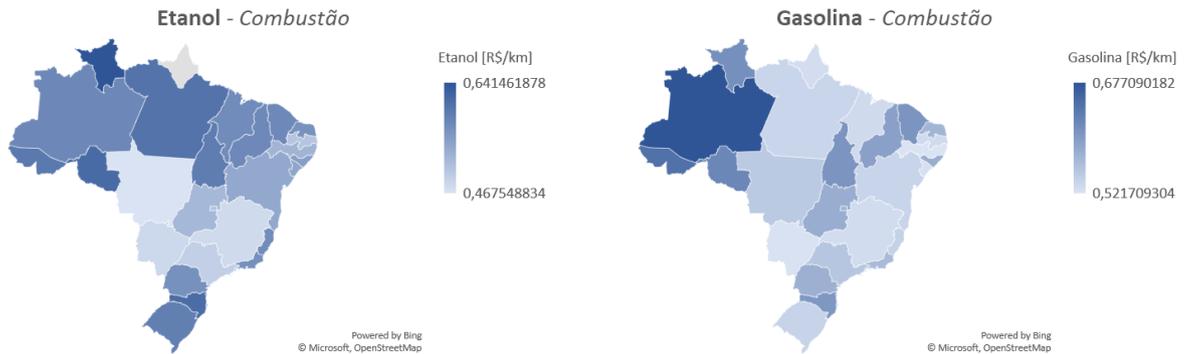
4. RESULTADOS

Os resultados foram obtidos pelo tratamento de dados em modelo matemático desenvolvido pelo autor e serão apresentados a partir da delimitação exposta no item 3.2 *supra*, para, ao final, ser oferecida interpretação e conclusão a seu respeito no item 5 *infra*.

4.1. Veículo Extra Grande

- **Exemplo de veículo:** Chevrolet Equinox 1.5 – 16V.
- **Poluição média gerada:**
 - Combustão: 331,2 mg/km
 - Híbrido: 313,4 mg/km (-5,4% da referência à combustão)
 - Plug-in: 245,0 mg/km (-26,0% da referência à combustão)
- **Custo à combustão, Figura 9:**
 - Média Etanol = 0,556 R\$/km
 - Média Gasolina = 0,569 R\$/km

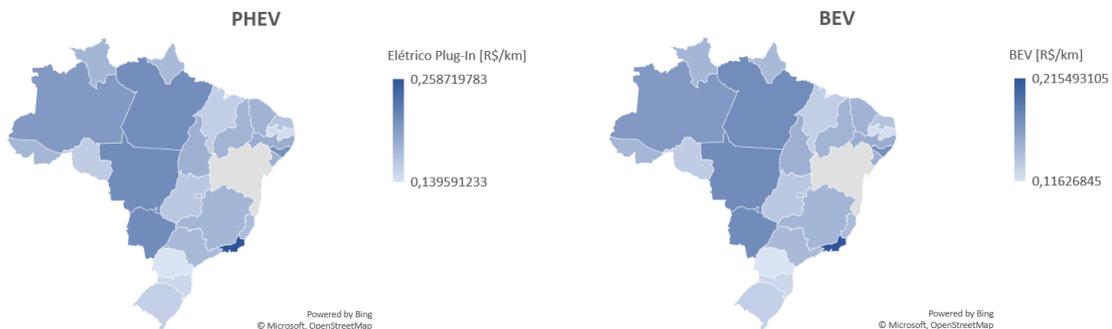
Figura 9 - Custo relativos ao consumo de combustíveis para veículos Extra Grande em 2023



Fonte: Autor

- **Custo motor à combustão para eletrizados:**
 - Média Híbrido: 0,519 R\$/km (*apenas gasolina*)
 - Média Plug-In: 0,568 R\$/km (*apenas gasolina*)
- **Custo de carregamento para eletrizados, Figura 10:**
 - Média Plug-In: 0,180 R\$/km
 - Considerando tarifa branca – fora ponta: 0,147 R\$/km (-18,3%)
 - Média BEV: 0,150 R\$/km
 - Considerando tarifa branca – fora ponta: 0,122 R\$/km (-18,3%)

Figura 10 - Custo de rodagem para veículos elétricos Extra Grandes Plug-In em 2023

