



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



Hebert Ferraz Souza Lima

## **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA CONEXÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO**

João Monlevade, 2021

Hebert Ferraz Souza Lima

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA CONEXÃO DE VEÍCULOS  
ELÉTRICOS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Dr. Welbert Alves Rodrigues

João Monlevade, 2021

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L732a Lima, Hebert Ferraz Souza.  
Avaliação dos impactos da conexão de veículos elétricos no sistema de distribuição. [manuscrito] / Hebert Ferraz Souza Lima. - 2021.  
62 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Welbert Alves Rodrigues.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia Elétrica .

1. Energia elétrica - Distribuição. 2. Impacto ambiental - Avaliação. 3. Veículos elétricos. 4. Veículos - Motores a gasolina. 5. Redução de danos. 6. Simulação (Computadores). I. Rodrigues, Welbert Alves. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621.31

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETRICA



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Hebert Ferraz Souza Lima**

### **Avaliação dos impactos da conexão de veículos elétricos no sistema de distribuição**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Aprovada em 18 de Novembro de 2021

#### Membros da banca

Dr - Welbert Alves Rodrigues - Orientador - UFOP  
Dr - Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho - UFOP  
Dr - Wilingthon Guerra Zvietcovich - UFOP

Welbert Alves Rodrigues, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/01/2022



Documento assinado eletronicamente por **Welbert Alves Rodrigues, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/01/2022, às 10:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0268877** e o código CRC **A00C79D5**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.000612/2022-11

SEI nº 0268877

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000  
Telefone: - www.ufop.br

## Resumo

O uso de fontes de combustível fóssil, como a gasolina, vem causando grandes impactos ambientais em todo planeta devido a emissão de  $CO_2$  que é bastante prejudicial à natureza pois retém calor nas camadas da atmosfera, desequilibrando o clima e aumentando a temperatura, sendo também um dos responsáveis pelo efeito estufa. Um dos maiores consumidores de gasolina são os veículos e uma das alternativas para reduzir a emissão de  $CO_2$  no ambiente é a busca de veículos que utilizam fontes de energia limpa, como os veículos elétricos. Essa busca não está acontecendo apenas por serem mais poluentes que os veículos elétricos mas, outro fator que proporcionou a busca por novas fontes de energia, foi pelo crescimento no preço do petróleo causado pela sua exponencial escassez. A troca dos veículos a combustão por veículos elétricos se torna uma excelente solução quando o tema é impacto ambiental mas a inserção desses veículos trarão grandes problemas de autoconsumo impactando na demanda de energia elétrica no sistema de distribuição. Neste trabalho foi feita a avaliação desses impactos, onde foi simulado os efeitos do carro elétrico em um bairro. Para isso, foram utilizados os softwares OPENDSS para a simulação da rede de distribuição do bairro analisado e o MATLAB para a simulação dos veículos elétricos conectados nessa rede de distribuição. Para simular os impactos, foram implementados alguns casos inserindo a recarga do carro na rede elétrica sem se preocupar com o horário de carregamento inclusive no horário de pico. Foram propostas também soluções que tornam mais eficiente essa recarga, onde serão escolhidos os horários que demandam menos energia do sistema de distribuição e utilizando a energia solar para o carregamentos dos veículos. Foi simulado também um cenário onde os veículos elétricos carregam em um horário onde a demanda de energia é menor e injetam energia na rede no horário de pico. Essas alternativas, mostram nos resultados, que além de utilizar os veículos elétricos como solução para a diminuição dos impactos ambientais, eles também podem ser utilizados para ajudar a rede de distribuição em momentos em que o sistema precisa de mais energia.

**Palavras-chave:** Veículos elétricos, Veículos à combustão, Impactos ambientais, Sistema de distribuição, Avaliação dos impactos, Simulação, Redução dos impactos.

## Abstract

The use of fossil fuel sources, such as gasoline, has been causing major environmental impacts across the planet due to the emission of  $CO_2$  that is quite harmful to nature as they retain heat in the layers of the atmosphere, unbalancing the climate and increasing the temperature. also one of those responsible for the greenhouse effect. Vehicles are one of the biggest consumers of gasoline and an alternative to reduce  $CO_2$  emissions in the environment is the search for vehicles that use clean energy sources, such as electric vehicles. This search is not only happening because combustion vehicles are more polluting than electric vehicles, but another factor that led to the search for new energy sources was the increase in the price of oil caused by its exponential scarcity. The exchange of combustion vehicles for electric vehicles becomes an excellent solution when the issue is environmental impact, but the inclusion of these vehicles will bring major self-consumption problems, which will impact the demand for electricity in the distribution system. In this work, the evaluation of these impacts was made, where the effects of the electric car in a neighborhood were simulated. For this purpose, OPENDSS software was used to simulate the distribution network of the analyzed neighborhood and MATLAB to simulate the electric vehicles connected to this distribution network. To simulate the impacts, some cases were implemented by inserting the car's recharge into the electricity network without worrying about the charging time, including peak hours. Solutions were also proposed to make this recharge more efficient, where times that demand less energy from the distribution system and using solar energy for vehicle charging will be chosen. A scenario was also simulated where electric vehicles charge at a time when energy demand is lower and inject energy into the grid at peak hours. These alternatives, show in the results, that in addition to using electric vehicles as a solution to reduce environmental impacts, they can also be used to help the distribution network at times when the system needs more energy.

**Keywords:** Electric vehicles, Combustion vehicles, Environmental impacts, Distribution system, Impact assessment, Simulation, Impact reduction.

# Lista de ilustrações

Figura 1	Crescimento do mercado de veículos elétricos [47] . . . . .	9
Figura 2	Quantidade de carros elétricos vendidos de 2010-2019 [17] . . . . .	10
Figura 3	Arquitetura veículos elétricos-Configuração série [25] . . . . .	15
Figura 4	Arquitetura veículos elétricos-Configuração paralelo [25] . . . . .	15
Figura 5	Arquitetura veículos elétricos-Configuração mista [33] . . . . .	16
Figura 6	Configuração plug-in adaptado de [8] . . . . .	17
Figura 7	Custo da bateria US\$/kWh [17] . . . . .	19
Figura 8	Mercado global de baterias: Adaptado de [46] . . . . .	21
Figura 9	Crescimento do mercado de veículos elétricos no mundo. [12] . . . . .	22
Figura 10	Estimativa de produção de VE plug-in nos EUA e na China [26] . . . . .	23
Figura 11	Evolução anual da frota de Ve's no Brasil [45] . . . . .	23
Figura 12	Evolução menssal da frota de Ve's no Brasil [45] . . . . .	24
Figura 13	Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo [29] . . . . .	26
Figura 14	Infográfico matriz elétrica Brasileira [30] . . . . .	26
Figura 15	Imagem ilustrativa JAC iEV40 [37] . . . . .	31
Figura 16	Frota Circulante Total de Autoveículos [21] . . . . .	32
Figura 17	Trecho percorrido para análise e simulação . . . . .	34
Figura 18	Curva típica de uma carga residencial [38] . . . . .	37
Figura 19	Curva de carga residencial com os dados levantados . . . . .	37
Figura 20	Curva típica de uma carga comercial [39] . . . . .	38
Figura 21	Curva de carga comercial com os dados levantados . . . . .	39
Figura 22	Curva de carga em pu . . . . .	40
Figura 23	Simulink power_V2G [36] . . . . .	42
Figura 24	Curva de carga sem VE's . . . . .	44
Figura 25	Curva de carga com adição de VE's na rede . . . . .	44
Figura 26	Comportamento de Consumo/Injeção dos VE's na rede . . . . .	46
Figura 27	VE's injetando energia na rede . . . . .	46
Figura 28	Conjunto de blocos de geração fotovoltaica . . . . .	47
Figura 29	Geração fotovoltaica de 6 MW . . . . .	47
Figura 30	Curva de carga e de geração fotovoltaica . . . . .	48
Figura 31	Curva de carga com geração fotovoltaica . . . . .	49

Figura 32	VE's injetando energia na rede e energia fotovoltaica . . . . .	49
Figura 33	Custo de manutenção entre um VE e um veículo a combustão . . . . .	52

## Lista de tabelas

Tabela 1	Comparativo entre os tipos de VE's e o carro à combustão Adaptado de [34] . . . . .	18
Tabela 2	Tipos de baterias mais usadas em veículos elétricos:Adaptado de [9] . .	20
Tabela 3	Comparativo carro elétrico versus carro a combustão . . . . .	28
Tabela 4	Comparativo de carros elétricos no Brasil . . . . .	29
Tabela 5	Modelo vs Forma de carregamento . . . . .	29
Tabela 6	Modelo vs Tempo de carregamento . . . . .	30
Tabela 7	Alimentadores da cidade de João Monlevade [35] . . . . .	33
Tabela 8	Tabela de cargas residencial . . . . .	35
Tabela 9	Tabela de cargas comercial . . . . .	36
Tabela 10	Tabela de cargas . . . . .	41
Tabela 11	Tabela de cargas da simulação . . . . .	43
Tabela 12	Comparativo financeiro carro elétrico versus carro a combustão . . . .	51
Tabela 13	Custo médio para VE e veículo a combustão em 10 anos . . . . .	51



# Sumário

<b>Lista de ilustrações</b> . . . . .	<b>4</b>
<b>Lista de tabelas</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>1 Introdução</b> . . . . .	<b>8</b>
1.1 Motivação e contextualização . . . . .	8
1.2 Objetivos . . . . .	12
1.3 Estrutura do texto . . . . .	12
<b>2 Revisão bibliográfica</b> . . . . .	<b>14</b>
2.1 Veículos elétricos híbridos (HEV's) . . . . .	14
2.1.1 Configuração em série . . . . .	14
2.1.2 Configuração em paralelo . . . . .	15
2.1.3 Configuração mista . . . . .	15
2.2 Veículos elétricos plug-in (PHEV) . . . . .	16
2.2.1 Tipos de Carregamento . . . . .	17
2.3 Veículos elétricos à bateria (BEV) . . . . .	18
2.4 Tipos de baterias . . . . .	19
2.4.1 Bateria de Chumbo-Ácido . . . . .	19
2.4.2 Bateria de Níquel-Hidreto Metálico Chumbo-Ácido . . . . .	20
2.4.3 Bateria de Lítio-Ion . . . . .	20
2.4.4 Bateria de Cloreto de Sódio – Níquel . . . . .	20
2.5 Crescimento e Incentivos do mercado mundial de VE's . . . . .	21
2.5.1 EV30 @ 30 . . . . .	24
2.5.2 Programa Global de Pilotos EV . . . . .	24
2.5.3 Declaração da Frota do Governo . . . . .	24
2.5.4 Declaração de Paris sobre eletro-mobilidade e mudança climática . . . . .	25
2.6 O sistema de distribuição e a matriz energética brasileira . . . . .	25
<b>3 Desenvolvimento</b> . . . . .	<b>28</b>
3.1 Carros elétricos vs Carros a combustão . . . . .	28
3.2 A escolha do carro elétrico no Brasil . . . . .	29
3.3 Análise de consumo dos veículos elétricos na rede . . . . .	31
3.4 Estudo de caso de um sistema de distribuição . . . . .	33
3.4.1 Levantamento de cargas residencial e comercial . . . . .	35
3.4.2 Curva de carga . . . . .	36

3.4.3	OpenDSS . . . . .	40
3.5	Simulação em ambiente Matlab/Simulink . . . . .	41
3.5.1	Power_V2G . . . . .	41
<b>4</b>	<b>Resultados . . . . .</b>	<b>43</b>
4.1	Estudos de caso . . . . .	43
4.1.1	Caso 1: curva de carga sem veículos elétricos . . . . .	43
4.1.2	Caso 2: Inclusão de VE's na rede . . . . .	44
4.2	Análise da redução dos impactos . . . . .	45
4.2.1	Carregamento durante a madrugada . . . . .	45
4.2.2	Análise de impactos com usina fotovoltaica . . . . .	47
4.3	Análise da viabilidade financeira . . . . .	50
4.4	Análise tarifa branca . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>54</b>
5.1	Trabalhos futuros . . . . .	54
<b>6</b>	<b>Referências . . . . .</b>	<b>56</b>

# 1 Introdução

Este capítulo visa abordar o histórico, incentivos e desafios enfrentados para o desenvolvimento dos veículos elétricos no Brasil e no mundo. Apresentando uma motivação para responder a pergunta:

O que é necessário para que o sistema de distribuição do Brasil suporte toda uma malha de veículos elétricos?

## 1.1 Motivação e contextualização

A história dos veículos elétricos teve seu início nos anos de 1800, onde alguns inovadores da Hungria, da Holanda e dos Estados Unidos trabalharam no desenvolvimento de veículos movidos a bateria. O primeiro carro elétrico nos EUA foi construído por William Morrison, em 1891. Em 1900, os carros elétricos ganharam ampla popularidade, somando 38% de todos os veículos nas ruas dos EUA, comparados com 22% movidos a gasolina. Thomas Edison e Henry Ford trabalharam juntos para construir um veículo elétrico com um melhor preço de mercado. Em 1912, o estoque global de veículos elétricos alcançou o pico histórico de 30.000 unidades [20].

Mas em 1908, a produção em série do Ford Model T abaixou o custo dos carros a gasolina, chegando a um terço do preço de um carro elétrico. Em 1912, um carro a gasolina custava por volta de US\$ 650, enquanto um carro elétrico custava US\$ 1750. Durante a década de 1920, os carros elétricos perderam valor de mercado nos EUA devido a vários fatores, entre eles, o aumento dos postos de gasolina, à construção de um sistema de rodagem mais desenvolvido conectando cidades, o que permitia aos motoristas viajarem longas distâncias, e a descoberta de diversos pontos de petróleo principalmente no Texas. Juntos, estes fatores contribuíram para que os carros a gasolina dominassem a indústria até os dias atuais [20]. Segundo o Relatório da Frota Circulante do Sindipeças, em 2018, a frota brasileira de veículos a combustão cresceu 1,9% em comparação a 2017. Foram contabilizadas 44,80 milhões de veículos circulantes. As projeções do relatório indicaram crescimento de 2,3% em 2019 e de 2,6% em 2020 [21]. A frota nacional alcançou, em termos absolutos, 46,2 milhões em 2020. Esses veículos por utilizarem material fóssil como combustível, contribuem para a emissão de gás carbônico na atmosfera. Uma pesquisa desenvolvida pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) aponta que a emissão dos transportes aumenta 5,6% por ano em média, atingindo a marca de 220,5 milhões de toneladas de  $CO_2$  em 2014. Metade dessas emissões é de responsabilidade do setor de transporte de cargas. E isso representa mais do que todas as usinas termelétricas

brasileiras [22]. Portanto trariam mudanças no modal de transportes e no modo de como são produzidos os veículos em larga escala.

Uma das alternativa para redução da emissão de  $CO_2$  no ambiente e que utiliza energia limpa é a difusão novamente dos veículos elétricos. Essa busca não está acontecendo apenas pelos veículos comuns serem poluentes mas, um dos outros fatores que proporcionou essa busca por novas fontes de energia, foi pelo crescimento no preço do petróleo causado tanto por conflitos políticos, principalmente entre Irã e EUA que consequentemente, fez com que o preço do petróleo aumentasse também no Brasil, quanto pela sua exponencial escassez. A inserção de veículos elétricos no mercado automobilístico vem crescendo de maneira expressiva com o passar dos anos, sendo que de acordo com a Internacional Energy Agency (IEA) em 2017, foram vendidos cerca de 1,15 milhão de veículos elétricos, puramente elétricos em todo o mundo, o equivalente a aproximadamente 0,7% do total. Embora ainda representem uma pequena fração do total, desde 2012, esse mercado vem crescendo 57,7% ao ano, contra 3,1% do mercado de convencionais. A maior participação é de Battery Electric Vehicles (BEVs), atingindo 65% das vendas de veículos elétricos [23]. Esse aumento nas vendas de veículos elétricos proporcionará uma redução na demanda por petróleo de aproximadamente 1,3 MB/D (Milhões de Barris por Dia)[1].

Em 2017, os carros elétricos ainda eram contados em centenas, mas devido ao avanço das tecnologias esse número vai aumentar exponencialmente. A previsão será de que em 2030 serão vendidos mais de 20 milhões de carros elétricos e em 2040, entre 35% e 40% dos carros estarão equipados com um motor elétrico. O gráfico da evolução do crescimento do mercado de VE's é representado na figura 1.

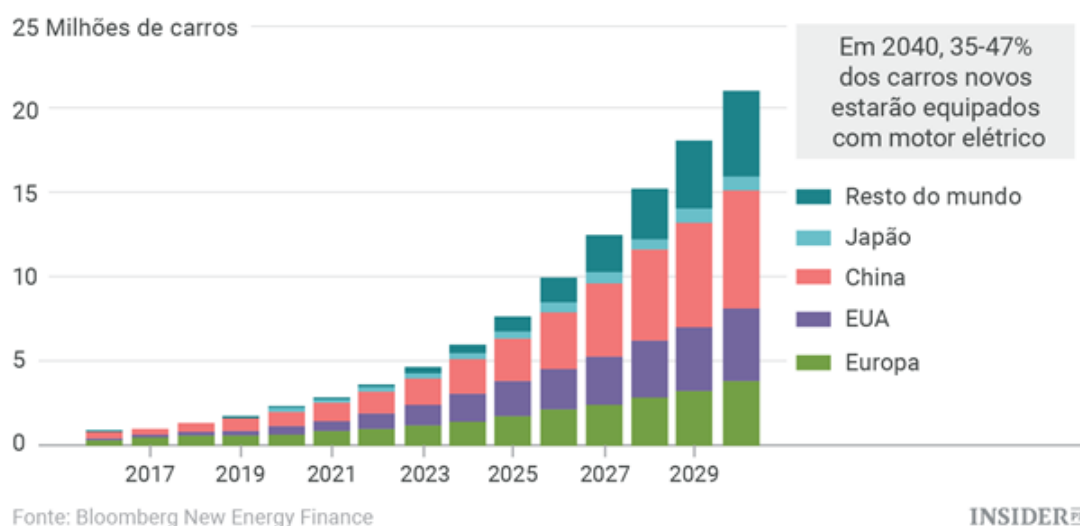


Figura 1 – Crescimento do mercado de veículos elétricos [47]

A aceitação dos veículos elétricos (VE's) tem sido facilitada pelas políticas de apoio implementadas pelos governos e cidades e os benefícios ocorrem nos campos da descarbonização dos transportes, redução da poluição atmosférica e eficiência e segurança energética

[3]. O surgimento de novos modelos com maior autonomia também tem incentivado o crescimento dos VE's no mundo. A figura 2 apresenta a quantidade de VE's e de veículos híbridos vendidos pelas principais potências deste segmento.



