



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE SOBRAL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JOANA LAILA VITAL CARNEIRO

**IMPACTO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA
ELÉTRICO DE POTÊNCIA BRASILEIRO**

SOBRAL
2018

JOANA LAILA VITAL CARNEIRO

**IMPACTO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA
ELÉTRICO DE POTÊNCIA BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
do *Campus* Sobral da
Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção
do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof.^a Dra. Vanessa Siqueira de Castro Teixeira.

**SOBRAL
2018**

JOANA LAILA VITAL CARNEIRO

IMPACTO DA INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA
ELÉTRICO DE POTÊNCIA BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
do *Campus* Sobral da
Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção
do grau de bacharel em Engenharia
Elétrica.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Vanessa Siqueira de Castro Teixeira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Rosana Maria Alves Saboya
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. Cibelly Azevedo de Araújo Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C289i Carneiro, Joana Laila Vital.
Impacto da inserção de veículos elétricos no sistema elétrico de potência brasileiro. /
Joana Laila Vital Carneiro. – 2018.
61 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus
de Sobral, Curso de Engenharia Elétrica, Sobral, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Vanessa Teixeira de Castro Siqueira.
1. Veículo Elétrico. 2. Híbrido. 3. Plug-in. 4. Sistema Elétrico de Potência. 5. Dióxido de
carbono. I. Título.

CDD 621.3

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter sido um amparo e fortaleza em todos os momentos.

À minha querida orientadora Dra. Vanessa Siqueira de Castro Teixeira, por toda paciência, pelas maravilhosas análises, pelo acompanhamento e amizade que desenvolvemos.

À minha mãe, Fernanda Antonia Vital, por ter feito tudo o que estava ao seu alcance para a valorização dos meus estudos, transmitindo muito amor e parceria.

À minha mãe do coração, Maria Vera Lúcia Magalhães, por ter dedicado muito carinho e amor, sempre torcendo comigo e comemorando todas as conquistas.

Aos meus irmãos, Batista Júnior, Joathan Vital e Pedro Magalhães, por estarem sempre ao meu lado.

Ao meu amado companheiro Caio César Ferreira Xavier, um presente que a engenharia me deu, por estar ao meu lado em todas as horas, apoiando e incentivando, torcendo e comemorando. Meu sincero agradecimento pelo seu amor.

À todos os meus familiares e amigos, que sempre torcem por mim e transmitem energias positivas.

“O conhecimento nos faz
responsáveis”.

(Che Guevara, 1959)

RESUMO

Tendo em vista a importância do setor elétrico para a economia de um país e os impactos ambientais causados por ele, o presente trabalho propõe o estudo dos impactos técnicos na rede elétrica e dos ambientais através da liberação de gases tóxicos, como o dióxido de carbono, provenientes da inserção de veículos elétricos (VEs). Para a realização desta análise, realizou-se uma comparação quanto aos níveis de liberação de gases provenientes tanto dos veículos tradicionais, movidos à gasolina, etanol hidratado e *flex fuel*, quanto dos veículos elétricos na categoria de híbridos *plug-in*. Estes tratam-se da combinação do modelo híbrido (motor a combustão interna em conjunto com motor elétrico) com o à somente bateria, cuja pode ser alimentada por uma fonte externa de energia ou pelo motor a combustão interna. A analogia foi realizada em três formas de fornecimento de energia: somente por termelétricas; termelétricas e hidrelétricas ao mesmo tempo; apenas por hidrelétricas. Os resultados mostraram que inserir veículo elétrico (VE) na frota brasileira não é uma atitude vantajosa no aspecto ambiental quando sua recarga for realizada considerando o modelo atual da matriz energética brasileira, ou seja, utilizando a energia elétrica produzida pelas usinas termelétricas ou hidráulicas. Foi observado que os valores de emissão de dióxido de carbono são superiores quando comparado aos veículos com abastecimento tradicional. Quanto aos impactos técnicos, são enumerados os problemas de harmônicos, ressonância, aumento desordenado da carga oriundos principalmente da desorganização no processo de expansão do uso dos VEs, nos horários de carregamento dos veículos e do número destes veículos conectados à rede, mostrando a necessidade de medidas eficientes para a atenuar os harmônicos, como inserção de filtros em pontos estratégicos da rede elétrica e monitoramento das distorções harmônicas de tensão e corrente para que estejam dentro dos limites estabelecidos.