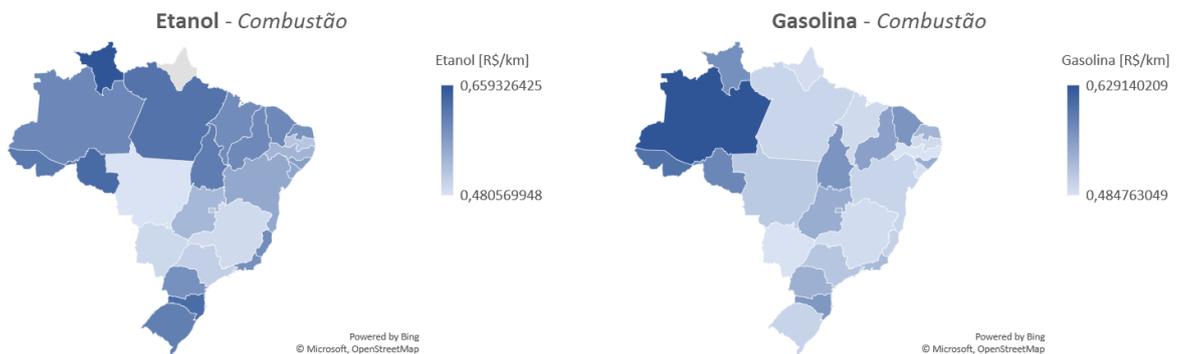


Fonte: Autor

4.2. Veículo SUV Grande

- **Exemplo de veículo:** JEEP Commander 1.3 – 16V.
- **Poluição média gerada:**
 - Combustão: 367,2 mg/km
 - Híbrido: 378,0 mg/km (+3,0% da referência à combustão)
 - Plug-in: 116,5 mg/km (-68,3% da referência à combustão)
- **Custo à combustão, Figura 11:**
 - Média Etanol = 0,571 R\$/km
 - Média Gasolina = 0,529 R\$/km

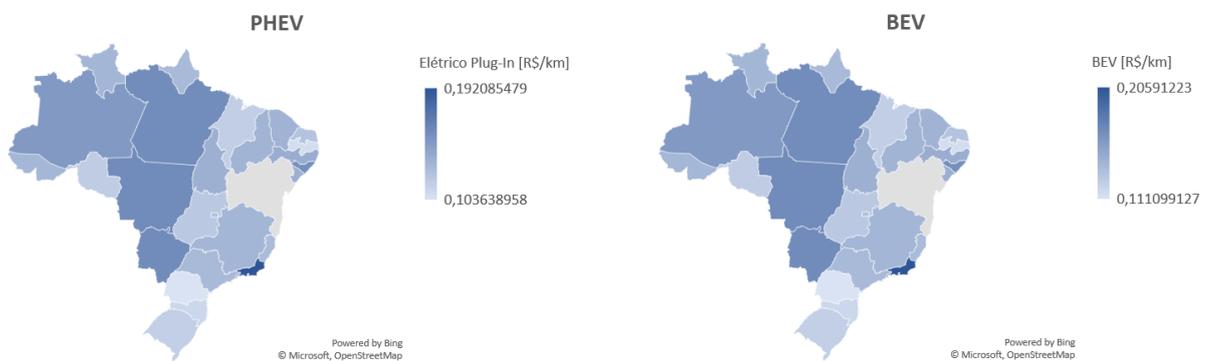
Figura 11 - Custo de rodagem para veículos SUV Grandes à combustão em 2023



Fonte: Autor

- **Custo motor à combustão para eletrizados:**
 - Média Híbrido: 0,500 R\$/km (*apenas gasolina*)
 - Média Plug-In: 0,427 R\$/km (*apenas gasolina*)
- **Custo de carregamento para eletrizados, Figura 12:**
 - Média Plug-In: 0,133 R\$/km
 - Considerando tarifa branca – fora ponta: 0,109 R\$/km (-18,3%)
 - Média BEV: 0,143 R\$/km
 - Considerando tarifa branca – fora ponta: 0,117 R\$/km (-18,3%)