Figura 2 – Quantidade de carros elétricos vendidos de 2010-2019 [17]

No Brasil existem projetos de lei que buscam incentivos para a venda de VE's, como o projeto de lei do Senado número 174 de 2014 que isenta do Imposto sobre o Produto Industrializado (IPI) para os automóveis elétricos a bateria ou híbridos a etanol. E o projeto de lei da Câmara número 65 de 2014, que institui a obrigatoriedade de instalação de pontos de recarga para veículos elétricos em vias públicas e ambientes residenciais e comerciais. Esse projeto Impõe que as concessionárias de energia elétrica devem instalar pontos de recarga em estacionamentos públicos e ao poder público desenvolver mecanismos que tornem possível a instalação [1]. Em alguns estados do nordeste como Ceará, Piauí e Maranhão os proprietários de veículos elétricos são isentos do IPVA.

O Brasil ainda está muito distante das demais potências do mundo, no ano de 2017 foram comercializados 3.296 carros híbridos, movidos a energia elétrica e a combustão no Brasil. Esse número refere-se a apenas 0,15% dos 2.239 milhões veículos desse mesmo modelo vendidos no mundo. No início do ano de 2018, houve um crescimento de cerca de 65% dessa frota no país, elevando o número de carros híbridos para 8.500. Um crescimento considerável apesar de ainda pequeno, uma vez que essa quantidade representa apenas 0,02% de todos os mais de 43 milhões de veículos circulantes no Brasil. Enquanto no Brasil as vendas chegaram a 8.500 modelos, a frota mundial de veículos elétricos e híbridos chegou à marca de 3,2 milhões de veículos [4].

O número de veículos por habitante vem se mantendo estável desde 2015. Em 2018,

a média foi de 4,8 habitantes por veículo. Estudos apontam que o número de veículos por habitantes vem caindo em 2007, era de 1 veículo para cada 7,3 habitantes. A inclusão de veículos elétricos acarreta uma sequência de mudanças devido ao modelo e demanda de energia, entre eles pode-se citar:

- O crescimento do consumo de energia devido ao aumento da demanda de carros no sistema de distribuição;
- Implantação de postos para recarga destes veículos (eletropostos);
- Uma modernização da rede atual deve ser feita para que a demanda seja atendida;

Segundo a ANEEL o Brasil possui 168 GW de potência instalada. E se todos os veículos se tornassem elétricos o consumo de energia aumentaria em 40% [13]. Esse número é bastante expressivo sendo esse o desafio principal para o setor.

A capacidade atual do sistema elétrico não suportaria o consumo de energia deste tamanho. Ainda que a potência instalada representa condições ideais de geração onde, todas as hidrelétricas conectadas estão com os reservatórios no seu volume máximo. Mas sabe-se que não é assim que realmente funciona. Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) no dia 16 de Janeiro de 2019, o sistema apresentou um recorde na demanda por energia elétrica, com a carga atingindo 87.000 megawatts (MW). A demanda foi superior ao apurado no dia 15 de Janeiro de 2019, quando a carga máxima registrada no sistema interligado do país atingiu 85.800 MW. Os dois valores superaram o recorde anterior, do dia 5 de fevereiro de 2014, quando a demanda máxima chegou a 85.708 MW [24]. O ONS informou que os recordes de demanda ocorreram em dias atípicos, nos quais houve restrições importantes no sistema de operação [24]. Um fator que contribuiu para este consumo foram as altas temperaturas no mês de Janeiro.

Nos moldes atuais do sistema de distribuição, as hidrelétricas já não estão conseguindo atender à demanda de energia necessária. Segundo a nota técnica divulgada pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), a partir de outubro de 2021, a capacidade atual de geração de energia do Brasil não vai ser suficiente para atender à demanda da população. No documento, o órgão destaca ser imprescindível aumentar em 5,5 GW (cerca de 7,5%) a oferta de eletricidade a partir de setembro de 2021.

Com a adição de carros elétricos, as hidrelétricas não conseguiriam suprir essa demanda de consumo e por isso, seria necessário buscar formas de consumo de energia que gerem menos impactos no sistema de distribuição. Os desafios para implantar os carros elétricos no Brasil são muitos mas, como todas as formas de modernização, essas mudanças são extremamente necessárias para que a mudança no nosso modo de pensar e agir de hoje seja mudado para um modo mais sustentável e eficiente para a produção de energia.

## 1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar conceitos e apontar os desafios que relacionam os veículos elétricos à rede de distribuição de energia elétrica mostrando quais são os impactos causados pela inserção desses veículos e apresentar uma proposta que vise melhorar a operação da rede elétrica com a utilização destes veículos elétricos. Para entender melhor o funcionamento e características dos VE's, serão abordados os seguintes tópicos:

- Analisar os impactos da mudança de veículos à combustão para VE's, as vantagens proporcionadas por essa mudança e buscar estratégias para que o sistema de distribuição suporte toda essa nova malha de VE's.
- Realizar um levantamento de consumo residencial e comercial da região de João Monlevade e simular o consumo no OPENDSS.
- Realizar um estudo de caso via simulação no Matlab de quais seriam os impactos de se carregar um VE em um bairro tipicamente residencial-comercial e quais são os impactos para a rede de distribuição.
- Realizar um estudo de caso via simulação Matlab onde o VE carrega durante a madrugada e injeta energia na rede em horário de pico.
- Realizar um estudo de caso via simulação Matlab onde o sistema analisado tem energia fotovoltaica e o VE carrega durante o período de geração fotovoltaica e injeta energia durante o horário de pico.
- Buscar soluções técnicas e econômicas para diminuir esses impactos.

## 1.3 Estrutura do texto

Este trabalho está dividido em 4 capítulos, onde esse primeiro capítulo apresenta a motivação e contextualização sobre o tema e aborda também os objetivos gerais do seu estudo. O segundo capítulo aborda os elementos e arquitetura dos VE's, o sistema de distribuição e matriz energética brasileira. O terceiro capítulo aborda um cálculo comparativo entre carros elétricos e a combustão para mostrar qual é mais viável, é feita a escolha do veículo elétrico utilizado na simulação, a curva de carga do sistema de distribuição e são apresentados os softwares utilizados para a simulação dos casos. O quarto capítulo aborda os resultados obtidos na simulação onde foram simulados casos onde os VE's são conectados à rede de distribuição sem se preocupar com o horário e buscando formas de reduzir esses impactos com um carregamento mais eficiente, escolhendo o horário de menor demanda e utilizando energia solar e simulando um cenário onde os

carros contribuem para diminuir a demanda de energia na rede onde eles injetam energia na rede em horário de pico.



## 2 Revisão bibliográfica

Este capítulo visa apresentar as características e conceitos da arquitetura dos veículos elétricos, que são divididos em três classes: Veículos elétricos híbridos (HEV's), Veículos elétricos plug-in (PHEV) e Veículos elétricos à bateria (BEV) e relacionar as características desses veículos com a matriz energética brasileira.

### 2.1 Veículos elétricos híbridos (HEV's)

Veículos elétricos híbridos são aqueles acionados por um motor elétrico e um motor de combustão (MCI). Os HEV's apresentam ganhos de eficiência, principalmente nas baixas rotações, pois nessa condição de operação os motores de combustão interna com ciclo Otto apresentam baixo desempenho energético [7]. Ou seja, faz-se uso do motor elétrico e evita-se o uso do MCI em condição de baixas rotações. De modo geral, a redução do consumo de combustível de um automóvel híbrido completo, em relação a um veículo convencional, pode ser de até 40% em condições urbanas, de 15 a 20% em estrada [7].

Existem três configurações que são mais comercializadas de HEV's, onde sua variação acontece de acordo com a forma de transmissão de energia para as rodas, são elas: Configuração série, Configuração paralelo e Configuração mista, as quais serão apresentadas a seguir.

#### 2.1.1 Configuração em série

Nesta configuração o acionamento das rodas é feito exclusivamente utilizando o motor elétrico e o MCI que vai atuar nessa configuração apenas como gerador. Esse tipo de configuração possui a vantagem de ser utilizado em baixas velocidades e quando muitas paradas são necessárias mas possui a desvantagem de necessitar de mais baterias do que a configuração paralelo. A figura 3, representa a arquitetura da configuração série.

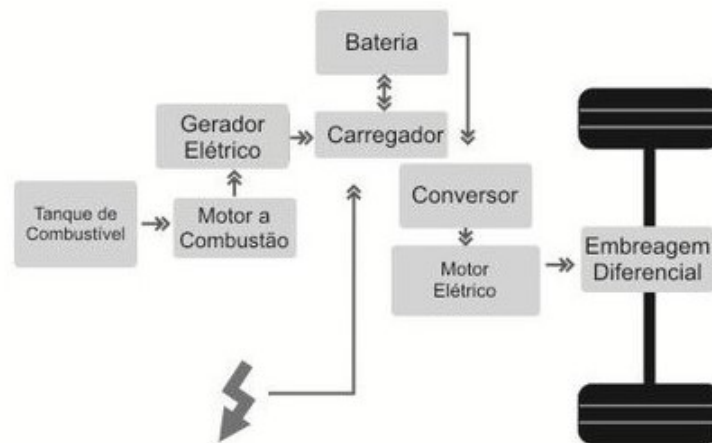


Figura 3 – Arquitetura veículos elétricos-Configuração série [25]

### 2.1.2 Configuração em paralelo

Nessa configuração, o motor elétrico e o motor de combustão se encontram em paralelo e os dois atuam no acionamento das rodas, onde o motor elétrico está conectado ao eixo dianteiro, e o eixo traseiro é movido pelo motor a combustão. É mais utilizada quando é exigida uma maior potência como, em subidas e na aceleração, essa configuração tem a vantagem de possuir um motor de combustão menor que o da configuração em série mas conseqüentemente tem a desvantagem de ser mais caro. A figura 4, representa a arquitetura da configuração paralelo.

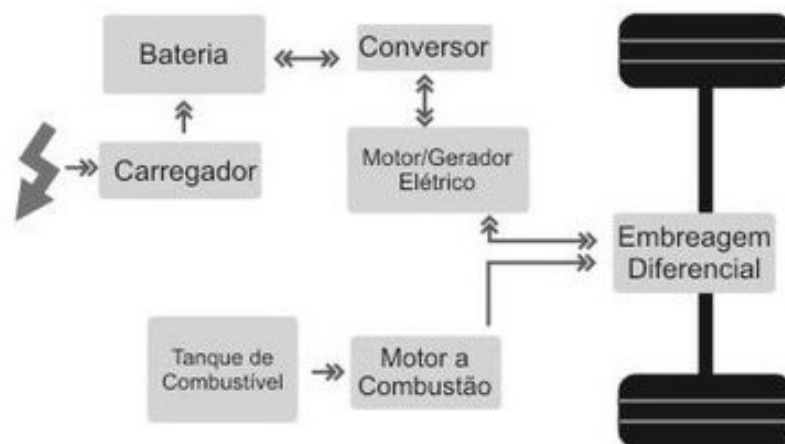


Figura 4 – Arquitetura veículos elétricos-Configuração paralelo [25]

### 2.1.3 Configuração mista

A configuração mista visa a combinação das duas arquiteturas, série e paralelo, com o objetivo de englobar as vantagens das duas configurações. A configuração paralelo

aparece nesta configuração onde o sistema de combustão mista está diretamente ligado às rodas mas ao mesmo tempo tem-se a possibilidade de se desconectar da transmissão e operar como a configuração em série fazendo com que o veículo funcione em baixa rotação. O contrário também ocorre quando é necessária uma maior potência dos motores, essa configuração permite a troca para a configuração em paralelo novamente.

Ao mesmo tempo que essa configuração engloba as vantagens da configuração série e da configuração em paralelo, por consequência, algumas desvantagens também são vistas como: o custo ser mais caro do que as duas configurações (serie e paralelo) e também precisa de conjunto de baterias maior para suportar as duas configurações. A maioria dos veículos que aplicam sistemas misto é dotada de tecnologia para regeneração de energia, como por exemplo, os freios regenerativos, que são capazes de transformar a energia cinética gerada pelo sistema em energia elétrica, basicamente utilizando uma característica dos motores elétricos, ou seja, atuando como gerador [8]. A figura 5 representa a arquitetura dos motores elétricos na configuração mista.

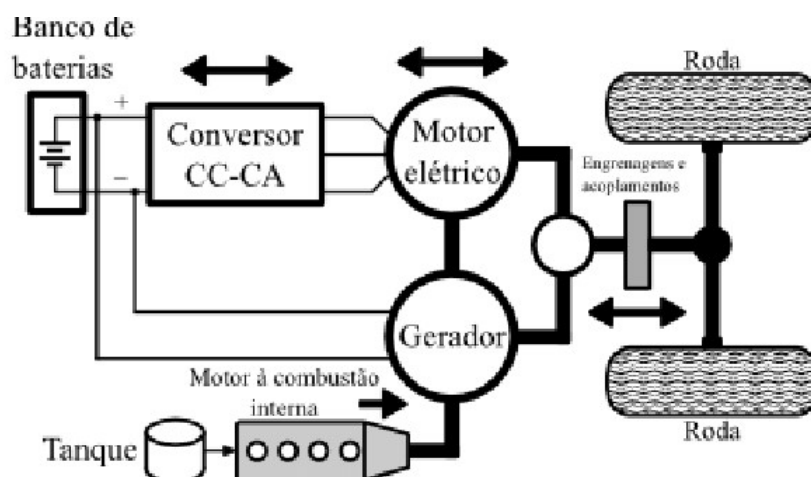


Figura 5 – Arquitetura veículos elétricos-Configuração mista [33]

## 2.2 Veículos elétricos plug-in (PHEV)

Esses veículos tem como diferencial um plugue que permite a conexão do carro à tomada. Através de um cabo, é possível alimentar a bateria através de uma fonte de energia residencial ou por meio de eletropostos. Estes veículos tem a vantagem de possuir uma bateria com maior capacidade de armazenamento de energia. Deste modo, o carro consegue percorrer distâncias maiores utilizando apenas o motor elétrico. A figura 6 apresenta a configuração plug-in de um carro elétrico.

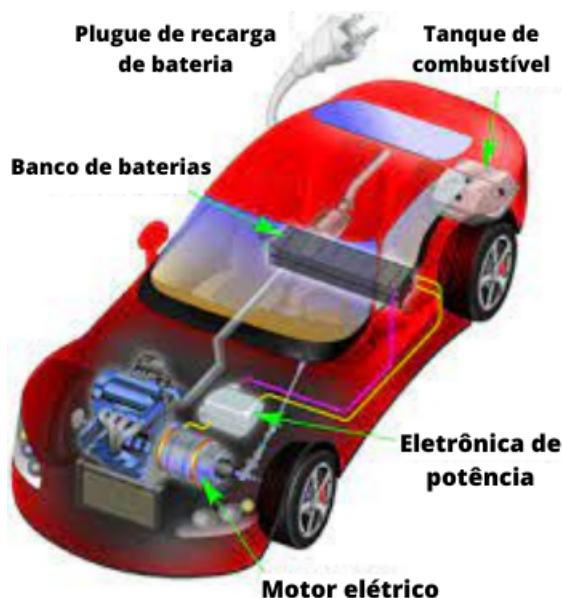


Figura 6 – Configuração plug-in adaptado de [8]

Segundo o Canaltech, os carros híbridos plug-in possuem, baterias maiores e com maior capacidade. Como por exemplo o Volvo XC40 Plug-in Hybrid, sua bateria é de 10,7 kw/h, o que lhe dá a capacidade de rodar apenas no modo elétrico, sem precisar utilizar o combustível (álcool ou gasolina), por até 40 quilômetros a uma velocidade máxima de 100 km/h. Ou seja, desempenho suficiente para ir ao trabalho e voltar com apenas uma carga.

Além disso, outro ponto que deve ser observado no comparativo é a autonomia total. Com uma média de 20 a 25 km/l, o Volvo XC40 pode andar pouco mais de 1.000 quilômetros com um tanque de combustível. Isso é possível porque, mesmo sem existir estações de recarga à disposição em uma estrada, a própria frenagem e o motor a combustão são capazes de carregar o carro e reabastecer a bateria [48]. Mas o tempo de carregamento pode variar de acordo com o tipo do veículo elétrico plug-in pois, existem três tipos básicos de carregamento que são apresentados no tópico abaixo.

### 2.2.1 Tipos de Carregamento

Existem basicamente três tipos de carregamento de veículos elétricos plug-in:

- Lento: O tempo de carregamento é de 6 a 8 horas recomendado para uso residencial e empresas.
- Semi-Rápido: O tempo de carregamento é entre 1 a 2 horas recomendado para locais públicos, centros comerciais, shopping centers, estacionamentos, etc.
- Rápido: O tempo de carregamento é de 30 minutos para atingir 80% de carga e 1 hora para 100% da carga. Recomendado para rodovias.

## 2.3 Veículos elétricos à bateria (BEV)

Nessa configuração o acionamento do carro é feito através de um motor elétrico que é alimentado pela energia armazenada no banco de baterias. Possuem a vantagem de serem recarregados via energia elétrica e também pela tecnologia dos freios regenerativos. O BEV não apresenta embreagem e não requer um complexo sistema de transmissão de marchas tipicamente utilizados nos veículos de MCI. Além disso, a sua eficiência é mais elevada, principalmente na arrancada em baixas velocidades. O alto rendimento do motor elétrico, usualmente superior a 90%, juntamente com a frenagem regenerativa tornam a eficiência dos BEV's superior a outras categorias de veículos. Pode-se estimar que o veículo elétrico é três vezes mais eficiente que um veículo a combustão interna tradicional e duas vezes mais que um veículo híbrido [7].

O ambiente de pesquisa está em constante crescimento e algumas pesquisas estão sendo desenvolvidas como, por exemplo, VE de célula combustível onde seu consumo é suprido por células a combustível, um equipamento eletroquímico que transforma a energia do hidrogênio diretamente em eletricidade. O hidrogênio é distribuído diretamente ou produzido a partir do gás natural, metanol ou etanol. O automóvel elétrico de célula combustível também usa à bordo importantes sistemas de acumulação de energia, sejam baterias ou capacitores.

A tabela 1, apresenta um comparativo entre os tipos de VE's apresentados nos tópicos acima e o carro a combustão.

Tabela 1 – Comparativo entre os tipos de VE's e o carro à combustão Adaptado de [34]

	Motor de combustão interna	Veículo elétrico		
SIGLA	ICE	BEV (BATTERY EV)	HEV (HYBRID EV)	PHEV (PLUG-IN HYBRID EV)
MOTOR	COMBUSTÃO	ELÉTRICO	COMBUSTÃO + ELÉTRICO	COMBUSTÃO + ELÉTRICO
BATERIAS	-	SIM, MUITAS	SIM, CAPACIDADE MENOR	SIM, CAPACIDADE MENOR
PREÇO POR KM	O MAIS ALTO	MUITO BAIXO	BAIXO	BAIXO
ABASTECIMENTO	POSTO DE COMBUSTÍVEL	CARREGADOR/TOMADA	POSTO DE COMBUSTÍVEL	POSTO DE COMBUSTÍVEL CARREGADOR/TOMADA
CUSTO DE MANUTENÇÃO	MÉDIO	MUITO BAIXO	MUITO ALTO	ALTO
TEMPO DE ABASTECIMENTO	POUCOS MINUTOS	3 A 10 HORAS	POUCOS MINUTOS	1 A 3 HORAS
EMITE GASES	SIM	NENHUM	SIM	SIM
EXIGE TROCA DE ÓLEO	SIM	NÃO	SIM	SIM

Nesta tabela pode-se ver quais são as vantagens e desvantagens de cada tipo de veículo, onde se tira uma conclusão geral que, se forem analisadas todas as características, qualquer um dos VE's é mais vantajoso do que o veículo a combustão.