Palavras-chave: Veículo Elétrico. Híbrido. *Plug-in*. Sistema Elétrico de Potência. Dióxido de carbono.

ABSTRACT

Considering the importance of the electric sector to the economy of a country and the environmental impacts caused by it, the present work proposes the study of both the technical impacts on the electrical network and the environment through the release of toxic gases such as carbon dioxide, from the insertion of VEs. In order to carry out this analysis, a comparison was made of the levels of gas release from both traditional vehicles, powered by gasoline, hydrated ethanol and flex fuel, and from electric vehicles in the category of plug-in hybrids. These are the combination of the hybrid model (internal combustion engine in conjunction with electric motor) with the battery, which can be powered by an external power source or by the generator motor. The analogy was made in three forms of energy supply: only by thermoelectric; thermoelectric and hydroelectric plants at the same time; only by hydroelectric plants. The results showed that inserting an electric vehicle into the Brazilian fleet is not an advantageous attitude in the environmental aspect when recharging is performed considering the current model of the Brazilian energy matrix, that is, using the electric energy produced by the thermoelectric or hydraulic plants. It has been observed that the carbon dioxide emission values are higher when compared to vehicles with traditional supply. Regarding the technical impacts, the problems of harmonics, resonance, disordered increase of the load originated mainly from the disorganization in the process of expansion of the use of VEs, the loading times of the vehicles and the number of these vehicles connected to the network, are shown. efficient measures to attenuate the harmonics, such as insertion of filters at strategic points of the electric grid and monitoring of the harmonic distortions of voltage and current to be within the established limits. In addition, to coordinate the loading times of the VEs and an application by the concessionaires in order to adapt the distribution network to these new loads.