Figura 12 - Custo de rodagem de veículos Plug-In SUV Grande em 2023

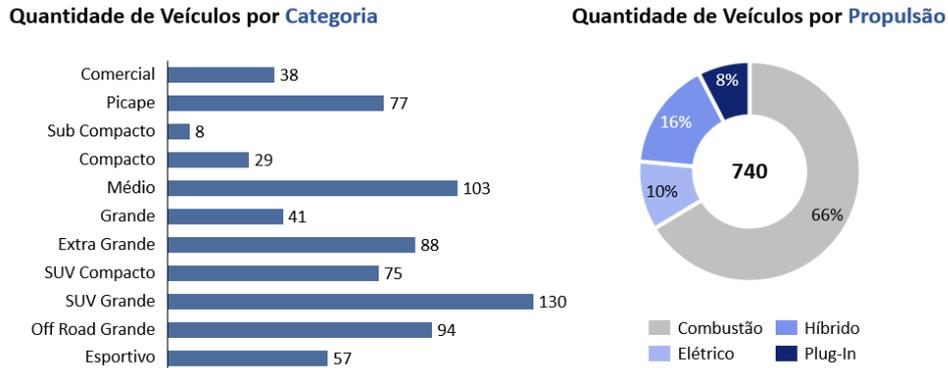


Fonte: Autor

4.3. Média geral de todos os veículos leves

A distribuição de veículos, considerando todas as categorias que possuem veículos elétricos e à combustão, é a observada na Figura 13.

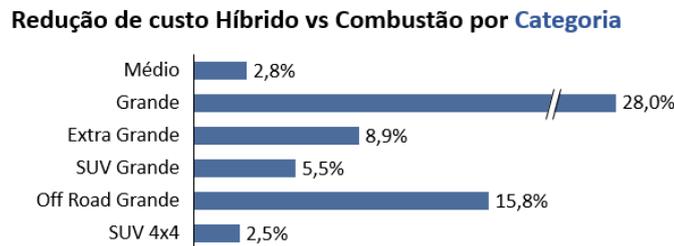
Figura 13 - Quantidade de veículos analisados por Categoria e Propulsão



Fonte: Autor

Com base na média ponderada dos custos dos veículos à combustão interna versus os custos dos veículos eletrificados, obtém-se que, na média, os veículos híbridos apresentam 3,8% de redução de custo, e a redução observada por categoria pode ser vista na Figura 14.

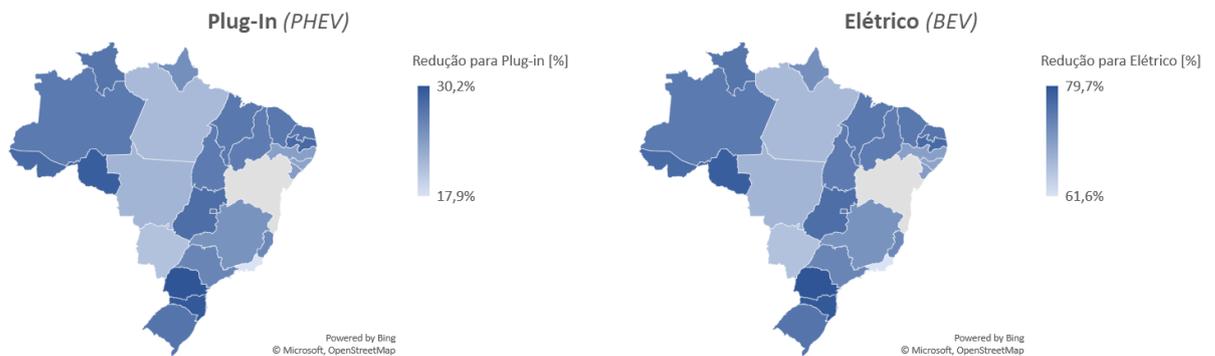
Figura 14 - Redução de custo para veículos híbridos vs à combustão



Fonte: Autor

Por fim, é possível observar a redução atingida nos custos por km para os veículos eletrificados ao redor do Brasil segundo o mapa da Figura 15.

Figura 15 - Redução de custo de veículos eletrizados vs à combustão interna em 2023



Fonte: Autor

Com essas informações, no próximo capítulo, será possível observar os dados para interpretá-los e analisá-los a fim de obter as repostas para o objetivo desse projeto.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados serão analisados a partir de 4 principais conjuntos de informações: (5.1) Custo por km de veículos à combustão no Brasil; (5.2) Custo por km de veículos eletrificados no Brasil; (5.3) Economia de custos por km dos diferentes tipos de carros eletrificados; (5.4) Potencial de investimento em veículos eletrificados com base na economia de combustíveis.