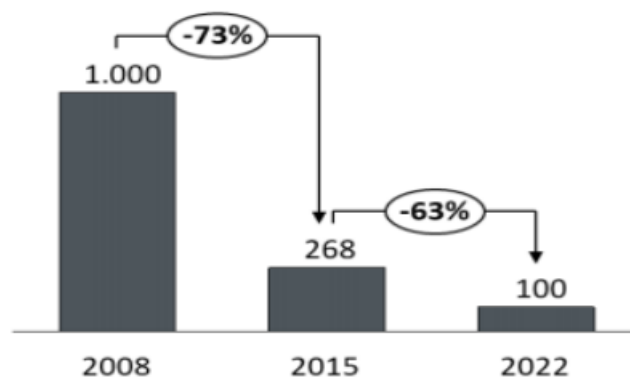
## 2.4 Tipos de baterias

As baterias são os compostos que transformam a energia química em energia elétrica, as quais possuem dois eletrodos, um positivo e outro negativo e unidos por um eletrólito, onde a reação entre os eletrodos e o eletrólito gera a energia elétrica. A bateria tem três características básicas:

- Energia específica: consiste na quantidade de energia armazenada na bateria por unidade de massa.
- Potência específica: é a potência fornecida por unidade de massa.
- O tempo de vida útil: corresponde ao número de ciclos de carga/descarga a que a bateria pode ser sujeita.

As principais tecnologias de baterias recarregáveis resumem-se as baterias de ChumboÁcido (Pb), Níquel Cádmio (Ni-Cd), Hidreto Metálico de Níquel (Ni-Mh), Íon de Lítio (Li-Ion) e Cloreto de Sódio-Níquel (Na/NiCl<sub>2</sub>) [9].

Segundo uma pesquisa do IEA (International Energy Agency) o preço das baterias tende a diminuir como é apresentado na figura 7.



Fonte: IEA (2017)

Figura 7 – Custo da bateria US\$/kWh [17]

### 2.4.1 Bateria de Chumbo-Ácido

Possui um baixo custo e é o tipo de bateria mais antigo utilizado em VE. Tem a desvantagem de possuir baixa energia específica e reposição periódica de eletrólito.

## 2.4.2 Bateria de Níquel–Hidreto Metálico Chumbo-Ácido

O motivo da bateria de Ni-MH ser uma das mais utilizada se deve principalmente à elevada densidade de energia, e, também, ao uso de hidreto de metal, que por sua vez não contamina o meio ambiente. Esse tipo de bateria, por exemplo, possui densidade de energia 40% maior em relação a uma de Ni-Cd. Em contrapartida, possui menor durabilidade, já que as altas temperaturas de carga reduzem seu tempo de vida útil, além do fato de que as baterias de Ni-Mh também sofrem o fenômeno de auto-descarregamento [9].

## 2.4.3 Bateria de Lítio-Ion

Possui com vantagem uma elevada densidade de potência e de energia que são características muito importantes para o uso em VE's. Possuem também um alto índice de auto-descarga e elevadas correntes de descarga mas, tem a desvantagem de possuir baixa tolerância a picos de potência necessitando de proteção e elevado custo de fabricação [9].

## 2.4.4 Bateria de Cloreto de Sódio – Níquel

Também conhecida como Zebra está sendo muito utilizada em veículos elétricos atuais tem a vantagem de ser completamente reciclável e de não exigir constante manutenção e contrapartida,tem a desvantagem de operar em temperaturas muito altas (entre 270C e 350C [9]) e possuir uma taxa de descarregamento de 10% ao dia.

A tabela 2 apresenta uma tabela, que engloba as características principais desses tipos de baterias.

Tabela 2 – Tipos de baterias mais usadas em veículos elétricos:Adaptado de [9]

	<b>Pb</b>	<b>Ni-Cd</b>	<b>Ni-Mh</b>	<b>Li-Ion</b>	<b>NaNiCl<sub>2</sub></b>
<b>Custo</b>	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	Médio
<b>Energia (Wh/kg)</b>	30-50	50-80	40-100	160	100
<b>Tensão por célula (V)</b>	2,00	1,25	1,25	3,60	2,70
<b>Corrente de carga</b>	Baixa	Muito Baixa	Moderada	Alta	Moderada
<b>N de ciclos</b>	200-500	1000	1000	1200	1000
<b>Alto descarga mês (%)</b>	5%	20%	30%	10%	10%
<b>Tempo mínimo carga (h)</b>	8-16	1-1,5	2-4	2-4	8

Atualmente as baterias de chumbo-ácido, níquel-metal-hidreto(NiMH), lítio-íon e super-ferro (super iron) tem sido utilizadas nos VE's. As baterias Lítio-íon são as mais utilizadas para armazenamento de energia [8].

Mas escolha pelo tipo de bateria que será utilizada depende da densidade energética a qual se pretende obter. Densidade energética, é o termo que define a capacidade de armazenamento de energia da bateria. Seu valor é definido em quilowatt-hora (kWh). De acordo com o coordenador de eventos da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA), Ricardo Takahira, as baterias de níquel-hidreto metálico são mais estáveis e,

portanto, oferecem menor risco de apresentar defeitos. Mas Takahira, engenheiro eletrônico especializado em veículos elétricos, garante que as baterias de íons de lítio são mais modernas. Elas equipam os carros da Tesla, BMWi (i3 e i8), Jaguar I-Pace, Nissan Leaf, Renault Zoe, entre outros [5]. O gráfico representado pela figura 8, apresenta os tipos de baterias mais utilizadas em veículos elétricos.

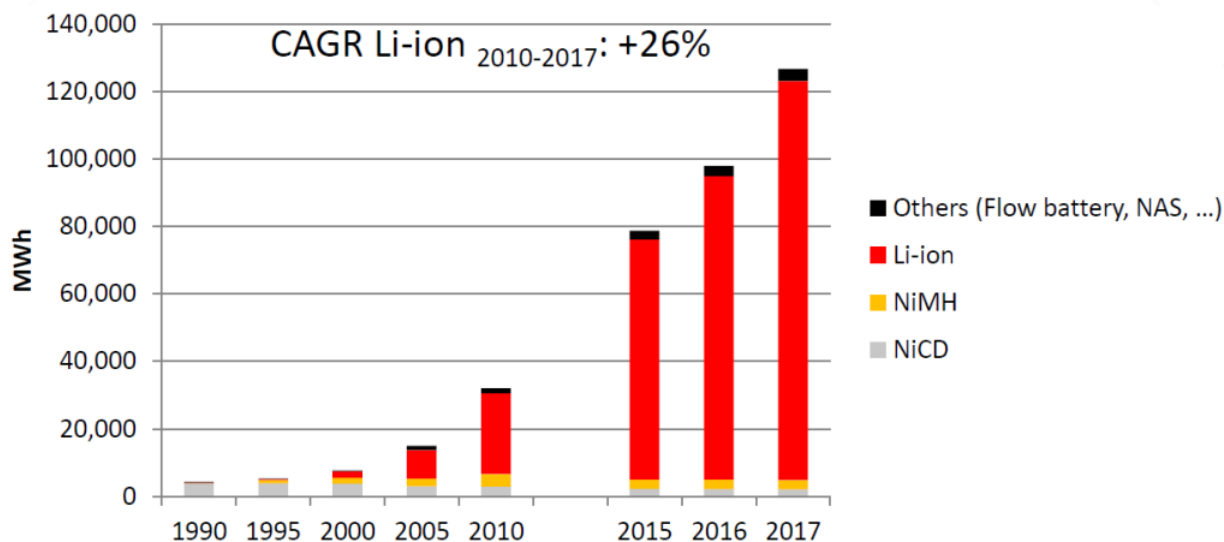


Figura 8 – Mercado global de baterias: Adaptado de [46]

## 2.5 Crescimento e Incentivos do mercado mundial de VE's

O mercado de carros elétricos já é uma realidade em países como EUA e China. Já no Brasil esses veículos estão começando a serem introduzidos apresentando uma tendência para um crescimento. Segundo pesquisas da IEA, a frota mundial de carros elétricos passará de 2 milhões de veículos elétricos (2016) para 280 milhões de veículos em todo o mundo até 2040 [12]. Esse crescimento se deve ao resultado direto de investimentos em produção de eletricidade a partir de fontes de energias limpas. Segundo ainda afirma a pesquisa, o aumento da frota mundial de veículos elétricos nos próximos anos será impulsionado principalmente pela China, Europa, Japão e Estados Unidos. Apenas na Índia, que possui uma população de 1,3 bilhão de habitantes, será responsável por 30% do aumento previsto na demanda global de eletricidade até 2040. A figura 9 apresenta a projeção de produção de carros elétricos por países.



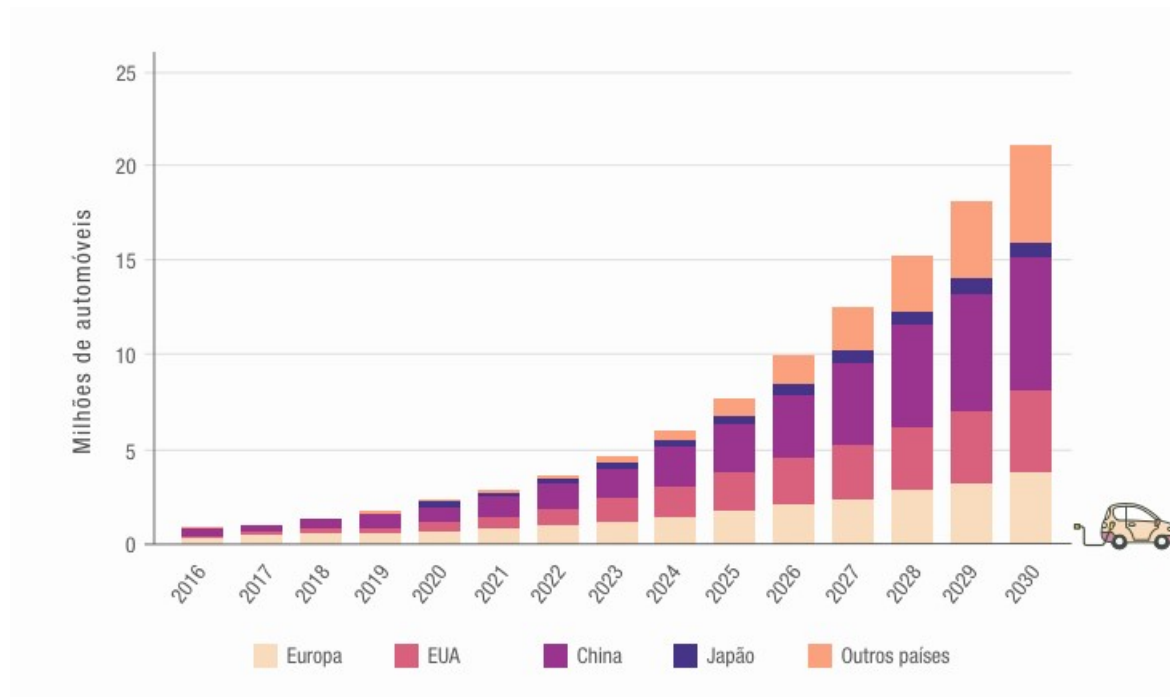


Figura 9 – Crescimento do mercado de veículos elétricos no mundo. [12]

Políticas de investimentos devem ser pensadas para que os carros elétricos se tornem uma realidade mais acessível ao consumidor final. Em países da Europa, por exemplo, o incentivo em produção de veículos elétricos deve-se ao fato de que para reduzir os níveis de dióxido de nitrogênio, o governo de países como a França e o Reino Unido já estabeleceu que a partir de 2040, não serão mais vendidos carros a gasolina e diesel, assim como já não são mais comercializados os veículos movidos a etanol. A China grande produtora de veículos elétricos além da questão ambiental, fez um decreto de que 10% de toda a frota comercializada a partir de 2019, deveria ser elétrica ou híbrida [4]. E muito desse crescimento se dá pelo fato de muitas montadoras de veículos elétricos estarem na China como por exemplo, a BYD maior produtora do mundo no seguimento. A figura 10 apresenta o crescimento na produção de veículos elétricos na China em relação ao seu maior concorrente, os Estados Unidos.

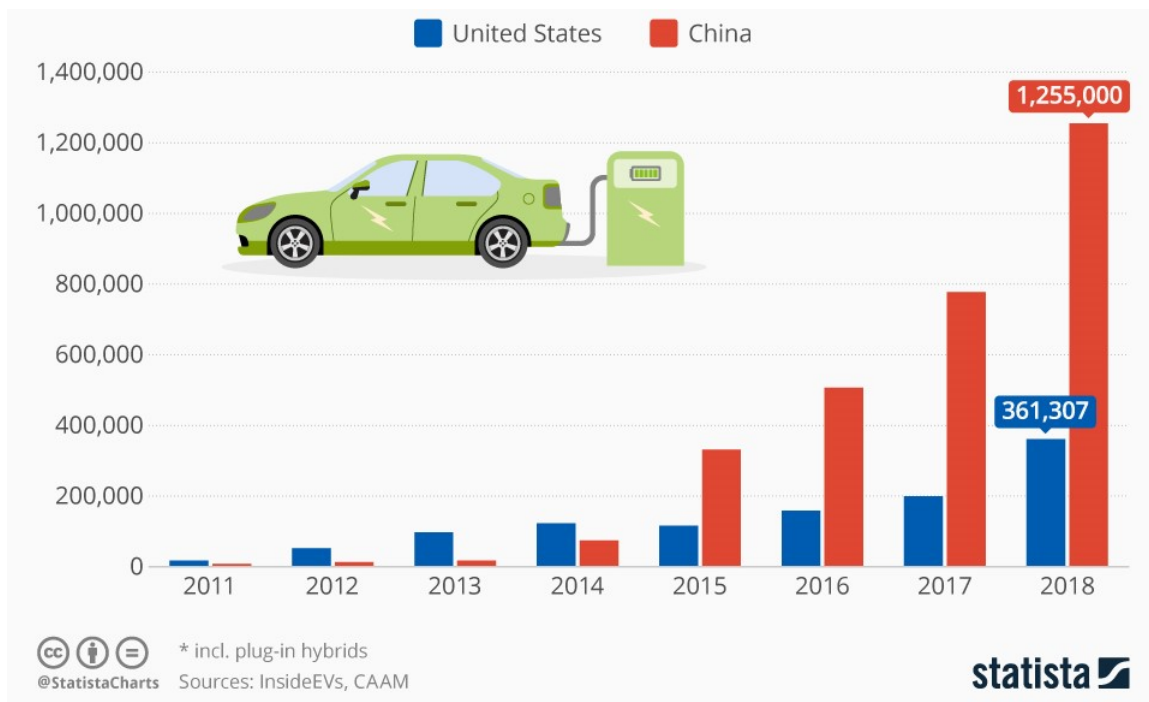


Figura 10 – Estimativa de produção de VE plug-in nos EUA e na China [26]

O Brasil também está evoluindo consideravelmente em sua frota de veículos elétricos. A figura 11 apresenta um gráfico com um panorama da frota de veículos elétricos no Brasil desde 2015 até os dias atuais, sejam eles elétricos, híbridos ou híbridos plugin.

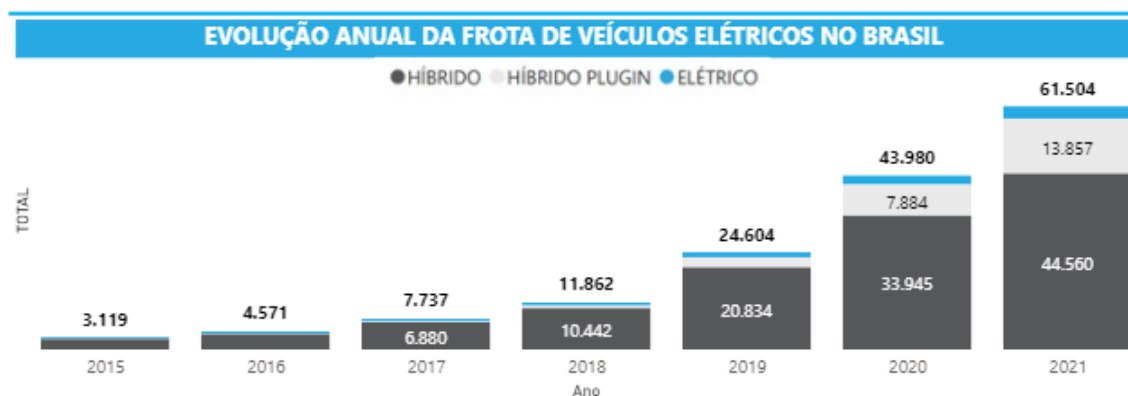


Figura 11 – Evolução anual da frota de Ve's no Brasil [45]

Na figura 12, é apresentada a evolução da frota do ano de dezembro de 2019 até junho de 2021.

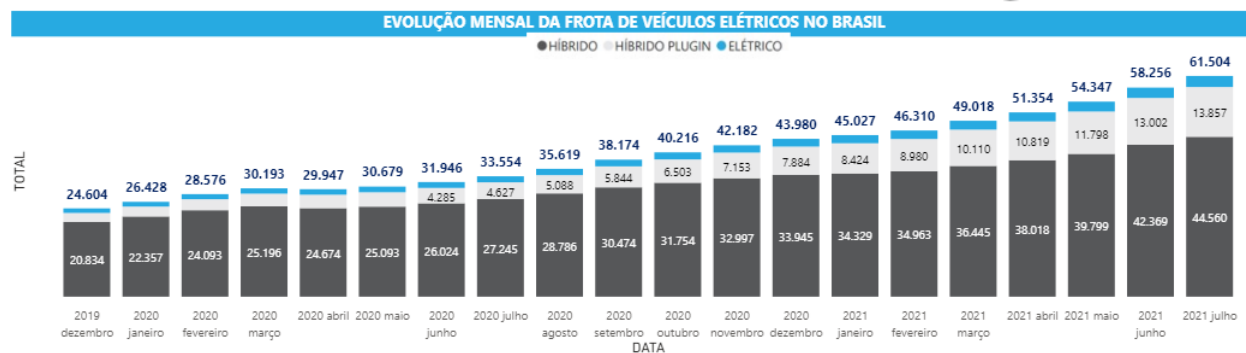


Figura 12 – Evolução mensal da frota de Ve's no Brasil [45]

Segundo o IEA existe uma associação composta por 16 países incluindo China e EUA denominada Associação EVI (Iniciativa Veículos Elétricos) que tem por objetivo criar políticas multi governamentais dedicado a acelerar a introdução e adoção de veículos elétricos em todo o mundo. As políticas mais importantes serão citadas no tópicos 2.5.1 à 2.5.4.