Keywords: Electric Vehicle. Hybrid. Plug-in. Electrical Power System. Carbon dioxide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Primeiro veículo elétrico a alcançar 100km/h: “La Jamais Contente”	19
Figura 02 – Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico híbrido série.....	21
Figura 03 – Exemplo de veículo elétrico híbrido série: Chevrolet Volt	22
Figura 04 – Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico híbrido paralelo.....	23
Figura 05 – Exemplo de veículo elétrico híbrido paralelo: Honda Insight.....	23
Figura 06 – Exemplo de veículo elétrico híbrido misto: Toyota Prius	24
Figura 07 –Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico híbrido plug-in na categoria série	26
Figura 08 - Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico híbrido plug-in na categoria paralelo	26
Figura 9 – Exemplo de veículo elétrico híbrido plug-in: Toyota Prius.....	27
Figura 10 – Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico à bateria	28
Figura 11 – Exemplo de veículo elétrico à bateria: Nissan Leaf.....	29
Figura 12 – Oferta interna de energia elétrica por fonte	30
Figura 13 - Classificação das Usinas Termelétricas quanto ao combustível... ..	31
Figura 14 -Comportamento da taxa de distorção harmônica de tensão em 13,8kV e 380 V em função do desequilíbrio de tensão	36
Figura 15 - Consumo de combustível por ano para um automóvel	41
Figura 16 - Produção de dióxido de carbono por ano para cada combustível .	41
Figura 17 - Comparação de emissão de CO ₂ entre veículo a combustão e um veículo elétrico com energia obtida somente por termelétrica.....	43
Figura 18 - Comparação da emissão média de CO ₂ entre veículos a combustão e um veículo elétrico com energia obtida somente por termelétrica.....	44
Figura 19 - Comparação das emissões de gases de efeito estufa de dados da literatura com os referentes à América Latina, em gCO ₂ /kWh de energia gerada	45
Figura 20 - Emissões de t CO ₂ /kWh para fornecimento em parte por hidrelétricas	47
Figura 21 - Comparação de emissão de CO ₂ entre veículo a combustão e um veículo elétrico com energia obtida por termelétricas e hidrelétricas, simultaneamente	48
Figura 22 - Comparação da emissão média de CO ₂ entre veículos a combustão e um veículo elétrico com energia obtida por termelétrica e hidrelétrica	48
Figura 23 - Emissões de t CO ₂ /ano para fornecimento somente por hidrelétricas	49
Figura 24 - Comparação entre os valores médios de emissão de CO ₂ para cada caso de participação das hidrelétricas	50
Figura 25 - Comparação de emissão de CO ₂ entre veículo a combustão e um veículo elétrico com energia obtida somente por hidrelétricas	51
Figura 26 - Comparação da emissão média de CO ₂ entre veículos a combustão e um veículo elétrico com energia obtida apenas por hidrelétrica	51
Figura 27 - Média de emissões (t CO ₂ /ano)	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Projeto de venda ao ano e da frota total de automóveis de 2010 a 2030 (em milhões).	23
Tabela 02 - Quilometragem por litro de combustível consumido para automóveis e veículos comerciais leves (km/L).....	24
Tabela 03 - Fatores de emissão de CO ₂	24
Tabela 04 – Densidade energética, energia gerada e fator de emissão das usinas hidrelétricas avaliadas pelos estudos de Mariana Maia de Miranda.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABVE	Associação Brasileira de Veículo Elétrico
CO ₂	Dióxido de Carbono
CP	Conversor de Potência
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
MCI	Motor de Combustão Interna
ME	Motor Elétrico
MO	Motor à Otto
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
VE	Veículo Elétrico
VEB	Veículo Elétrico à Bateria
VEH	Veículo Elétrico Híbrido
VEHP	Veículo Elétrico Híbrido <i>Plug-in</i>
V2G	<i>Vehicle-to-Grid</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS.....	16
2. VEÍCULOS ELÉTRICOS A COMBUSTÃO, HÍBRIDOS E PURAMENTE ELÉTRICOS	17
2.1. HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS	17
2.2. VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS (VEH)	19
2.2.1. <i>VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO SÉRIE</i>	20
2.2.2. <i>VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO PARALELO</i>	22
2.2.3. <i>VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO MISTO</i>	24
2.3. VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO <i>PLUG-IN</i>	24
2.4. VEÍCULOS ELÉTRICOS À BATERIA (VEB)	27
3. MATRIZ ENERGÉTICA E FROTA DE VEÍCULOS BRASILEIRA	30
3.1. MATRIZ ENERGÉTICA	30
3.2. FROTA DE VEÍCULOS BRASILEIRA	32
4. PRINCIPAIS IMPACTOS TÉCNICOS AO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA	34
4.1. ALTERAÇÕES NO EQUILÍBRIO DA TENSÃO DA REDE.....	35
4.2. INTENSIFICAÇÃO DOS HARMÔNICOS NA REDE.....	35
5. IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE – EMISSÃO DE CO ₂	38
5.1. ESTUDOS DAS EMISSÕES DE CO ₂ DE ACORDO COM A FONTE ENERGÉTICA UTILIZADA.....	38
5.1.1. <i>FORNECIMENTO DE ENERGIA APENAS POR TERMELÉTRICA</i> 42	
5.1.2. <i>FORNECIMENTO DE ENERGIA POR TERMELÉTRICA E HIDRELÉTRICA</i>	44
5.1.3. <i>FORNECIMENTO DE ENERGIA SOMENTE POR HIDRELÉTRICAS</i>	49
5.1.4. <i>COMPARAÇÃO ENTRE AS FORMAS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA APRESENTADAS</i>	52
6. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento econômico e tecnológico dos países emergentes e a expansão destes fatores nos países desenvolvidos nas últimas décadas, melhorou consideravelmente o poder de consumo da sociedade. O consumo energético acompanha o crescimento econômico e tecnológico. Dados que asseguram a dimensão de uso dos recursos energéticos expressam, segundo o relatório do Banco Energético Nacional, que no intervalo entre 2013 e 2014 houve um crescimento no consumo energético em torno de 5 876 000 toneladas equivalentes de petróleo nos mais diversos setores. Nos transportes, por exemplo, neste mesmo período ocorreu um aumento de 3 163 000 toneladas equivalentes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017). A preocupação em reduzir esses valores é uma problemática atual. Desta forma, a utilização racional dos recursos energéticos e o desenvolvimento de tecnologias são fatores que tendem a contribuir para amenizar as consequências ambientais e econômicas que estão relacionados a este consumo.