5.1. Veículos à Combustão

Pode-se observar que os veículos à combustão possuem, primeiramente, alta emissão de gases poluentes, atingindo, em média **331,2** e **367,2** mg/km nos veículos Extra Grandes e SUVs grandes, respectivamente. Como comparação, é possível observar que a usina termoeletrica mais poluente no Brasil gera 1.313 mg/Wh de geração e a décima gera 718 mg/Wh (IEMA, 2022). Adicionalmente, esses veículos possuem ainda um custo por km relativamente alto, principalmente quando observado na região Norte/Nordeste e Sul do Brasil, com valores girando em torno de:

- Veículos Extra Grandes
 - Etanol:
 - Média: 0,556 R\$/km
 - Máximo: 0,641 R\$/km
 - Gasolina
 - Média: 0,569 R\$/km
 - Máximo: 0,678 R\$/km
- Veículos SUV Grandes
 - Etanol:
 - Média: 0,571 R\$/km
 - Máximo: 0,659 R\$/km
 - Gasolina
 - Média: 0,529 R\$/km
 - Máximo: 0,629 R\$/km

Considerando o período até a primeira revisão do veículo após 10.000 km rodados, os gastos podem atingir os valores apresentados na Figura 16.

Figura 16 - Gasto total de veículos a combustão com 10.000 km rodados



Fonte: Autor

Em geral, este é um custo relativamente alto para a renda mensal do brasileiro, ainda mais considerando que esse valor representa 5x o valor do salário-mínimo de 2022 (dado por R\$ 1.320,00).

5.2. Veículos Eletrificados

Os veículos eletrificados, englobam desde híbridos (**HEV**) até totalmente elétricos (**BEV**), e híbridos com carregamento externo de bateria – plug-in (**PHEV**). Em relação à emissão de GEE, quanto mais eletrificado o veículo e independente do motor à combustão, menor são as emissões. Em relação às categorias observadas, as reduções são significativas:

- **Extra Grande**

Redução de 5,4% para veículos híbridos (HEV) e 26,0% para veículos plug-in (PHEV). A maior redução para veículos PHEV ocorre devido à independência do uso do motor elétrico e redução da necessidade do uso à combustão.

- **SUV Grande**

Aumento de 3,0% para veículos híbridos (HEV), esse aumento ocorre devido ao uso não otimizado do motor à combustão, principalmente utilizando-o em momentos de alta necessidade de performance, fazendo com que haja tal aumento, mesmo que pouco significativo, da emissão média de gases poluentes. Já os veículos plug-in (PHEV) apresentam incríveis reduções de 68,0% devido ao quase não uso do motor à combustão e foco na otimização do uso do motor elétrico.

Como esperado, para os veículos totalmente elétrico a redução é de 100% na emissão de gases poluentes, representando o melhor cenário. Os custos por km de veículos elétricos também representam redução significativa. No caso dos veículos BEV, o custo é relativo apenas ao carregamento da bateria, enquanto para o veículo PHEV deve ser considerado também o custo de abastecimento do combustível fóssil utilizado (no caso desse estudo, a gasolina), e, por fim, o veículo HEV contém apenas o custo de abastecimento com gasolina, não sendo necessária a inclusão de custo de carregamento de baterias.

A fim de calibrar as análises, é considerado que metade dos km são rodados com o motor elétrico e a outra metade com o motor à combustão, para os veículos PHEV.