### 2.5.1 EV30 @ 30

Foi uma campanha foi lançada junho de 2017, com o objetivo de acelerar a implantação de veículos elétricos com uma meta de vendas de veículos novos elétrica pelo menos 30 por cento até 2030. A campanha totaliza atualmente 11 países membros e 29 de apoio empresas e organizações. A campanha apoia o mercado de carros elétricos de passageiros, comerciais leves, ônibus e caminhões (incluindo os tipos de bateria elétrica, híbrida plug-in e célula a combustível). Ele também trabalha na implantação da infraestrutura de carregamento para fornecer energia suficiente aos veículos implantados [11].

### 2.5.2 Programa Global de Pilotos EV

Programa lançado em maio de 2018 que visa criar uma plataforma global para facilitar as comunicações e a cooperação entre as principais cidades globais interessadas em estimular e aumentar a aceitação da mobilidade elétrica em suas jurisdições [11].

### 2.5.3 Declaração da Frota do Governo

Reconhecendo a importância de reduzir as emissões de carbono no setor de transportes, oito nações, Canadá, China, França, Japão, Noruega, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos, assinaram uma Declaração da Frota do Governo em novembro de 2016, comprometendo-se a aumentar a participação de veículos elétricos em suas frotas governamentais e pedindo que outros governos se juntem a eles [11].

### 2.5.4 Declaração de Paris sobre eletro-mobilidade e mudança climática

O EVI e a AIE participaram do Foco de Transporte da Agenda de Ação de Paris em Lima (LPAA) e contribuíram para a elaboração da Declaração de Paris sobre eletro-mobilidade e mudança climática e o chamado à ação. Este documento pede a implantação de veículos elétricos compatíveis com uma participação de 20% de todos os veículos de transporte rodoviário em 2030, incluindo mais de 100 milhões de carros. A EVI e a AIE também reuniram consenso de parceiros e partes interessadas para endossar a Declaração de Paris [11].

## 2.6 O sistema de distribuição e a matriz energética brasileira

A distribuição da energia elétrica se caracteriza como o segmento do setor elétrico dedicado ao rebaixamento da tensão proveniente do sistema de transmissão, à conexão de centrais geradoras e ao fornecimento de energia elétrica ao consumidor [27].

O sistema de distribuição é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em níveis de alta tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV), média tensão (superior a 1 kV e inferior a 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a 1 kV) [27].

Atualmente, o Brasil possui 105 distribuidoras de energia elétrica, sendo 54 concessionárias e 38 permissionárias, além de 13 cooperativas de eletrização rural, que atuam sob autorização precária e estão em processo de regularização para serem concessionárias ou permissionárias [27].

A matriz energética brasileira é bastante diversificada e refere-se ao conjunto de fontes de energia utilizadas para atender à demanda de produção energética do país. A matriz brasileira é uma das mais renováveis do mundo, o que é uma grande vantagem se considerarmos que a matriz energética mundial é completamente dependente do uso de combustíveis fósseis [28]. Esta relação de fontes renováveis e não renováveis está representada no gráfico da figura 13.

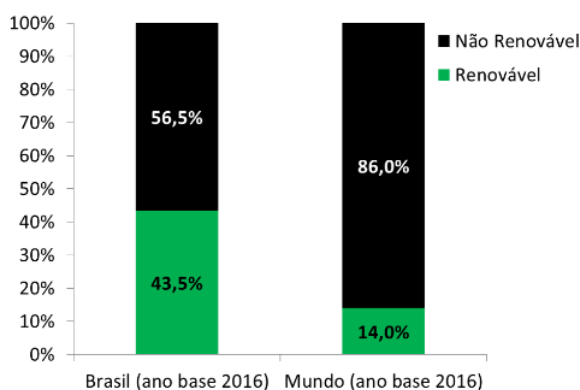


Figura 13 – Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo [29]

As hidrelétricas são a principal fonte de energia elétrica segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), representando 58,9% de toda a geração do país. Como está sendo representada na figura 14.

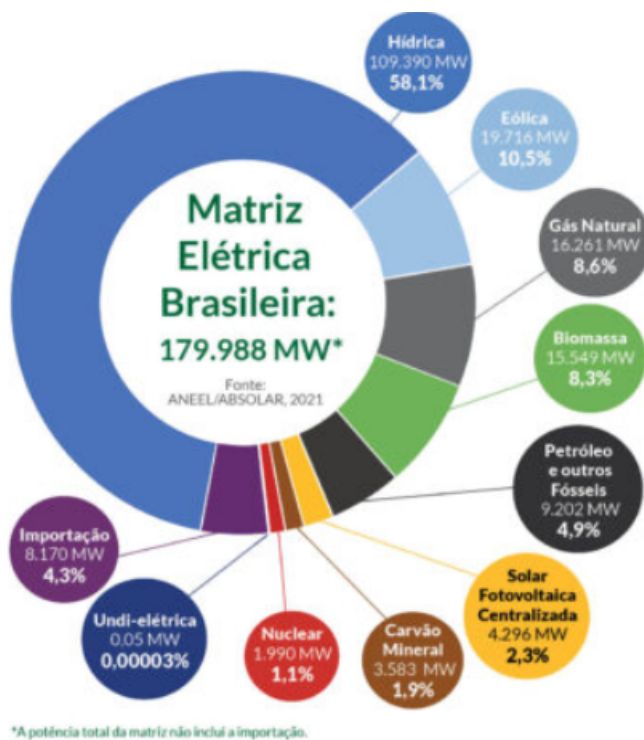


Figura 14 – Infográfico matriz elétrica Brasileira [30]

Apesar disso, o Brasil ainda depende de combustíveis fósseis para geração de energia, o que representa a maior desvantagem da matriz energética brasileira [28]. Em uma crise hídrica, como estamos vivendo atualmente, a fonte que é utilizada são as termelétricas que possuem um preço muito elevado, além de prejudicar o ambiente.

A matriz energética brasileira é basicamente pluvial, ou seja, dependem dos rios e quando não chove, o nível dos rios ficam muito baixo o que se torna um grande problema

para a geração de energia elétrica por essa fonte. Como foi apresentado nos tópicos anteriores, os veículos plug-in são os mais populares e conseqüentemente, os mais vendidos. Se isso for tomado como referência, os veículos elétricos comprados pela população serão carregados na rede elétrica do sistema de distribuição. Com isso, quando os VE's forem conectados, o sistema não vai suportar essa alta demanda de energia.

Não será possível construir hidrelétricas em um prazo curto pois, as hidrelétricas precisam de uma grande área, de muito investimento e levam muito tempo para ficarem prontas.

Novos caminhos precisam ser encontrados para a geração de energia pois, não seria nada eficiente carregar os veículos utilizando energia de termelétricas por exemplo, que é uma energia mais cara e menos viável. Uma solução seria utilizar a energia solar que é a geração de energia elétrica usando a luz do sol como fonte de energia. Essa fonte de energia já é uma realidade em nosso país e pode ser implantada tanto em residências quanto no comércio. Por ser uma energia que depende do sol, os Ve's devem carregar durante o dia, que é quando esse sistema de geração atinge o seu máximo patamar de eficiência entre os horários das 12h às 15h.

Um estudo de caso foi proposto neste trabalho para analisar os impactos onde 100 carros elétricos conetados ao sistema elétrico em um bairro residencial-comercial. Neste trabalho serão abordadas também soluções para que o carregamento dos veículos elétricos seja eficiente e causem o menor impacto possível no sistema de distribuição. Também serão apresentadas algumas soluções visando que os VEs contribuam para a redução da demanda de energia elétrica no horário de pico.

## 3 Desenvolvimento

Este capítulo apresenta os cálculos preliminares que justificam a necessidade de buscar soluções para os impactos que os VE's irão causar ao sistema de distribuição de energia elétrica. Também são apresentados os diversos tipos de VE's e suas características. Será escolhido o VE que será utilizado na simulação na qual se utilizará curva de carga do bairro piloto. A simulação será feita utilizando softwares utilizados no mercado.

### 3.1 Carros elétricos vs Carros a combustão

Este tópico apresenta um comparativo entre automóvel a combustão e o automóvel elétrico visando responder a seguinte pergunta: é rentável trocar o automóvel a combustão para elétrico? Para isso será utilizado como exemplo o carro elétrico Nissan Leaf e o carro à combustão Hyundai I30 [16]. O Nissan Leaf tem um consumo de 6,5 Km/kWh em estrada urbana. Enquanto isso, o Hyundai I30, segundo o site ICARROS, faz 9,6 Km/L na cidade. O valor do kWh em Setembro de 2021, segundo a CEMIG, foi de R\$ 1,07. Para determinar o valor do Km rodado pelo Nissan Leaf, deve-se dividir o custo do kWh pelo consumo do carro. Com esse cálculo, será constatado que o Nissan Leaf gasta cerca de R\$ 0,16 por Km rodado.

Para calcular o custo do Km rodado de um carro a combustão será feito o mesmo cálculo, porém, leva-se em consideração o valor da gasolina em João Monlevade, em 26/09/2021, que em média, está em um valor de R\$ 6,40. Sendo assim, o Hyundai I30 gasta cerca de R\$ 0,67 para cada Km rodado. Com esses números parciais, já é possível dizer que um carro elétrico é cerca de quatro vezes mais econômico que um carro movido a gasolina [16]. Os dados do comparativo entre veículos elétricos e veículos a combustão estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3 – Comparativo carro elétrico versus carro a combustão

	<b>Nissan Leaf (elétrico)</b>	<b>Hyundai I30 (a combustão)</b>
Consumo	6,5 Km/kWh	9,6 Km/L
Preço do Combustível	R\$ 1,07 (kWh)	R\$ 6,40 (gasolina)
Custo por Km rodado	R\$ 0,16	R\$ 0,67

Pelos dados representados na tabela 2, pode-se notar que o preço do Km rodado de um carro elétrico é consideravelmente menor se comparado ao custo de um carro a combustão. Mostrando que o carro elétrico é sim uma alternativa positiva se comparado ao veículo a combustão.

## 3.2 A escolha do carro elétrico no Brasil

O site autopapo, [37], fez um levantamento de todos os carros elétricos vendidos no Brasil comparando preços, autonomia, desempenho e demais características. Os dados dessa análise estão sendo apresentados nas tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Comparativo de carros elétricos no Brasil

Modelo	Preço (R\$)	Autonomia (km)	Bateria (kWh)	Velocidade máx (km/h)
JAC iEV20	159.900	400	41	113
Renault Zoe	205.678	300	41	135
Caoa Chery Arrizo 5e	159.990*	322	53	152
JAC iEV40	225.900	300	40	130
Nissan Leaf	259.900	389	40	143
BMW i3	279.950	335	42,2	150
Chevrolet Bolt	274.000	416	66	148
Jaguar I-Pace	452.200*	470	90	200
Audi e-tron	529.990	436	95	200
Mercedes-Benz EQC	477,9 mil	471	80	180
Porsche Taycan	909.000	470	93,4	260
JAC iEV60	259.900	380	63	130
JAC iEV330P	299.900	320	67	97

\*Preço atualizado não disponível em 2021 [37]. A tabela 5 apresenta a forma de carregamento para cada modelo de carro elétrico, os dados representados por um traço (-), não foram descritos pela fonte de pesquisa.

Tabela 5 – Modelo vs Forma de carregamento

Modelo	Forma de carregamento
JAC iEV20	Carregador doméstico Wall Box
Renault Zoe	Carregador doméstico
Caoa Chery Arrizo 5e	Carregador ou tomada 3 pinos
JAC iEV40	Tomada de 220 volts
Nissan Leaf	Cabo portátil ou carregador doméstico
BMW i3	Tomada de 230 volts ou carregador doméstico
Chevrolet Bolt	Tomada de 220 volts ou carregador doméstico
Jaguar I-Pace	Carregador 100 kW ou 7,4 kW
Audi e-tron	-
Mercedes-Benz EQC	-
Porsche Taycan	Carregador 100 kW ou 7,4 kW
JAC iEV60	-
JAC iEV330P	-

A tabela 6 representa o tempo de carregamento para cada modelo de carro elétrico.



Tabela 6 – Modelo vs Tempo de carregamento

<b>Modelo</b>	<b>Tempo de carregamento (h)</b>
JAC iEV20	4 hrs para ir de 15% a 80%
Renault Zoe	De 2:40 horas a 7:18 horas
Caoa Chery Arrizo 5e	8
JAC iEV40	8
Nissan Leaf	20 horas (cabo) ou 8 horas (carregador)
BMW i3	80% em 39 minutos (carregador) ou 6 horas (tomada)
Chevrolet Bolt	10
Jaguar I-Pace	80% em 40 minutos (100 kW)
Audi e-tron	-
Mercedes-Benz EQC	80% da carga em 8 horas na tomada
Porsche Taycan	9
JAC iEV60	-
JAC iEV330P	-

Conforme os dados descritos nas tabelas 4, 5 e 6, o carro escolhido para esse trabalho será o JAC iEV40 por ter uma relação de preço/autonomia que o qualifica como uma das melhores escolhas e que possivelmente seria o modelo mais escolhido levando em conta esses parâmetros. Além disso, o carro apresenta as seguintes vantagens: garantia de cinco anos, incluindo para as baterias; freios ABS; distribuição eletrônica de frenagem (EBD); monitoramento eletrônico das pressões dos pneus (TPMS); assistente de partida em rampa (HSA); ar-condicionado automático; monitoramento e controle de funções a distância com aplicativo de celular exclusivo; e central multimídia com câmera 360° [37]. A figura 15 representa uma imagem ilustrativa desse modelo de veículo elétrico.



Figura 15 – Imagem ilustrativa JAC iEV40 [37]

Após ter constatado que o custo por km rodado de um carro elétrico é menor que o de um a combustão e depois de ter escolhido um modelo de carro que será viável para a população quando se fala na relação custo benefício, o próximo passo será analisar quanto de consumo esses veículos vão trazer para a atual rede de distribuição.

### 3.3 Análise de consumo dos veículos elétricos na rede

Para saber quantos veículos a combustão existem no Brasil e para realizar a troca desses veículos por VE's é necessário duas informações: quantos carros tem no Brasil e qual a média de km rodados por ano.

Em 2020, segundo o relatório de frota circulante do sistema Sindipeças, existiam 46,240 milhões de carros, entre automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus. E pesquisas apontam que em média, o brasileiro roda 12,9 mil km no primeiro ano de um veículo [18].

A figura 16 apresenta os gráficos de projeções da edição de 2021 do relatório da frota circulante de veículos. Onde as barras em cinza representam a frota circulante no país e em azul a taxa variação anual (%) de veículos.

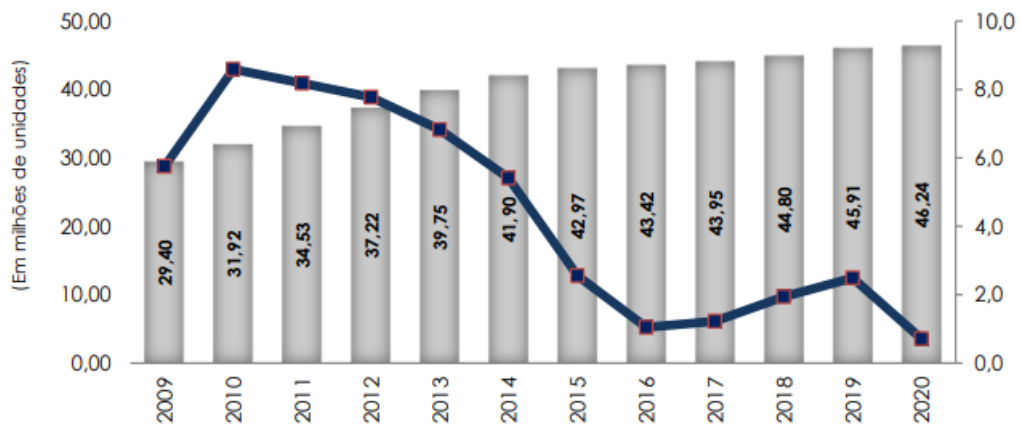


Figura 16 – Frota Circulante Total de Autoveículos [21]

Para calcular a quantidade de km rodados por todos os carros no Brasil nesse momento:

$$km = (\text{Quantidade de carros no Brasil}) \cdot (km \text{ médios rodados por ano})$$

Com os valores já descritos anteriormente pode ser feito o seguinte cálculo:

$$(46.240.038) \cdot (12.900) = 596.496.490.200 \text{ km} \quad (3.1)$$

Um carro elétrico, dos mais econômicos, como por exemplo o JAC iEV40 tem um consumo de eletricidade 40 kWh/300 km [37]. E pode-se encontrar o consumo em kWh, fazendo uma simples regra de três. O valor encontrado foi de:

$$kWh = \frac{(596.496.490.200) \cdot (40)}{300} = 79.532.865.360 \text{ kWh} \quad (3.2)$$

Em 2020 foram consumidos 35,8 bilhões de litros de gasolina [31]. Pode-se encontrar a quantidade deste valor em Km utilizando os dados do Hyundai I30 que tem um consumo de 9,6 Km/L. Resolvendo por meio de regra de três:

$$Consumo_{km} = 343.680.000.000 \text{ km} \quad (3.3)$$

Para encontrar o valor do consumo em kWh utilizamos o dado de consumo médio de um carro elétrico, 40 kWh/300 km [37]. Por meio de regra de três:

$$Consumo_{kWh} = 45.824.000.000 \text{ kWh} \quad (3.4)$$

Em 2020, Itaipu produziu 76.382.000 megawatts-hora (MWh) [32]. O valor apresentado em (3.2), representa 104,125% da produção anual de energia por Itaipu. Devido a isso, pode-se constatar o quanto é relevante realizar este estudo dos impactos dos veículos elétricos no sistema de distribuição.

### 3.4 Estudo de caso de um sistema de distribuição

Para simular os impactos dos veículos elétricos no sistema de distribuição, será utilizado um caso real da rede de distribuição da cidade de João Monlevade-MG.

O conjunto de alimentadores está localizado no bairro Santa Bárbara e é responsável por distribuir energia para toda a cidade como mostra a tabela 7.

Tabela 7 – Alimentadores da cidade de João Monlevade [35]

Alimentadores de 13,8 kV	Bairros	Projeção	Números de clientes
Alimentador JMLT 306	Santa Bárbara e Industrial	390 Km	5537
Alimentador JMLT 307	Cruzeiro Celeste, Novo Cruzeiro Estrela Dálva	177 Km	10560
Alimentador JMLT 308	Aclimação, De Lourdes, Alvorada, Campos elisios	34 Km	5767
Alimentador JMLT 309	Av Getulio Vargas, Bairro Carneirinhos, Lucília, José Eloi, Bau, Vila Tanque, Centro Industrial	51 Km	9671
Alimentador JMLT 310	Av. Wilson Alvarenga, Bairro Loanda, Belmonte, Laranjeiras	25 Km	3433
Alimentador JMLT 311	Av Wilson Alvarenga, Bairro JK, Rosário, Mangabeiras, Vale Sol, São benedito	64 Km	6125
Total de clientes em João Monlevade-MG		741 Km	41093

Para fins de simulação, nesse trabalho será implementado um trecho da rede que percorre os bairros Santa Barbara, Aclimação, Nova Aclimação e Paineiras composto predominantemente de residenciais mas que também contém alguns consumidores comerciais. O trecho tem 8,1446 Km e 250 unidades consumidoras. A figura 17 representa o trecho que vai ser implementado nesse trabalho.