Na esfera automobilística, os veículos elétricos são exemplos de avanço tecnológico motivados, principalmente, pela preocupação ambiental. O governo da França estabeleceu que a partir de 2040 não serão mais vendidos carros a gasolina e diesel. A China pretende que a partir do ano de 2019, 10% de toda a frota comercializada deve ser elétrica ou híbrida. Fatores como estes incentivam as montadoras de investirem nesse ramo. A Toyota, por exemplo, tem a intenção de vender 5,5 milhões de unidades do seu modelo elétrico por ano até 2030. No Brasil, em 2017, foram comercializados em torno de 3000 carros híbridos. Comparando com o crescimento dos veículos elétricos de outros países, este valor torna-se insignificante por representar apenas 0,15% da quantidade de veículos vendidos no país. Baseado nestes números, o governo Brasileiro tem disponibilizado programas que apresentam incentivos fiscais para os carros elétricos. O Programa Rota 2030, por exemplo, possibilitaram redução da alíquota do Imposto sobre Produto Industrializado (IPI). Em 2015, o governo Federal reduziu os impostos de importação de carros elétricos permitindo que empresas como Volvo, Chevrolet, Toyota e Renault invistam mais no setor brasileiro e contribuam no processo de inserção dos veículos elétricos (SMARTIA, 2018).

Por definição, um veículo elétrico é um equipamento automotor no qual pelo menos uma das rodas é acionada através de um motor elétrico. Uma das principais

vantagens desses veículos consiste em sua alta eficiência, cerca de 90% de rendimento (BASSO, 2011).

Os veículos elétricos (VE's) podem ser classificados de acordo com as fontes de energia utilizadas para colocá-los em movimento. De modo geral, têm-se dois tipos: veículo elétrico à bateria (VEB) e veículo elétrico híbrido (VEH).

O VEB utiliza-se apenas da energia presente em suas baterias. O VEH apresenta a combinação de um motor à Otto (abastecido por gasolina, etanol, óleo diesel ou gás natural veicular) com um motor elétrico.

Os VEH's *plug-in* são veículos automotores que combinam as características dos híbridos com os à bateria, podendo ser alimentada por uma fonte externa, ou pela frenagem regenerativa ou pelo motor a Otto. (EICHENBERGER, 2015).

O investimento para adquirir um carro elétrico é elevado. Soma-se a isto o problema da forma de carregamento de suas baterias. Observa-se com que é necessário o desenvolvimento de uma estrutura de carregamento mais acessível e adequada aos consumidores. Além disso, o desafio da acessibilidade ao sistema de recarga dos VE's, a desorganização no horário de carregamento das baterias que podem saturar a demanda disponível no sistema (JACINTO, 2017), são alguns fatores que dificultarão o processo de inserção dos veículos elétricos *plug-in* na frota.

Em meio a questão ambiental, o veículo elétrico híbrido *plug-in*, apesar de possuírem baterias, são considerados uma opção eficiente quando se procura reduzir a liberação de gases que contribuem para o aquecimento global e diminuir a exploração demasiada de combustíveis como petróleo, para a produção da gasolina.