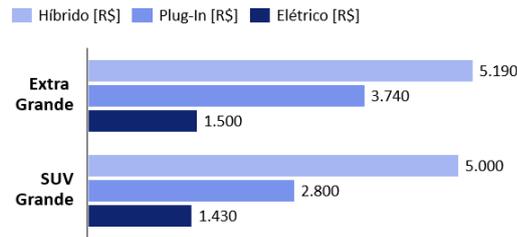
- **Extra Grande**

- Híbrido: 0,519 R\$/km
- Plug-In: $0,568 \times 50\% + 0,180 \times 50\% = 0,374$ R\$/km
- Elétrico: 0,150 R\$/km

- **SUV Grande**

- Híbrido: 0,500 R\$/km
- Plug-In: $0,427 \times 50\% + 0,133 \times 50\% = 0,280$ R\$/km
- Elétrico: 0,143 R\$/km

Figura 17 - Gasto médio de veículos eletrificados após rodarem 10.000 km



Fonte: Autor

Realizando a mesma comparação feita anteriormente, o veículo híbrido ainda possui custo próximo a 5 vezes o salário-mínimo de 2022, caindo para aproximadamente 3x quando é considerado o PHEV e cerca de 1x para o BEV.

5.3. Economia relativa aos veículos eletrificados

Antes de entrar no tema de economia financeira, vale destacar a redução na emissão de gases poluentes, já que esse é um forte problema ambiental, principalmente quanto ao aquecimento global, como foi apresentado no capítulo introdutório desse trabalho.

A redução de emissão de gases poluentes para os veículos eletrificados é visível, atingindo níveis de 30% a 100%. Mesmo que, no curto prazo, esse valor não represente economia financeira, no longo prazo o impacto social e de saúde pública pode ser observado.

Para os veículos **híbridos (HEV)** a redução depende muito dos fatores de otimização aplicados por cada montadora, já que o uso do motor elétrico depende da lógica interna de cada veículo para chaveamento entre um tipo de propulsão e outro, além da lógica de carregamento da bateria e potencialização dos motores. Mesmo assim, observa-se reduções significativas no custo quando comparado com os veículos à combustão.

Para os dois casos analisados em detalhe, veículos Extra Grandes e SUV Grandes, a redução ocorre como sendo de 8,9% e 5,5% respectivamente, atingindo valores de 0,050 R\$/km e 0,029 R\$/km. Já na média ponderada de todos os veículos com esse tipo de propulsão, a redução é da ordem de 3,8%.

Para os veículos do tipo **Plug-in (PHEV)** a redução média varia de 17,9% a 30,2% dependendo do Estado brasileiro, já que os preços de energia e combustíveis fósseis variam entre eles. Nas categorias analisadas em detalhes, obtém-se uma redução de 0,195 R\$/km no veículo Extra Grande e de 0,249 R\$/km no veículo SUV Grande.

Os veículos **elétricos (BEV)** apresentam a maior redução entre os grupos avaliados, variando entre 61,6% e 79,7% em relação aos veículos à combustão interna por gasolina. As reduções variam entre os Estados brasileiros devido à diferença no preço de combustíveis e de energia em cada localidade. Nos veículos avaliados em detalhes, obtém-se uma redução de 0,419 R\$/km no Extra Grande e de 0,386 R\$/km no SUV Grande.

A Figura 15 apresenta a variação de redução para todos os Estados brasileiros para os veículos PHEV e BEV, os veículos híbridos não possuem diferenças entre os Estados já que todos são baseados apenas no custo da gasolina.

5.4. Poder de investimento em veículos eletrificados

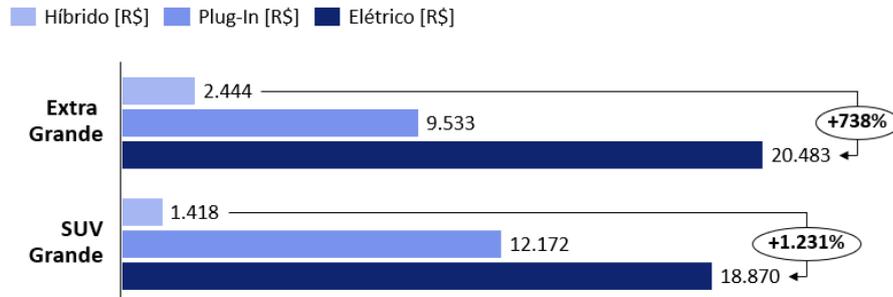
Para realizar a avaliação do valor adicional que pode ser empregado na compra de um veículo elétrico, foi utilizada a avaliação por Valor Presente Líquido, considerando uma taxa de retorno da meta Selic atual – agosto/2023 – sendo 13,25%, e as reduções no custo mensal. As premissas utilizadas são as seguintes:

- Horizonte de análise: 5 anos (tempo média de depreciação de um veículo)

- Taxa de retorno: 13,25% ao ano
- Km rodados por mês: 1.100 km/mês

Para os dois grupos avaliados, os valores gerados são apresentados na Figura 18.