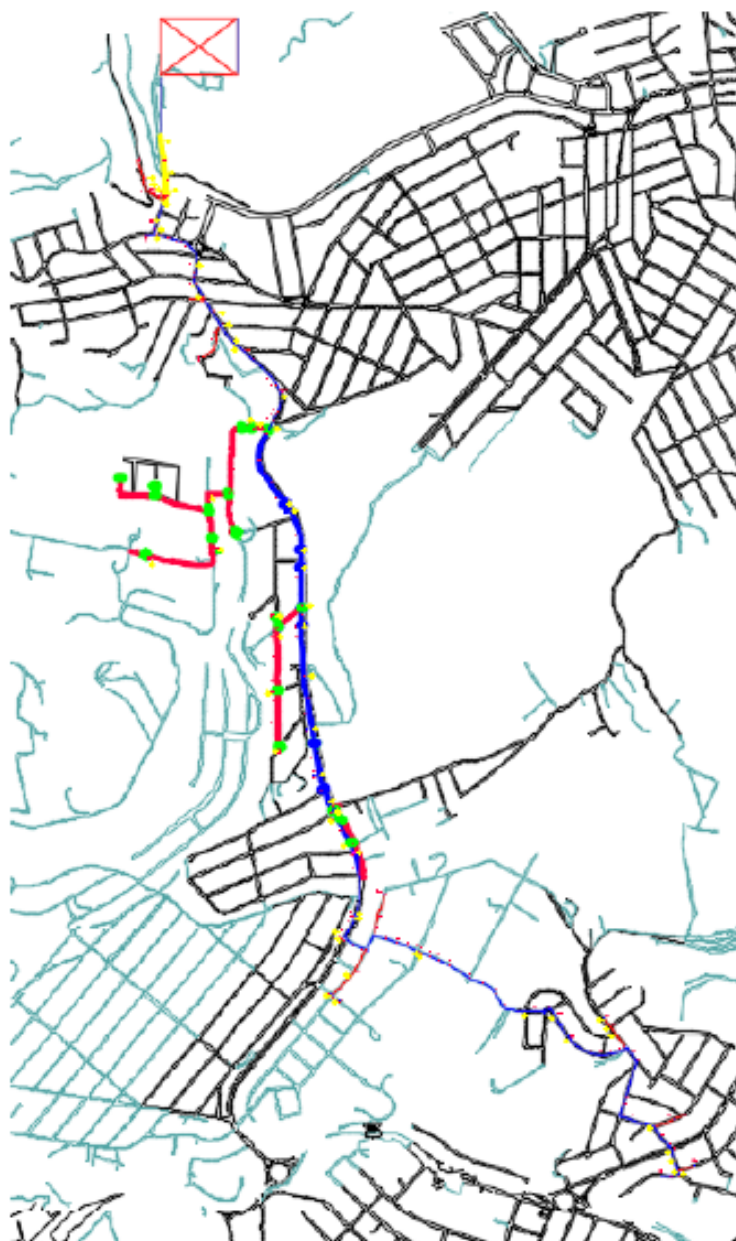


Figura 17 – Trecho percorrido para análise e simulação

Onde está a caixa no alto da figura 18 representa a subestação localizada no bairro Santa Bárbara e as linhas em destaque (azul e vermelho) são os trechos percorridos. O objetivo é simular esse trecho no OPENDSS e levantar qual a potência demandada. Para isso, foram levantados dados de consumo de 4 residências do trecho analisado e de 2 comércios e tirados as médias de consumo dos mesmos. Serão simulados que dentre as 250 residências e comércios desse bairro, 100 terão veículos elétricos e serão simulados o comportamento do dia a dia desses moradores e como seria se esses moradores carregassem normalmente o seus veículos sem se preocupar com os impactos que isso iria causar na rede.

### 3.4.1 Levantamento de cargas residencial e comercial

Para saber o consumo diário de uma residência, foi criada uma tabela para fazer o levantamento de potência de todos os aparelhos que consomem energia em residências com uma média de 4 moradores. Para isso, o autor visitou as residências desses moradores e fez o levantamento de consumo de cada uma das 4 residências e em seguida, foi tirada a média de consumo.

A tabela 8 apresenta todos os aparelhos que se encontram em média nas residências analisadas desse bairro e a potência de cada aparelho.

Tabela 8 – Tabela de cargas residencial

<b>Eletrônico</b>	<b>Potência (W)</b>
Chuveiro	5500
Televisão sala	122
Aparelho Sky sala	25
Lampada sala	15
Notebook	65
Televisão quarto	45
Aparelho Sky quarto	25
Lampada quarto	7
Lampada corredor	15
Lampada quarto irmã	7
Lampada quarto pais	15
Radio relógio	1,2
Radio cozinha	15
Lampada banheiro	9
Carregador celular	5
Lampada escada	7
Freezer	72
Geladeira	110
Lampada cozinha	6
Tanquinho	240
Liquidificador	500
Roteador	12
Lampada quintal	7

O mesmo processo feito para o consumo residencial também foi feito para o consumo comercial, onde o autor também levantou o consumo de 4 comércios do bairro em análise. Os aparelhos e as suas respectivas potências encontradas em comércios da região estão representados na tabela 9.

Tabela 9 – Tabela de cargas comercial

<b>Eletrônico</b>	<b>Potência (W)</b>
Televisão	130
Aparelho Sky	25
Lampada salão	15
Lampada cozinha	15
Lampada corredor	7
Carregador celular	5
Freezer	157
Geladeira	110
Liquidificador	500
Roteador	12
Ar condicionado	1400
Cafeteira elétrica	600
Forno Elétrico	4500

Após o levantamento dos dados de potência dos aparelhos, foi verificando a cada 15 minutos quais aparelhos se encontravam ligados e a quantidade de horas que os mesmos ficam ligados. E dessa forma, foi possível medir a potencia diária média de um consumo residencial e comercial.

Com o levantamento de consumo das cargas residencial e comercial, é possível fazer a representação da curva de consumo (curva de carga) desse bairro em 24 horas.

### 3.4.2 Curva de carga

A curva de carga é um gráfico que nos permite conhecer a demanda ou um consumo de uma determinada carga ao longo de um período de tempo, a demanda pode ser dado em [W], [VA] ou [A], a unidade utilizada neste trabalho foi [W], os números obtidos foram baseados na potência ativa. A figura 18 representa a curva típica de uma carga puramente residencial.

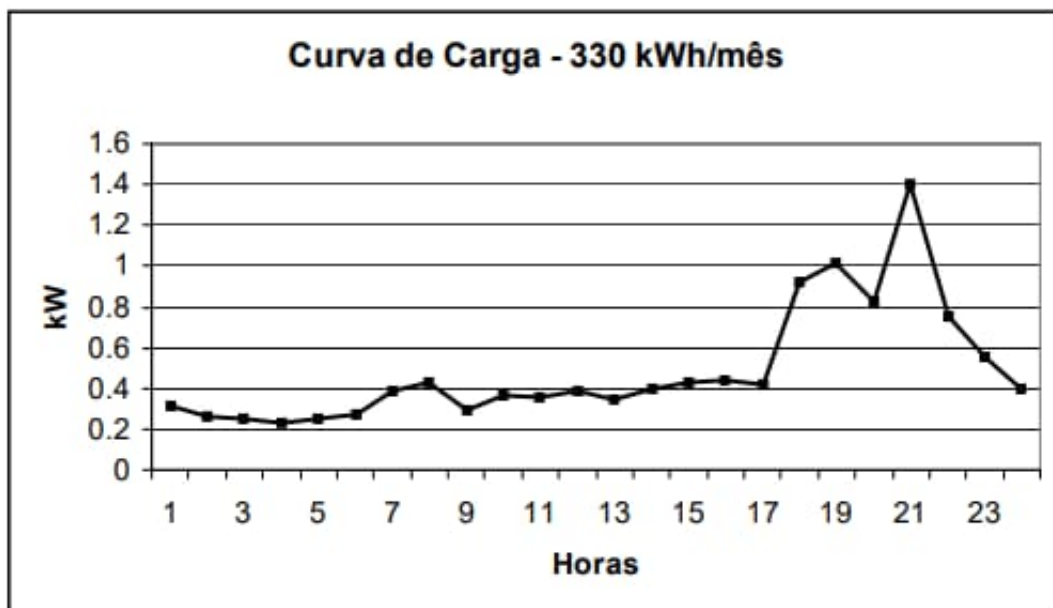


Figura 18 – Curva típica de uma carga residencial [38]

Para fins de comparação, com os dados obtidos no levantamento de pesquisa de consumo das residências da região em análise, foi realizada a representação gráfica da curva de carga residencial. A figura 19 representa a curva de carga residencial executada através do software Matlab.

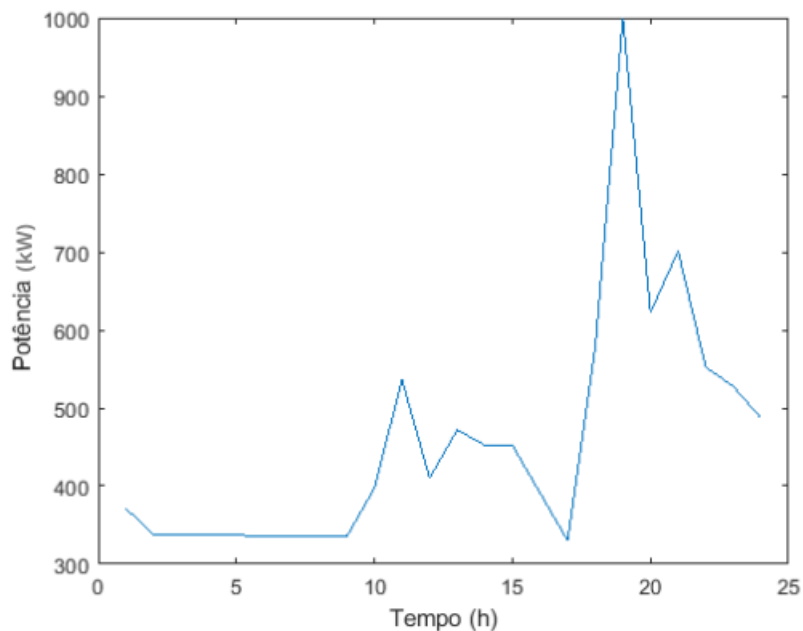


Figura 19 – Curva de carga residencial com os dados levantados

Como o objetivo desse trabalho é representar um consumo de um trecho de um bairro, mesmo que na sua maioria seja composto de residências, também existem alguns pontos comerciais que tem uma curva de carga diferente da curva representada nas figuras 18 e 19. A figura 20 representa uma curva de carga típica comercial.



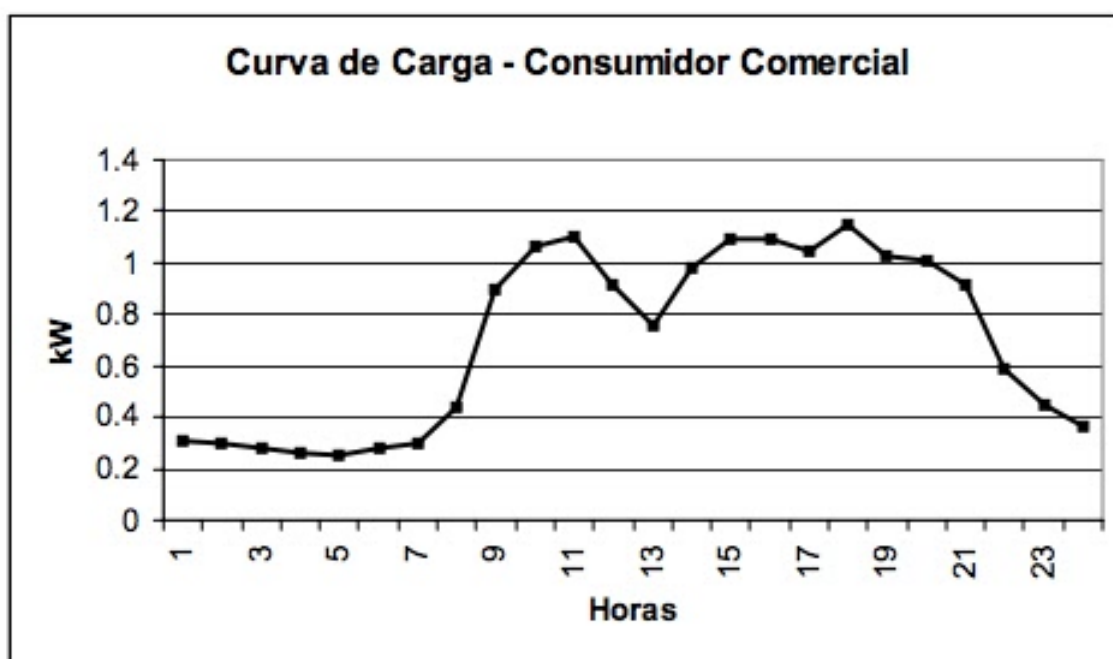


Figura 20 – Curva típica de uma carga comercial [39]

A figura 21 representa a curva de carga comercial com os dados levantados de consumo de comércio encontrados no trecho analisado e também representadas através do software matlab.

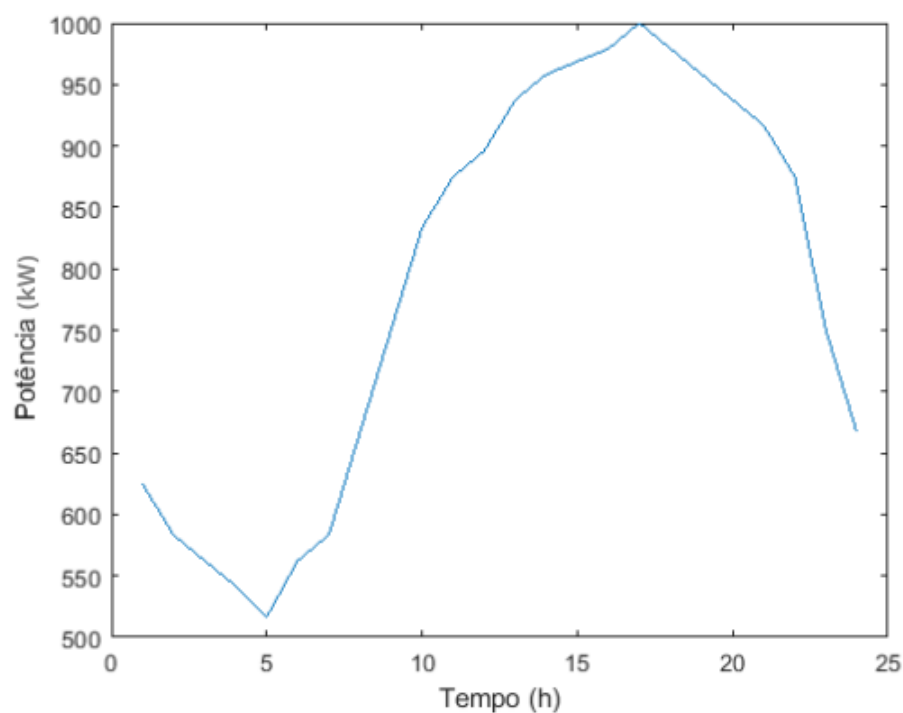


Figura 21 – Curva de carga comercial com os dados levantados

Na figura 22 está representada a curva de carga total do projeto onde foi feita a soma da curva residencial com uma curva comercial. Essa curva de carga será a base para realizar as simulações que serão apresentadas posteriormente, onde serão adicionados na rede veículos elétricos. Os dados dessa curva estão representados por unidade (pu).

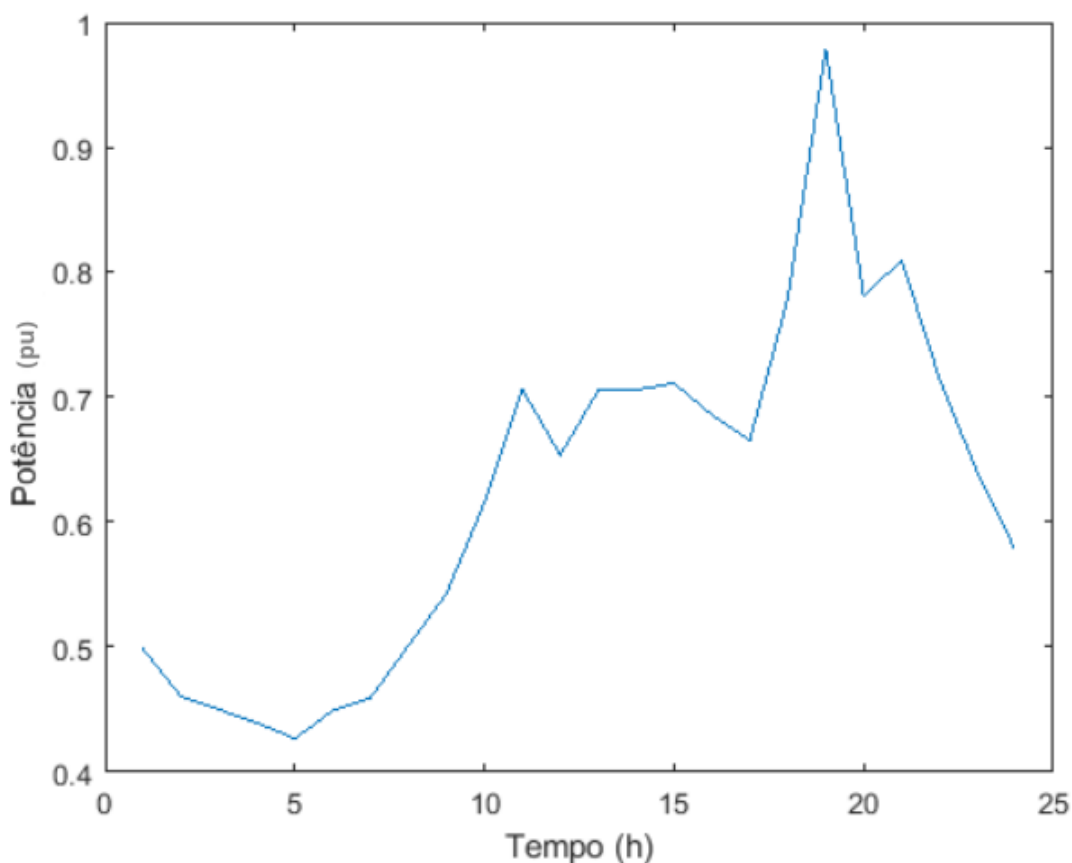


Figura 22 – Curva de carga em pu

### 3.4.3 OpenDSS

Para a simulação da rede de distribuição, foi utilizado o programa OpenDSS que é um simulador de sistema de distribuição de energia elétrica projetado para apoiar a integração e modernização da rede de recursos de energia distribuída. Este programa permite realizar análises complexas usando uma plataforma flexível.

O script principal é responsável por coordenar a execução do programa. Ele contém comandos para execução e realiza a chamada de outros arquivos.

Foi definido pelo programa que a curva deveria ter 96 pontos e como a análise é em 24 horas, ou seja, um quarto do dia (0,25), foi definido que o intervalo como sendo 0,25 os parâmetros de potência consumida durante o dia foram passado em um arquivo txt e esse gráfico de demanda foi definido em pu pelo comando "normalize." Ao longo do percurso do bairro em análise existem diversos tipos de transformadores monofásicos e trifásicos, nas potências nominais de 15 e 37 kVA para monofásicos e 30, 45, 75, 112 e 150 kVA para trifásicos.

Para simular a carga desse sistema de distribuição foram implementadas duas funções uma onde estão definidas as cargas do lado de alta tensão do transformador e

outra onde estão definidas as cargas do lado de baixa do transformador. Ao executar essa simulação, foram obtidos os seguintes valores representados na tabela 10.

Tabela 10 – Tabela de cargas

<b>Grandeza</b>	<b>Valor</b>
Tempo de simulação (H)	24
Potência ativa (MW)	11,0146
Potência reativa (Mvar)	4,6782
Perdas ativas (MW)	0,0647084
Perdas ativas (%)	0,5875
Perdas reativas (Mvar)	0,149789

O valor encontrado de potência atinge seu pico de consumo no horário das 18h que é o horário onde a maioria das pessoas está chegando em casa e com isso aumentando o consumo da rede. Os valores encontrados nesta simulação serão utilizados como parâmetros de entrada para a simulação em ambiente Matlab na função do simulink "power\_V2G".

## 3.5 Simulação em ambiente Matlab/Simulink

Para simular os impactos dos veículos elétricos no sistema de distribuição foi utilizada a ferramenta Simulink, desenvolvido pela companhia MathWorks (criadora do Matlab). Para este trabalho em especial foi utilizada a função "power\_V2G", que mostra os impactos dos veículos elétricos no sistema de distribuição em eventos que ocorrem durante 24 horas.

### 3.5.1 Power\_V2G

O programa funciona da seguinte forma: A microrrede é dividida em quatro partes importantes: Um gerador de energia de base; Um parque fotovoltaico, para produzir energia renovável; um sistema V2G instalado próximo à última parte do sistema que é a carga da rede (bairro). O tamanho da microrrede representa aproximadamente uma comunidade de mil famílias durante um dia de baixo consumo na primavera ou outono. Existem 100 veículos elétricos no modelo básico, o que significa que há uma proporção de 4:10 entre os carros e as residências. Este é um cenário possível em um futuro previsível. A figura 23 representa a interface básica do programa [36].

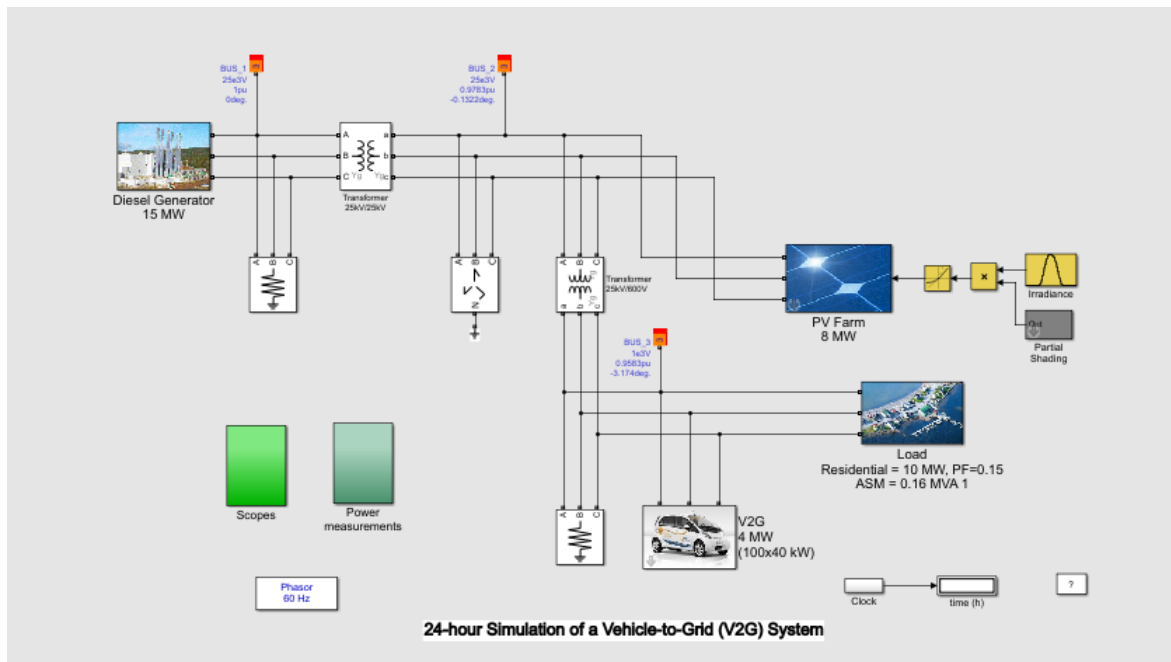


Figura 23 – Simulink power\_V2G [36]

O parque fotovoltaico produz energia proporcional a três fatores: o tamanho da área coberta pelo parque fotovoltaico, a eficiência dos painéis solares e os dados de irradiância.

O V2G tem duas funções: Controlar a carga das baterias conectadas a ele e usa a energia disponível para regular a rede quando ocorre um evento durante o dia.

A simulação dura 24 horas. A intensidade solar segue uma distribuição normal onde a maior intensidade é atingida ao meio-dia. A carga residencial segue um padrão típico semelhante ao consumo doméstico normal. O consumo é baixo durante o dia e aumenta para um pico durante a noite, e diminui lentamente durante a noite [36].

## 4 Resultados

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos através dos dados levantados no capítulo 3. Aqui será visto os problemas causados pelos veículos à rede e as soluções para que a implantação dos veículos elétricos na rede de distribuição seja eficiente e viável.

### 4.1 Estudos de caso

Nesse tópico serão apresentadas as simulações realizadas adicionando os veículos elétricos na rede. Portanto, será utilizada a fonte de energia fotovoltaica que se aproxima mais da realidade geográfica e financeira da cidade.

Para essa primeira parte da análise, serão realizadas simulações sem os efeitos da geração distribuída no sistema. Nesses estudos de caso também serão simulados os impactos de 100 carros no sistema de distribuição. A tabela 11 resume os dados que foram utilizados para esse simulação.

Tabela 11 – Tabela de cargas da simulação

<b>Grandeza</b>	<b>Valor</b>
Potência do gerador	15 MW
Carga bairro	11,0146 MW
Quantidade de VE's	100
Consumo VE unitário	40 kWh
Usina solar	6 MW

#### 4.1.1 Caso 1: curva de carga sem veículos elétricos

A primeira simulação realizada foi verificar o perfil da curva de carga sem adicionar os carros elétricos. Como está sendo simulado um trecho da cidade com um perfil de carga residencial-comercial pode-se notar um pico de demanda de energia no horário das 18h. Esse horário está dentro do chamado consumo de ponta que é horário com maior consumo de energia durante o dia que para a nossa concessionária (CEMIG) ocorre de 17h as 19h59 [40]. No período, o valor da tarifa de energia e demanda chega a três vezes o valor da tarifa cobrada nas demais horas do dia com o objetivo de estimular as pessoas a não consumir energia nesse horário e conseqüentemente auxiliar o sistema a distribuir melhor o consumo de energia [41]. A figura 24 representa a curva de carga para esse estudo de caso sem a adição de carros elétricos. Onde, no eixo **Y** a escala está representada em MW e no eixo **X** a escala está em horas.

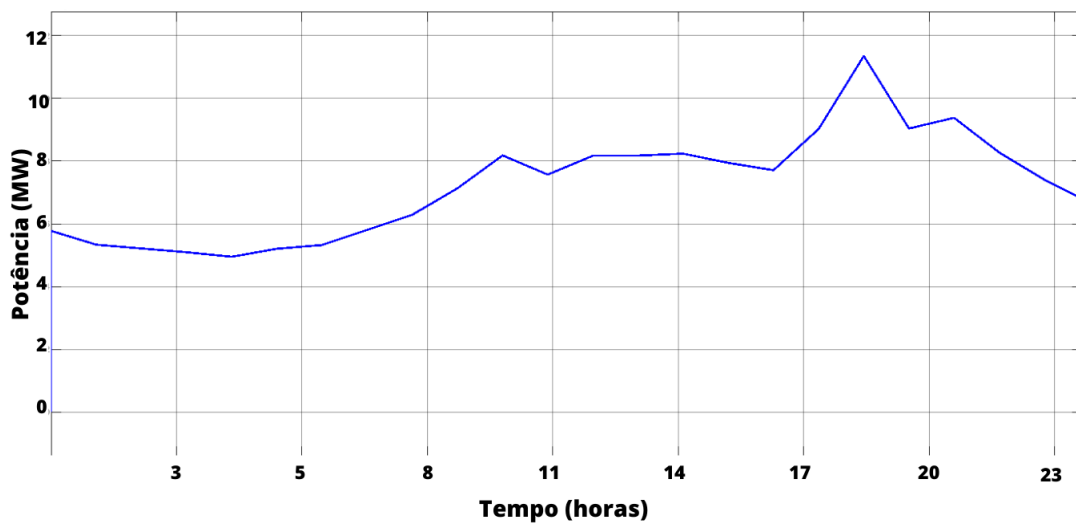


Figura 24 – Curva de carga sem VE's

Observando a figura 24, pode-se notar que, o máximo de energia demandada acontece no horário de pico das 18h num valor de 11.0146 MW. E levando em conta que o transformador desse projeto trabalha com 15 MW pode-se notar que no sistema atual ainda tem uma folga caso o sistema sofra alguma sobrecarga e ainda continue funcionando.

#### 4.1.2 Caso 2: Inclusão de VE's na rede

O próximo passo é simular a rede com as cargas do bairro e os VE's e verificar qual o impacto que os carros elétricos vão causar na curva de carga representada na figura 24. A figura 25 representa o resultado da adição dos carros elétricos na rede.

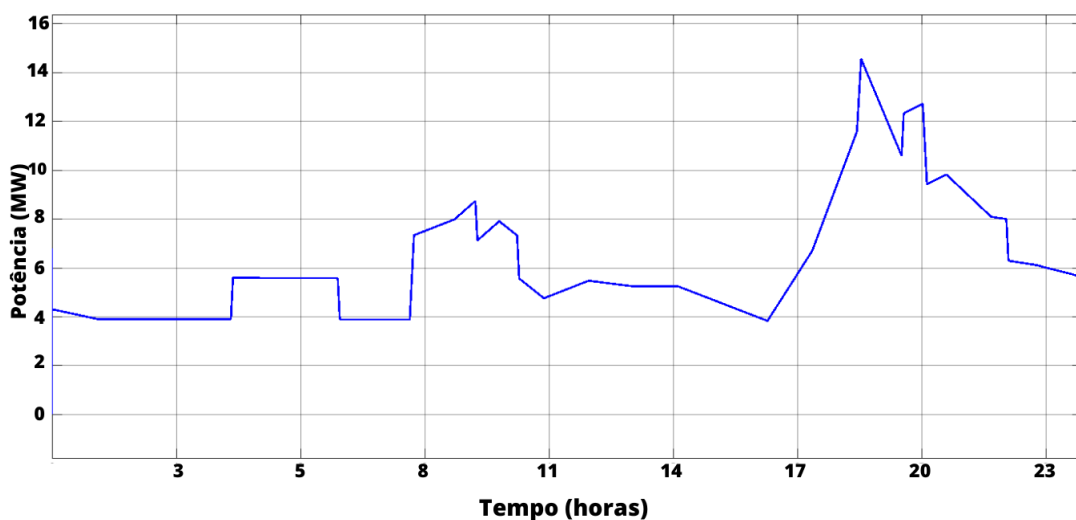


Figura 25 – Curva de carga com adição de VE's na rede

Na figura 25 pode-se ver alguns picos em 4h, 8h, 18h e 19h esses picos são causados pela adição dos veículos. Os horários dos picos representa que os veículos foram conectados

à rede e estão carregando. Pode-se facilmente notar que ao adicionar esses veículos na rede, terá um aumento significativo no consumo de energia principalmente no horário de pico das 18h que é o horário onde a demanda de energia é maior causado principalmente por a maioria das pessoas estarem chegando em casa e conseqüentemente elevando o consumo de energia. Ao colocar os VE's para carregar nesse horário vai causar uma sobrecarga no sistema de distribuição que vai ter que demandar uma energia maior. Isso pode forçar um investimento na infraestrutura do sistema de distribuição para aumentar a capacidade de energia demandada. O pico de energia que antes não chegava aos 12 MW, agora ultrapassa os 14 MW um valor bem expressivo levando em conta que o limite do gerador é de 15 MW. Com isso, o sistema vai funcionar no seu limite e não podendo suportar nenhuma sobrecarga de energia o que faz o sistema funcionar de forma crítica.

## 4.2 Análise da redução dos impactos

Como pode ser visto na figura 28 os impactos da adição dos veículos elétricos na rede é bem expressivo. Mesmo por serem apenas 100 veículos o consumo aumenta e muito o consumo de energia do trecho analisado.

Com isso, essa seção tem o objetivo de apresentar soluções para diminuir os impactos desses veículos no sistema buscando soluções que são viáveis nos dias atuais e que podem ser aplicadas.

### 4.2.1 Carregamento durante a madrugada

Diante da existência de dois horário fora de ponta das 00h às 17h59 e das 21h às 23h59 [41] propõe-se a mudança de horário de carregamento, do horário pico para carregar durante a madrugada.

O objetivo é reduzir os impactos dos veículos elétricos principalmente no horário de pico e usar o carro como fonte para os momentos de alta demanda. Uma proposta para isso foi mudar o horário do carregamento dos carros. Ao invés de carregar os veículos durante o dia (horário pico), carregar os durante a madrugada (consumo mais baixo e maior capacidade dos elementos maior) [41]. O horário fora de ponta acontece em dois intervalos das 00h às 17h59 e das 21h às 23h59 [41]. O objetivo desse tópico foi colocar os VE's para carregar durante a madrugada pois assim os impactos serão os menores possíveis devido o consumo de energia nessa parte do dia ser muito baixo. Os VE's também podem contribuir com a rede injetando energia no horário de ponta e, conseqüentemente, reduzir o consumo de energia nesse horário. Para isso, foi simulado um caso onde os carros carregam durante a madrugada e quando chega o horário de pico eles injetam a sua energia na rede.

A figura 26 ilustra o comportamento de consumo/injeção dos VE's durante o período de 24h.



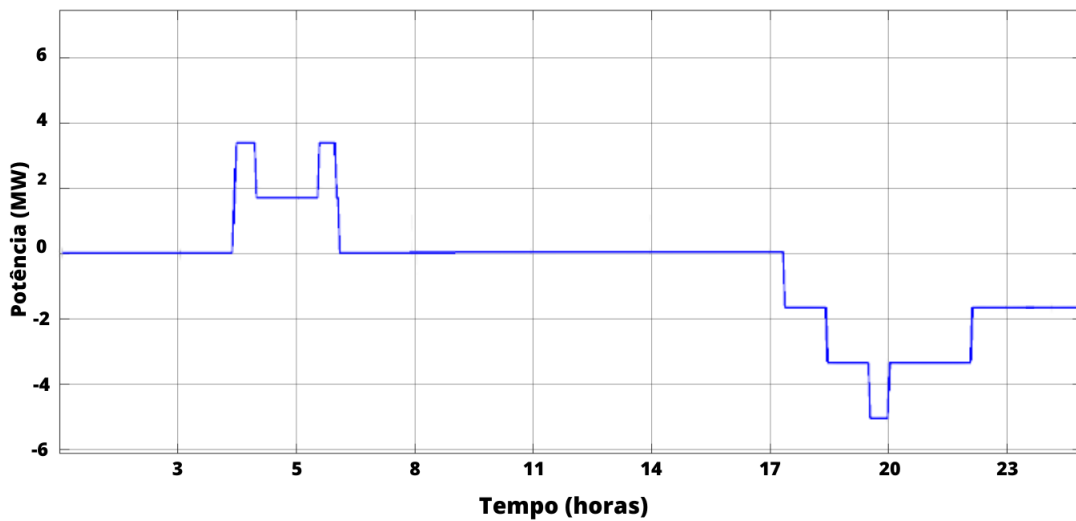


Figura 26 – Comportamento de Consumo/Injeção dos VE's na rede

A figura 27 representa como seria a curva de carga se os VE's carregassem durante a madrugada e injetassem energia durante os horários de ponta.

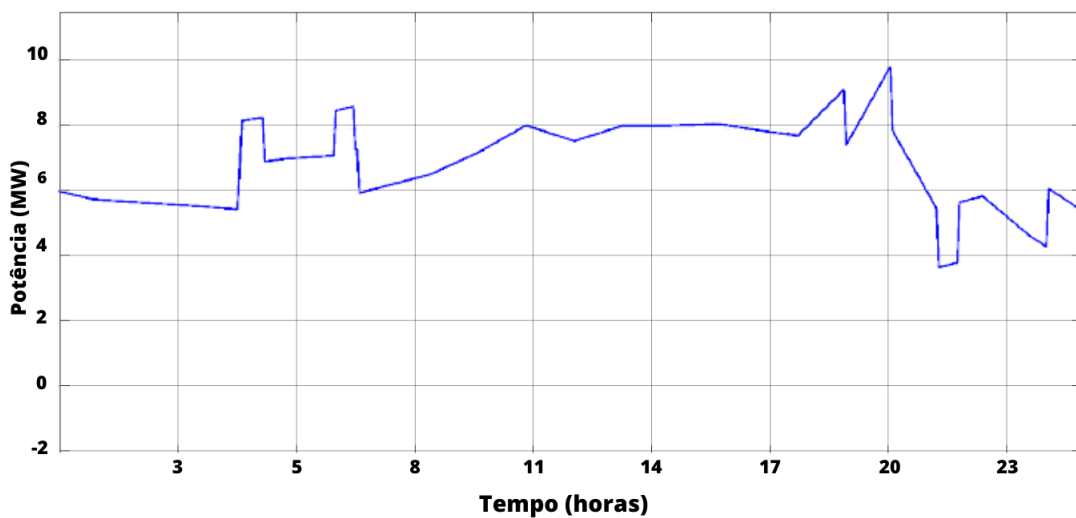


Figura 27 – VE's injetando energia na rede

Os carros foram distribuídos para carregar durante o intervalo da madrugada atingindo um pico de consumo que é um pouco maior que os 8 MW e que o consumo do horário de ponta que antes ultrapassava os 14 MW, agora está por volta dos 10 MW o que proporciona uma folga no sistema.