Figura 18 - Investimento possível considerando o VPL à 13,25% aa para as categorias analisadas



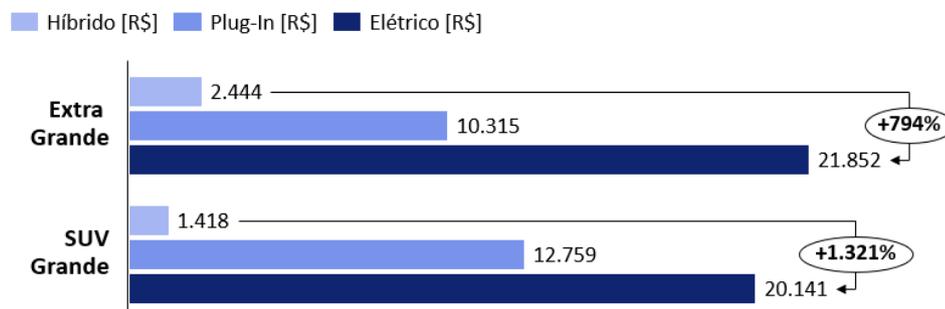
Fonte: Autor

Adicionalmente, pode-se avaliar a inclusão da Tarifa Branca dos Estados, que representa uma redução de 13,8% no custo da energia ordinário, apresentando maiores reduções no custo de energia, caso o veículo seja carregado em horário fora ponta. No cenário de carregamento com Tarifa Branca, os seguintes valores seriam gerados em cada categorias analisadas:

- **Extra Grande**
 - Combustão: 0,569 R\$/km
 - Plug-In: $0,568 \times 50\% + 0,147 \times 50\% = 0,358$ R\$/km
 - Elétrico: 0,122 R\$/km
- **SUV Grande**
 - Combustão: 0,529 R\$/km
 - Plug-In: $0,427 \times 50\% + 0,109 \times 50\% = 0,268$ R\$/km
 - Elétrico: 0,117 R\$/km

Com isso, os novos valores possíveis podem ser observados na Figura 19.

Figura 19 - Investimentos possíveis em veículos eletrizados considerando Tarifa Branca, 5 anos e NPV a 13,25% aa



Fonte: Autor

Assim, a implementação de política de Tarifa Branca pode resultar em valor adicional de ~1.400,00 reais para o BEV e ~900,00 reais para o Plug-In.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na parte introdutória, este estudo pontuou que quanto mais eletrizados o veículo, maior o potencial de redução da emissão de GEE se comparado aos veículos à combustão. Adicionalmente, a análise de dados apresentada revela que o custo recorrente do uso de veículos elétricos é significativamente menor que o dos veículos à combustão, com reduções de até 78% na hipótese de veículos totalmente elétricos *versus* veículos à combustão interna.

Porém, existem fatores que devem ser considerados para o futuro desenvolvimento e utilização de tais veículos, sendo:

- Adaptação da rede elétrica para recebimento de carga adicional
- Implementação de postos de recarga ao longo do país, diminuindo a disparidade estadual observada atualmente
- Incentivos regulatórios para recarga fora do horário de pico, com o objetivo de reduzir ainda mais o custo recorrente desses veículos

Importante notar que mesmo com as reduções nos gastos recorrentes, o preço de aquisição de um veículo ainda é a parcela mais significativa do custo total, sendo assim, segundo a análise do capítulo anterior, a diferença de preço que pode ser considerada por um consumidor na hora da aquisição de um BEV *versus* um à combustão interna, mantendo os demais fatores constantes (*ceteris paribus*), é de até 20 mil reais a mais, não sendo o que se observado atualmente como diferença na FIPE (2023), chegando a valores acima de 100 mil de diferença. Nesse cenário, os fatores acima elencados se tornam ainda mais relevantes para fins de compensar o alto preço do produto e incentivar o uso de veículos elétricos pela população.