Dessa maneira, os impactos causados pelo carregamento desses VE's diminuem significativamente pois os VE's agora estão carregando durante a madrugada e injetando energia no horário de maior necessidade para o sistema de distribuição. Pode ser visto também que na figura 26 o pico de energia era de 11.0146 MW e que agora está em 10 MW. Isso mostra que mesmo com a adição dos carros o sistema de distribuição ainda

teve uma redução do consumo da rede que está auxiliando o sistema a não ultrapassar os limites de do gerador.

#### 4.2.2 Análise de impactos com usina fotovoltaica

Nessa seção será apresentada uma possível solução para diminuir ainda mais os impactos do consumo de energia no sistema através da adição da energia limpa e renovável vinda do sol, a energia fotovoltaica. A figura 28 representa o conjunto de blocos que compõe a simulação com a geração fotovoltaica.

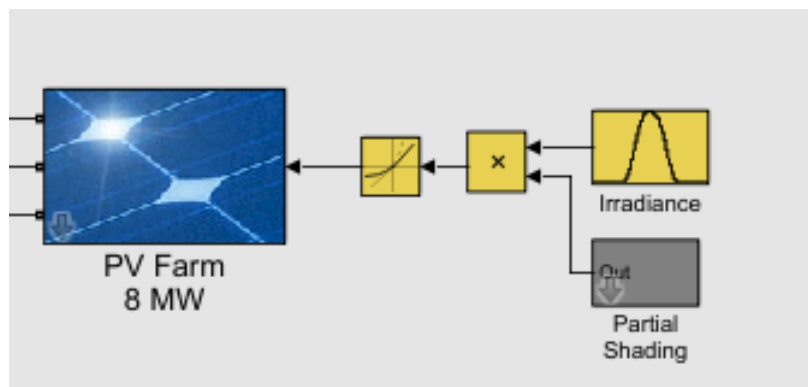


Figura 28 – Conjunto de blocos de geração fotovoltaica

Nesse conjunto de blocos pode-se definir a eficiência das placas e a área do sistema com isso, pode-se dimensionar o quanto de geração desejada variando a área do sistema. Após definir a área desejada, a simulação é executada e se têm a seguinte representação para a curva de energia fotovoltaica, apresentada na figura 29.

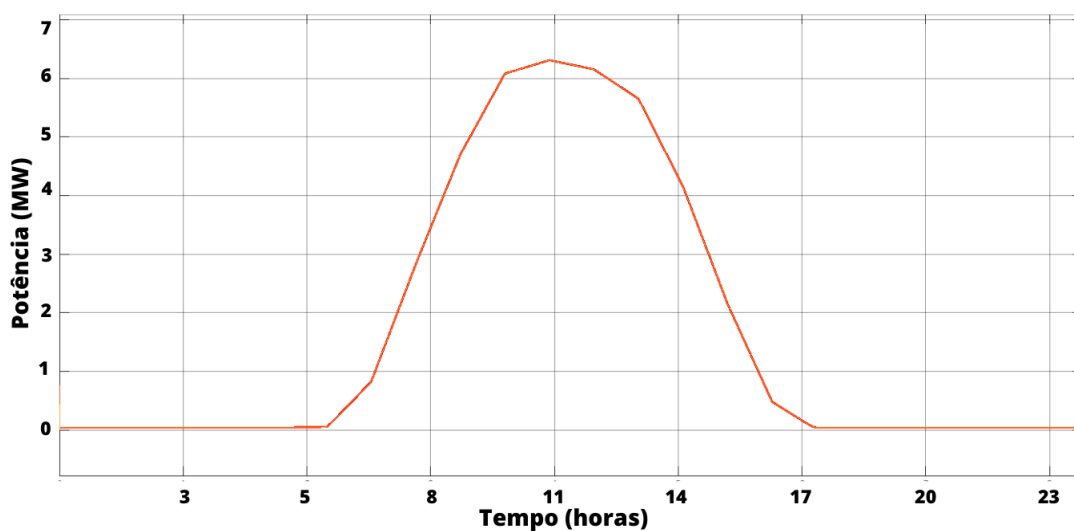


Figura 29 – Geração fotovoltaica de 6 MW

Na figura 32 se têm a representação da curva de geração de um sistema fotovoltaico de 6 MW. Pode-se notar que o horário onde tem o máximo de geração de energia é no

horário das 12h e que só temos produção de energia durante o período que tem luz solar no dia. Por isso a curva tem esse formato já que o sistema não gera energia durante a noite.

Como agora se têm a energia solar no sistema, os VE's foram colocados para carregar durante o horário em que a energia solar atinge o seu período de maior geração. Com a geração de fotovoltaica definida, será simulada agora uma curva de carga com a demanda de carros elétricos e carga residencial-comercial que já estava sendo utilizada nesse trabalho.

A figura 30 representa a união desses dois gráficos no mesmo gráfico, onde em azul está representada a curva de carga e em vermelho a geração fotovoltaica.

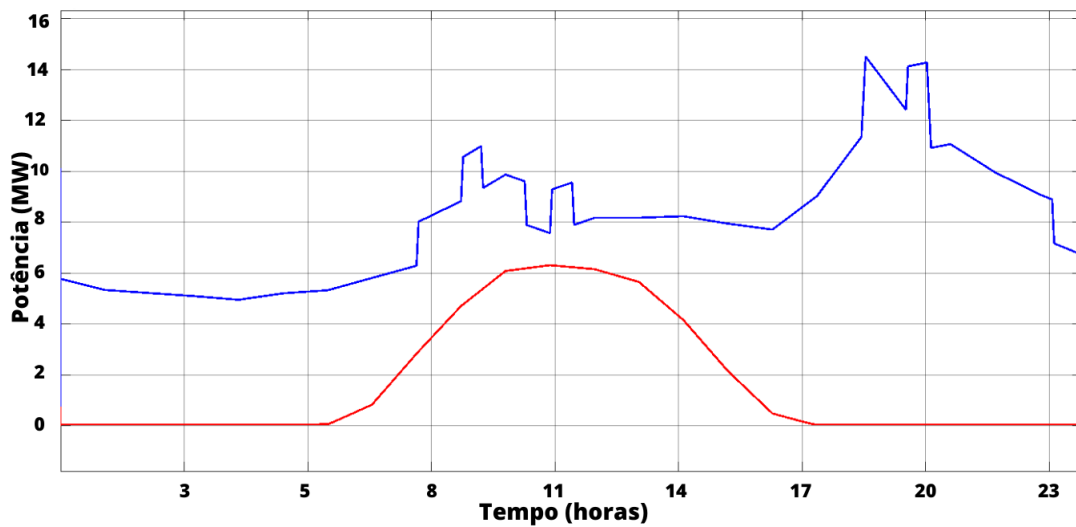


Figura 30 – Curva de carga e de geração fotovoltaica

A energia solar vai subtrair a demanda de energia que a distribuidora deveria fornecer para atender a rede e dar mais folga para o sistema de distribuição com isso, o resultado dessa subtração é a curva de carga de um conjunto de unidades consumidoras que tem geração distribuída e VE's. Essa curva pode ser vista na figura 31.

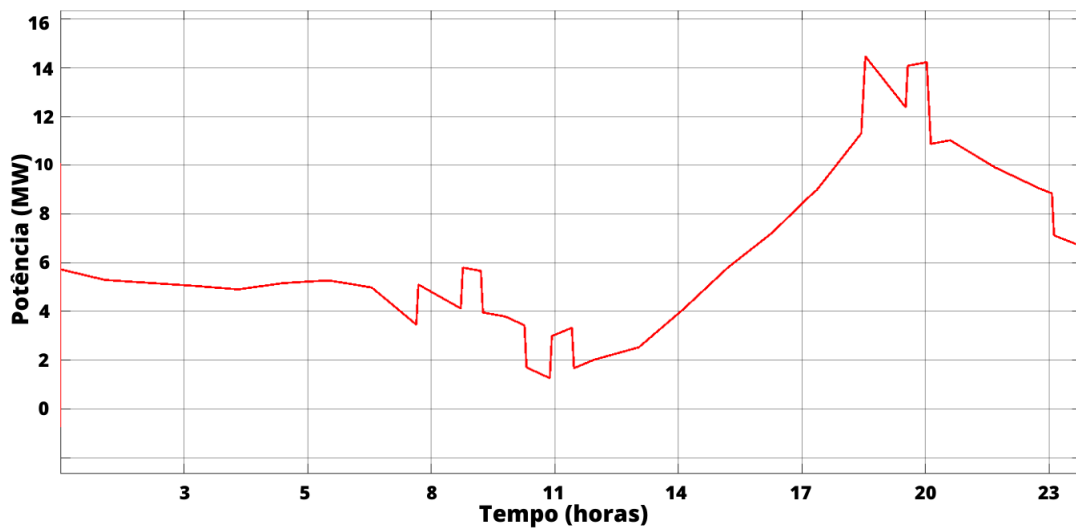


Figura 31 – Curva de carga com geração fotovoltaica

Como pode-se ver na figura 31 o uso da energia fotovoltaica ajuda a reduzir consideravelmente a taxa de consumo de energia durante o dia e carregar os VE's no horário onde essa energia está sendo gerada é melhor pois está tornando o sistema de carregamento mais eficiente pois não está demandando energia do sistema de distribuição e sim o sistema próprio de geração de energia solar o que além de ajudar o sistema de distribuição, também se torna mais econômico para o consumidor que está utilizando uma energia mais barata para abastecer o seu veículo. Mas ainda podemos notar que os picos de consumo de energia gerados durante o horário de ponta ainda aparecem pois não temos geração de energia solar fotovoltaica durante a noite.

Uma solução para isso, é também utilizar os VE's para ajudar o sistema nesse horário. Como mostra a figura 32.

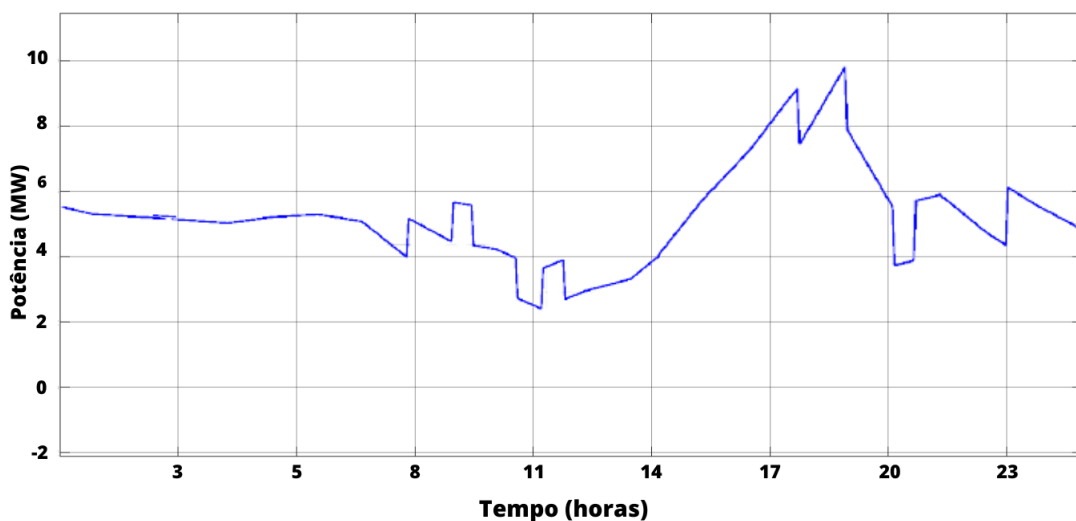


Figura 32 – VE's injetando energia na rede e energia fotovoltaica

Na figura 32 mostra como seria a demanda de carga de um sistema composto

de uma usina de geração fotovoltaica e os carros carregando no horário mais econômico possível. Trazendo uma eficiência tanto de carregamento quanto de consumo na rede de estudo simulada. Pode-se ver uma significativa redução de consumo causado pelos VE's que estão injetando energia na rede.

### 4.3 Análise da viabilidade financeira

Nos últimos meses nota-se um crescente aumento do preço da gasolina no Brasil e em especial em Minas Gerais, que de janeiro até os primeiros 10 dias de julho, teve um aumento de 25,84%. Segundo os dados da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), em Minas, enquanto em janeiro o litro da gasolina era comercializado, em média, a R\$ 4,72, até o dia 10 de julho o mesmo volume passou a ser comercializado a R\$ 5,95 [42]. E no dia 26/09/2021, o valor médio da gasolina em João Monlevade já estava atingindo R\$ 6,40.

Para a análise financeira, será utilizado como exemplo, o Volkswagen up! 1.0 TSI que, segundo o site Notícias Automotivas, faz 14,3 km/L [43]. Será utilizado como exemplo, um trajeto de destino de 300 KM, com isso pode-se calcular que a quantidade de combustível necessária:

$$Quantidade \cdot de \cdot combustível = \frac{(300KM)}{14.3KM/L} = 20,98L \quad (4.1)$$

Para calcular o quanto será gasto financeiramente para esse trajeto será multiplicada a quantidade de combustível necessária pelo preço da gasolina de R\$ 6,40 em 26 de Setembro de 2021:

$$Custo \cdot Veículo \cdot a \cdot combustão = (20,98)(6,40) = R\$134,27 \quad (4.2)$$

Suponha-se que a pessoa faça esse trajeto durante todo um mês de segunda à sexta, com isso o valor mensal gasto com esse veículo será de R\$ 2685,44.

Para a análise do carro elétrico, será utilizado como exemplo o JAC iEV40 que tem uma bateria de 40 kwh com autonomia de 300 KM. O preço do kWh segundo a conta de energia da CEMIG, em setembro de 2021, é de R\$ 1,07. Para saber qual o custo, será multiplicada a autonomia da bateria pelo preço do kWh de energia.

$$Custo \cdot VE = (40)(1,07) = R\$42,80 \quad (4.3)$$

Em um mês, o valor gasto com o veículo elétrico, será de R\$ 856,00 representando um gasto 31,87% menor em relação ao gasto com o veículo a combustão. A mesma análise de custo por Km rodado feita no capítulo 3, no tópico 3.1, também pode ser aplicada nesse comparativo. Utilizando a mesma linha de raciocínio para o carro à combustão teremos

que o consumo por Km rodado será de R\$ 0,45. Segundo uma análise feita pelo Jornal do Carro, o JAC iEV40 tem uma autonomia de 13 kWh para 100 km. Se for considerado o preço do kWh como R\$ 1,07 vai ser constatado que o preço do km rodado para esse veículo será de R\$ 0,14. A tabela 12 resume os valores apresentados.

Tabela 12 – Comparativo financeiro carro elétrico versus carro a combustão

	<b>JAC iEV40</b>	<b>Volkswagen up</b>
Consumo	40 kWh	14,3 Km/L
Preço do Combustível	R\$ 1,07 (kWh)	R\$ 6,40 (gasolina)
Gasto mensal	R\$ 856,00	R\$ 2580,60
Custo por Km rodado	R\$ 0,14	R\$ 0,45

A durabilidade é outro fator muito relevante quando estão sendo comparados esses dois tipos de veículos. Segundo a reportagem do site Infomoney, o brasileiro troca de carro, em média, de três em três anos isso se deve, principalmente, porque a partir dos 50 mil quilômetros as manutenções do carro passam a ter um custo maior. Enquanto as baterias dos carros elétricos, em média, tem uma vida útil mínima de 10 anos ou 240 mil quilômetros [49] e o custo de manutenção de um carro elétrico é de R\$350,00 em média [50]. Isso mostra que, no mesmo período, uma pessoa teria de trocar de carro por 3 vezes se for analisada a duração média de um veículo a combustão. Os gastos com manutenção do veículo a combustão representa em torno de 2% do valor veículo por mês [51]. Ou seja, se o Volkswagen Up custa R\$45.000,00 o valor de manutenção mensal, em média, dele será de R\$ 900 e, conseqüentemente, terá um gasto anual de R\$ 10.800,00. Se for multiplicado esse valor durante o período de 10 anos que está sendo analisado e somar ao valor do gasto mensal representado na tabela 12 o custo total do veículo a combustão será de R\$ 420.840,00. Enquanto para o veículo elétrico no mesmo período de análise seria necessário R\$ 256.548,00. Os dados de consumo, gasto anual e manutenção estão resumidos na tabela 13.

Tabela 13 – Custo médio para VE e veículo a combustão em 10 anos

	<b>JAC iEV40</b>	<b>Volkswagen up</b>
Consumo	40 kWh	14,3 Km/L
Gasto anual	R\$ 10.272,00	30.960,00
Manutenção anual	R\$ 4.200,00	R\$ 10.800,00

Os valores representados na tabela 13 foram somados ano a ano e na figura 33 será apresentada uma projeção do custo para manter um carro a combustão e o custo para manter um carro elétrico.

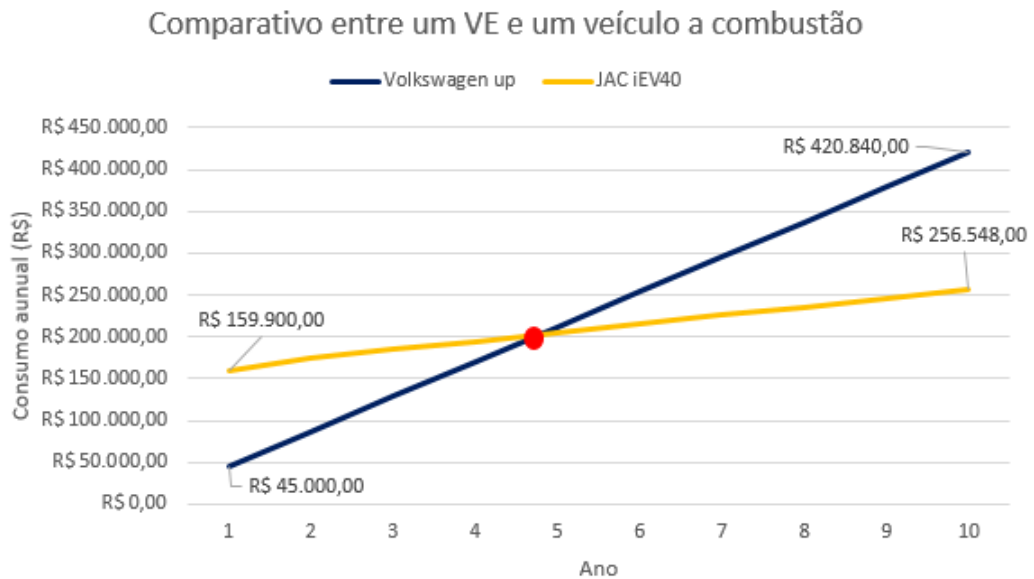


Figura 33 – Custo de manutenção entre um VE e um veículo a combustão

Na figura 33, pode se notar que o custo inicial para adquirir um veículo elétrico é maior que o de um veículo a combustão mas, em até 5 anos, o custo de um carro elétrico se iguala ao preço de um carro a combustão e após esse período, se torna mais barato manter um carro elétrico do que um carro a combustão. E isso sem levar em conta a correção monetária e da inflação de cada ano. Outro fator que também deve ser levado em conta, é o período de troca que do veículo a combustão ser menor que o veículo elétrico. Esse cálculo serve como base para mostrar que mesmo custando um pouco mais no começo, depois de um tempo o carro elétrico se torna mais viável do que o carro a combustão.