Por fim, estudos que buscam viabilizar a transição energética do país são de extrema importância dado o cenário mundial de mudanças climáticas e necessidade de redução de gases poluentes. Porém, tais mudanças devem ser atingidas com base em desenvolvimentos de infraestrutura e possibilidades financeiras de acesso à grande massa populacional, para então fazerem diferença. Esse estudo demonstrou que existe tal possibilidade em relação aos veículos elétricos e que atualmente este caminho está sendo traçado e demonstrando resultados, porém ainda são necessários investimentos e medidas regulatórias para atingir os objetivos globais.

7. REFERÊNCIAS

ABVE, Associação Brasileira de Veículos Elétricos. Eletrificados: o melhor janeiro da série histórica. Disponível em: <http://www.abve.org.br/eletrificados-o-melhor-janeiro-da-serie-historica/>. Acesso em: 02/08/2023. Fevereiro de 2023.

ABVE. Brasil chega a 3.200 eletropostos de recarga. Estadão, São Paulo – SP. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/inovacao/brasil-chega-a-3-200-eletropostos-de-recarga/>. Acesso em: 24/08/2023. Maio de 2023.

ANEEL. Ranking da Tarifa Residencial: Relatório apresenta classificação das tarifas aplicadas aos consumidores residenciais. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>. Acesso em: 25/08/2023. 2023.

ANEEL. Relatório Mercado Cativo – SAMP: Relatório dos dados de receita, mercado de energia e número de unidades consumidora. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/cativo#!>. Acesso em: 25/08/2023. 2023.

BEN – EPE. BEN Interativo. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/ben/>. Acesso em: 02/08/2023. 2023.

CARVALHO, Carlos H. R. Emissões Relativas De Poluentes Do Transporte Urbano. Brasília: IPEA – Boletim Regional, Urbano e Ambiental, Junho de 2011.

EVBox. EV smart charging regulations 2022 explained. Disponível em: <https://blog.evbox.com/smart-charging-regulations>. Acesso em: 24/08/2023. Julho de 2022.

FIPE. Preço Médio de Veículos. Disponível em: <https://veiculos.fipe.org.br/>. Acesso em: 02/08/2023. 2023.

IBGE. Censo 2022, Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120>. Acesso em: 02/08/2023. 2023.

IEA. Global EV Outlook 2023, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>. 2023.

IEMA. 2º Inventário de emissões atmosféricas em usinas termelétricas. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/produto/2o-inventario-de-emissoes-atmosfericas-em-usinas-termeletricas>. 2022.

INMETRO. Veículos Leves 2023 – 15º Ciclo. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2023.pdf/view>. Acesso em: 23/08/2023. 2023.

Ministério dos Transportes. Frota de Veículo – 2023: Frota Nacional (Junho 2023). Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2023>. Acesso em: 22/08/2023. 2023.

MME – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Preços de Revenda e de Distribuição de Combustíveis: Levantamento de Preços de Combustíveis. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis>. Acesso em: 25/08/2023. 2023.

NeoCharge. Tipos de Carros Elétricos – Veículos Elétricos (EV). Disponível em: 1. <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>. Acesso em: 01/08/2023. 2021.

PALERMO, Daniel. Carregador de carro elétrico: conheça os tipos e conectores. Revista Carro. Disponível em: <https://revistacarro.com.br/carregador-de-carro-eletrico-conheca-os-tipos-e-conectores/>. Acesso em: 24/08/2023. Março de 2023.

PlugShare. EV Charging Station Map – Find a place to charge your car!. Disponível em: <https://www.plugshare.com/br>. Acesso em: 24/08/2023. 2023.

PNME. 2º Anuário Brasileiro de Mobilidade Elétrica: O Brasil em direção ao mix de tecnologias para a descarbonização e digitalização dos transportes. Novembro, 2022.

PNME. Mapeamento e Diagnóstico das Iniciativas Sobre Mobilidade Elétrica no Brasil: A partir de 2018. Julho, 2021.

PNME. Roadmap Nacional para Infraestrutura de Mobilidade Elétrica no Brasil: Promovendo Produtos/Serviços, Tecnologias e Regulação no Horizonte 2022-2032. Disponível em: <https://www.pnme.org.br/wp-content/uploads/2022/04/Roadmap-Nacional-de-Infraestrutura.pdf>. Acesso em: 24/08/2023. 2022.