#### 4.4 Análise tarifa branca

Uma alternativa para reduzir ainda mais o gasto com a energia é utilizar a tarifa branca. Com a tarifa branca, o consumidor passa a ter a possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana em que consome a energia elétrica. Se o consumidor adotar hábitos que priorizem o uso da energia nos períodos de menor demanda (manhã, início da tarde e madrugada, por exemplo), a opção pela tarifa branca oferece a oportunidade de reduzir o valor pago pela energia consumida [44].

Como no projeto os VE's carregam de madrugada ou no período em que a energia solar fotovoltaica está atuando e injetam energia no horário de ponta, essa tarifa se torna muito interessante.

O preço do KWh para tarifa branca em horário fora de ponta segundo a CEMIG é R\$0,51 em bandeira verde. Fazendo o cálculo da equação 3.7 com esse valor temos:

$$\text{Custo} \cdot VE = (40)(0,51) = R\$20,40 \quad (4.4)$$

Novamente fazendo o cálculo para um mês, o valor será de R\$ 408,00 representando um gasto 6,58 vezes menor em relação ao gasto com o veículo a combustão.

Esses dados mostram o quanto é viável a troca dos veículos a combustão por veículos elétricos desde que seja utilizado de forma consciente e inteligente.



## 5 Conclusão

O consumo que os carros elétricos causariam no sistema de distribuição seriam muito relevantes e irão trazer grandes impactos na rede de distribuição. Muitas mudanças precisam ser impostas para que o sistema não fique sobrecarregado e que não ocorra apagões e falhas no sistema.

Nesse trabalho foram apresentadas algumas soluções viáveis para a implantação de VE's na rede que serão a realidade em médio prazo buscando entender e buscar maneiras de utilizar essa tecnologia causando o menor impacto possível ao sistema de distribuição.

A simulação utilizada se mostra essencial para realizar um estudo de caso dos impactos dos veículos adicionados na rede de distribuição. Nela foi possível mostrar as diferentes formas e possibilidades de carregamento dos veículos durante o dia. Também foi possível simular que além dos carros fazerem o carregamento de suas baterias, também podem contribuir para reduzir os impactos na rede durante o horário de pico. Isso se mostra extremamente viável pois esse alto consumo causa um desgaste de toda rede e que também as torne mais propensa a apagões e queda de energia.

O uso de fontes renováveis também contribuiu para a redução dos impactos onde os carros vão carregar durante o horário de geração de energia solar fotovoltaica e injetar energia no horário de maior consumo. Mostrando-se uma solução eficiente e necessária para o sistema de distribuição atual.

A transição dos veículos à combustão para os veículos elétricos virá normalmente conforme o passar do tempo pois os veículos a combustão utilizam como combustível uma fonte não renovável e que vai se esgotar conforme o passar do tempo. Já está sendo visto o aumento do preço da gasolina que como, foi visto nesse trabalho, não compensa continuar mantendo esse tipo de veículo se comparado com a eficiência e preço de combustível de um veículo elétrico.

### 5.1 Trabalhos futuros

- Estudo de caso da implantação de uma estação de carregamento de veículos elétricos no Ica. Onde os carros vão carregar durante o expediente e ajudar a rede no horário de pico.
- Simular os impactos dos veículos no sistema de distribuição de uma cidade ou bairro, mas desta vez utilizando outras fontes de energia além da solar, como a energia eólica por exemplo, para diminuir esses impactos.

- Realizar um comparativo entre o veículo elétrico que só funciona na cidade com um que tem que percorrer grandes distancias (rodovia) e buscar soluções que tornem o veículo elétrico eficiente e atrativo se comparado ao carro a combustível.
- Dimensionar um carregador para veículo elétrico que carregue o automóvel com um tempo menor, mas com a mesma eficiência.
- Dimensionar a implantação de um eletroposto movido a energia solar em João Monlevade fazendo todo o projeto de dimensionamento e o que seria necessário para que essa idéia se torne possível nos dias atuais.

## 6 Referências

- [1] FERNANDES,Lúcio M. ESTUDOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO VEHICLE TO GRID NA REDE ELÉTRICA DO CT/UFRJ. **Repositório UFRJ**, 31 mai. 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019849.pdf>. Acesso em: 24 set. 2019.
- [2] CALIXTO,Bruno. Emissão de CO2 de carros e motos cresce 192% no Brasil, diz pesquisa. **O Globo**, 24 set. 2019. Opinião. Disponível em: <https://epoca.oglobo.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2016/09/emissao-de-co2-de-carros-e-motos-cresce-192-no-brasil-diz-pesquisa.html>. Acesso em: 25 set. 2019.
- [3] ALVES, José E.D. Transição dos carros de combustão interna para os veículos elétricos: uma mudança de época. **EcoDebate**, 26 set. 2017. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2017/07/26/transicao-dos-carros-de-combustao-interna-para-os-veiculos-eletricos-uma-mudanca-de-epoca-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. Acesso em: 28 set. 2019.
- [4] ELAINA, Jeniffer. O cenário dos carros elétricos no Brasil e no mundo. **Smartia**, 27 jun. 2019. Disponível em: <https://www.smartia.com.br/blog/carros-eletricos-no-brasil-e-no-mundo/>. Acesso em: 29 set. 2019.
- [5] PONCIANO, Hairton. Carro elétrico e baterias vão mudar o vocabulário de componentes. **Estadão**, 13 jun. 2019. Tecnologia. Disponível em: <https://jornal-do-carro.estadao.com.br/carros/carro-eletrico-baterias-tipos/>. Acesso em: 01 out. 2019.
- [6] SILVA, João P.N. Avaliação de impactos da inserção dos veículos elétricos nos sistemas de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP ESCELSA. **Biblioteca digital USP**, 15 jan. 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-26122014-172307/pt-br.php>. Acesso em: 02 out. 2019.
- [7] SIMON, Emanuel C. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DA RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO. **PPE**, 17 abr. 2014. Disponível em: <https://www.ppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/dissertacoes/2013/417-avaliacao-de-impactos-da-recarga-de-veiculos-eletricos-em-sistemas-de-distribuicao>. Acesso em: 04 out. 2019.
- [8] IMBASCIATI, Henrique. Estudo descritivo dos sistemas, subsistemas e componentes de veículos elétricos e híbridos. **Escola de engenharia de Mauá**, 2012. Disponível em: <https://maua.br/files/monografias/estudo-descritivo-dos-sistemas-subsistemas->

e-componentes-de-veiculos-eletricos-e-hibridos.pdf. Acesso em: 04 out. 2019.

[9] NETA, Regina M. DE L. ANÁLISE DOS IMPACTOS DO CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NA QUALIDADE DE ENERGIA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO. **Universidade Federal de Pernambuco**, 2014. Disponível em: [https://www.ufpe.br/documents/39830/1359036/255\\_ReginaNeta\\_e2e9d12f-9897-436e-a50d-3d41b923caa3](https://www.ufpe.br/documents/39830/1359036/255_ReginaNeta_e2e9d12f-9897-436e-a50d-3d41b923caa3). Acesso em: 06 out. 2019.

[10] MARIN, Rômulo Acerbi. Análise comparativa da hibridização de um veículo convencional para a arquitetura híbrida de eixos paralelos. **Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto** 2018. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1545>. Acesso em: 06 out. 2019.

[11] Iniciativa Veículos Elétricos. **IEA**, mai. 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/transport/evi/>. Acesso em: 07 out. 2019.

[12] Saiba tudo o que é preciso sobre as baterias dos carros elétricos. **Iberdrola**, 04 out. 2019. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/baterias-de-carro-eletrico/>. Acesso em: 08 out. 2019.

[13] OLIVEIRA, Jonas. O que falta para o carro elétrico pegar? **Galileu**, 2013. Dossiê. Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI322726-17579,00-O+QUE+FALTA+PARA+O+CARRO+ELETRICO+PEGAR.html>. Acesso em: 08 out. 2019.

[14] Carro elétrico x gasolina. **Luz Solar**, 2018. Disponível em: <https://luzsolar.com.br/carro-eletrico-x-gasolina/>. Acesso em: 09 out. 2019.

[15] Frota brasileira de veículos cresce 1,2% em 2017, diz Sindipeças. **Auto esporte**, 20 abr. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/carros/noticia/frota-brasileira-de-veiculos-cresce-12-em-2017-diz-sindipeças.ghtml>. Acesso em: 12 out. 2019.

[16] ALEXANDRE, Gabriel. Custo carro elétrico X carro a combustão: qual gasta menos? **Carro elétrico**, 01 mar. 2019. Disponível em: <https://carroeletrico.com.br/blog/custo-carro-eletrico/>. Acesso em: 12 out. 2019.

[17] TRINDADE, Fábio. CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS PLUG-IN SERÃO UM TERÇO DO MERCADO EM 2030. **Portal Lubes**, 20 out. 2020. Disponível em: <https://portallubes.com.br/2020/10/eletricos-ou-hibridos-plug-in-serao-um-terco-do-mercado/>. Acesso em: 22 out. 2020.

[18] Pesquisa revela a média anual de km rodado de carro pelo brasileiro. **Gazeta do Povo**, 11 abr. 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/automoveis/km-rodado-ano-carro-motorista-brasil/>. Acesso em: 23 out. 2020.

[19] Como se calcula o consumo de um carro elétrico? **Educação automotiva**, 12 out. 2018. Disponível em: <https://educacaoautomotiva.com/2018/10/12/calculo-consumo->

carro-eletrico/. Acesso em: 23 out. 2020.

[20] Uma breve história dos veículos elétricos. **Clima Info**, 25 set. 2017. Disponível em: <http://climainfo.org.br/2017/09/25/uma-breve-historia-dos-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 24 out. 2020.

[21] Relatório da Frota Circulante. **Clima Info**, 2021. Disponível em: [https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2021/RelatorioFrotaCirculante\\_Marco\\_2021.pdf](https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2021/RelatorioFrotaCirculante_Marco_2021.pdf). Acesso em: 24 out. 2020.

[22] Emissão de CO2 de carros e motos cresce 192% no Brasil, diz pesquisa. **Mobilize Brasil**, 23 set. 2016. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/noticias/9989/emissao-de-co2-de-carros-e-motos-cresce-192-no-brasil-diz-pesquisa.html>. Acesso em: 25 out. 2020.

[23] Veículos elétricos: um mercado em ascensão. **BNDES**, 22 out. 2018. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/veiculos-eletricos>. Acesso em: 25 out. 2020.

[24] FRANCO, Nadia. Demanda por energia elétrica atingiu novo recorde nesta quarta-feira. **Agência Brasil**, 16 jan. 2019. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-01/demanda-por-energia-eletrica-atingiu-novo-recorde-nesta-quarta-feira>. Acesso em: 27 out. 2020.

[25] MEYER, Guilherme E. C. Opção de Arquitetura de Veículos elétricos e híbridos. **Researchgate**, jan. 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Opcao-de-Arquitetura-de-Veiculos-eletricos-e-hibridos\\_fig2\\_286048791](https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Opcao-de-Arquitetura-de-Veiculos-eletricos-e-hibridos_fig2_286048791). Acesso em: 03 nov. 2020.

[26] RICHTER, Felix. China's Electric Vehicle Market Races Ahead. **Statista**, 14 jan. 2019. Disponível em: <https://www.statista.com/chart/16626/electric-vehicle-sales-in-the-us-and-china/>. Acesso em: 03 nov. 2020.

[27] Regulação dos Serviços de Distribuição. **ANEEL**, 06 ago. 2018. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/regulacao-da-distribuicao/-/asset\\_publisher/nHNpDfkNeRpN/content/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao/656827?inheritRedirect=falseredirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fregulacao-da-distribuicao%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_nHNpDfkNeRpN%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-2%26p\\_p\\_col\\_count%3D4](https://www.aneel.gov.br/regulacao-da-distribuicao/-/asset_publisher/nHNpDfkNeRpN/content/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao/656827?inheritRedirect=falseredirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fregulacao-da-distribuicao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_nHNpDfkNeRpN%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D4). Acesso em: 05 nov. 2020.

[28] SOUSA, Rafaela. Matriz energética brasileira. **Mundo educação**, 2020. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/matriz-energetica-brasileira.htm>. Acesso em: 06 nov. 2020.

[29] Matriz Energética e Elétrica. **EPE**, 2020. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 06 nov. 2020.

- [30] Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. **ABSOLAR**, 01 jan. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/> Acesso em: 03 fev. 2021.
- [31] Consumo de combustíveis no Brasil em 2020 caiu ao menor nível em 8 anos, aponta ANP. **G1**, 02 fev. 2021. Economia. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/02/02/consumo-de-combustiveis-no-brasil-em-2020-caiu-ao-menor-nivel-em-8-anos-aponta-anp.ghtml>. Acesso em: 04 fev. 2021.
- [32] GERAÇÃO. **Itaipu Binacional**. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>. Acesso em: 04 fev. 2021.
- [33] MAYER, Robson. Conversor CC-CC multifasico bidirecional em corrente isolado não aplicado a sistemas elétricos de tração de veículos elétricos híbridos. **Researchgate**, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/a-Configuracao-serie-paralelo-ou-mista-do-HEV-e-b-serieparalelo-com-transmissao\\_fig4\\_321398021](https://www.researchgate.net/figure/a-Configuracao-serie-paralelo-ou-mista-do-HEV-e-b-serieparalelo-com-transmissao_fig4_321398021). Acesso em: 07 fev. 2021.
- [34] MATTEDE, Henrique. Carros elétricos, tipos e características!. **Mundo da elétrica**. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/carros-eletricos-tipos-e-caracteristicas/>. Acesso em: 08 fev. 2021.
- [35] GIACOMIM, Ítalo Girardelli. Caracterização de harmônicas em equipamentos residenciais. **Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto**, 2016. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/250/1/MONOGRAFIA\\_Caracteriza%C3%A7%C3%A3oHarm%C3%B4nicasEquipamentos.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/250/1/MONOGRAFIA_Caracteriza%C3%A7%C3%A3oHarm%C3%B4nicasEquipamentos.pdf). Acesso em: 09 fev. 2021.
- [36] 24-hour Simulation of a Vehicle-to-Grid (V2G) System. **MathWorks**. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/24-hour-simulation-of-a-vehicle-to-grid-v2g-system.html>. Acesso em: 15 fev. 2021.
- [37] ANGELO, Barbara. Carros elétricos no Brasil: veja todos os modelos e preços. **AutoPapo**, Atualizado em 23 nov. 2021. Disponível em: <https://autopapo.uol.com.br/noticia/carros-eletricos-no-brasil/> Acesso em: 24 set. 2021.
- [38] RODRIGUES, Aline. Curva de carga de um consumidor residencial real. **Researchgate**, jul. 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Curva-de-carga-de-um-consumidor-residencial-real\\_fig1\\_343336701](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Curva-de-carga-de-um-consumidor-residencial-real_fig1_343336701). Acesso em: 24 set. 2021.
- [39] Curvas de carga em pontos de consumo comercial. **Curva carga**, 24 jun. 2016. Disponível em: [http://curvadecarga.blogspot.com/2016/06/curvas-de-carga-em-pontos-de-consumo\\_24.html](http://curvadecarga.blogspot.com/2016/06/curvas-de-carga-em-pontos-de-consumo_24.html). Acesso em: 24 set. 2021.
- [40] Em qual horário a energia é mais barata? Como funciona? **Alsol Energias Renováveis**, 23 jan. 2020. Disponível em: <https://www.alsolenergia.com.br/2020/01/23/qual>

horario-a-energia-e-mais-barata/. Acesso em: 26 set. 2021.

[41] Consumo ponta e fora ponta: o que é? **Focus Energia**, 05 jun. 2021. Disponível em: <https://www.focusenergia.com.br/consumo-ponta-e-fora-ponta-o-que-e/>. Acesso em: 26 set. 2021.

[42] VALVERDE,Michelle. Combustíveis têm uma escalada de preços em MG - Diário do Comércio. **Diário do comércio**, 14 jul. 2021. Economia. Disponível Em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/combustiveis-tem-uma-escalada-de-precos-em-mg>. Acesso em: 27 set. 2021.

[43] ANDRADE Leonardo. Top 10: carros mais econômicos 2021. **Notícias automotivas**, 2021. Disponível em: <https://www.noticiasautomotivas.com.br/top-10-carros-populares-mais-economicos/>. Acesso em: 27 set. 2021.

[44] Tarifa branca é opção para consumidores em 2020. **ANEEL**, 31 dez. 2019. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/tarifa-branca-e-opcao-para-consumidores-em-2020/656877?inheritRedirect=false](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/tarifa-branca-e-opcao-para-consumidores-em-2020/656877?inheritRedirect=false). Acesso em: 27 set. 2021.

[45] NÚMERO DE CARROS ELÉTRICOS NO BRASIL.**NeoCharge**. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>. Acesso em: 29 set. 2021.

[46] BECK, Raul Fernando.BATERIAS DE LÍTIO-ÍON (LiB) PERSPECTIVAS E MERCADO. **CPqD**. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/antigo/images/eventos/2018/iii-litio-brasil/apresentacoes/baterias-ion-litio-perspectiva-mercado.pdf>. Acesso em: 29 set. 2021.

[47] PORTO, Fabiano de Paula. A ERA DOS CARROS ELÉTRICOS E AS TRÊS AMEAÇAS PARA SOCIEDADE QUE DEVEMOS EVITAR. **Meon**, 11 set. 2020. Disponível em: <https://www.meon.com.br/blog-e-colunas/a-era-dos-carros-eletricos-e-as-tres-ameacas-para-a-sociedade-que-devemos-evitar>. Acesso em: 29 set. 2021.

[48] RIBEIRO, Felipe. O que vale mais a pena: Carro híbrido leve ou plug-in? **Canaltech**. 20 de nov. de 2021. Disponível em: <https://canaltech.com.br/carros/carro-hibrido-leve-plug-in-qual-vale-mais-a-pena183644-183644/> .Acesso em: 20 de nov. de 2021.

[49] Qual é a durabilidade do motor dos carros elétricos? **Autopapo**. 27 de nov. de 2021. Disponível em: <https://autopapo.uol.com.br/noticia/qual-a-durabilidade-motor-carros-eletricos/>. Acesso em: 27 nov. de 2021.

[50] MIRAGAYA, Fernando. Como é a manutenção do carro elétrico? **Webmotors**. 17 nov. de 2021. Disponível em: <https://www.webmotors.com.br/wm1/dinheiro-e-economia/como-e-a-manutencao-de-carro-eletrico>. Acesso em: 04 dez. de 2021.

[51] Quanto custa manter um carro? O valor é maior do que se imagina! **Folha Vitória**. Economia. 03 de fev. de 2021. Disponível em: <https://www.folhavitoria.com.br/economia/>

noticia/02/2021/quanto-custa-manter-um-carro-o-valor-e-maior-do-que-se-imagina. Acesso em: 04 dez. de 2021.