Os veículos elétricos híbridos *plug-in* não utilizam os combustíveis fósseis como a principal fonte de energia para seu funcionamento, conseqüentemente não são responsáveis por lançarem quantidades elevadas de gases poluentes. A forma como a energia que alimentará os automóveis *plug-in* é produzida provém da exploração de recursos naturais – hidrelétricas e termelétricas, principalmente – esgotáveis ou não esgotáveis, as quais também trazem prejuízos ambientais consideráveis e em caso de a demanda de energia aumentar de forma descontrolada devido a inserção sem planejamento de veículos elétricos o preço da energia pode elevar tanto a ponto de tornar viável essa mudança. Diante disso, comparações devem ser feitas para evidenciar os reais impactos que a inserção em massa dos VE's podem causar.

No Brasil, em média, o uso de energia elétrica por automóveis viabilizaria uma redução do consumo de gasolina de 40,7% em 2031, seguido por um aumento do consumo de eletricidade de 42,1% (BARAN, 2012). Números estes que trazem uma opção otimista para redução de problemas ambientais, pois, apesar do grande potencial energético brasileiro baseado na exploração de combustíveis fósseis, a eletricidade vem de fontes renováveis, os quais possuem pequena oscilação de preço e mínima dependência de matéria-prima importada em comparação com os derivados de petróleo (BASSO, 2011).

A perturbação provocada pelo carregamento das baterias dos VE's não será determinada apenas pelo número de veículos elétricos em uso, mas também pela quantidade que se encontra carregando no mesmo instante e o perfil de carregamento das baterias. Diante disso, serão necessárias medidas para coordenação do processo de carregamento dos veículos com a proposta de minimizar as perdas elétricas e maximizar o fator de carga da rede.

A mestre Tatiane Bruce da Silva (2017), defende que em meio ao processo de inserção dos veículos elétricos, o risco de faltar energia devido ao crescimento da frota de veículos elétricos é reduzido (SILVA, 2017).

Jacinto (2017), ao realizar seus estudos sobre o controle no custo complementar de operação constatou que o aumento na inserção dos VE's indicou que esse adicional fosse atendido pela térmicas, elevando o valor da energia e a preocupação em reduzir possíveis déficits de energia.

Basso (2011) em seu trabalho sobre o impacto dos veículos elétricos *plug-in* no sistema elétrico de potência comprovou que as emissões de CO₂ originadas pela geração térmica de energia elétrica superam em 84 % às realizadas pelos veículos à combustão. Sendo assim, os veículos elétricos podem apenas deslocar a poluição dos grandes centros de geração de energias para os locais com grande concentração de veículos elétricos. Além disso o autor propõe a implantação das chamadas *smart grids* ou redes inteligentes, as quais agregam a tecnologia da informação ao sistema elétrico de potência. Há o conceito de *Vehicle-to-Grid* (V2G), que utilizada em conjunto com as *smart grids*, permitirá que o veículo elétrico, quando conectado à rede elétrica, forneça a energia armazenada em suas baterias para alimentar a rede em horários críticos, e em horários de menor consumo e tarifa volte a acumular energia (BASSO, 2011).

Este trabalho tem o objetivo de analisar qualitativamente os efeitos que a inserção de veículos elétricos nos sistemas de potência pode ocasionar. Serão descritos os principais impactos técnicos ao sistema elétrico de potência brasileiro devido a inserção de veículos elétricos. Além disso, serão analisadas a produção de dióxido de carbono tanto para os veículos a combustão convencionais quanto pelos veículos elétricos. Quanto aos veículos elétricos, serão analisados a liberação de dióxido de carbono em três categorias de fornecimento de energia: apenas por termelétricas; termelétricas e hidrelétricas ao mesmo tempo; somente por hidrelétricas.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é mostrar e esclarecer os impactos ao ambiente e ao sistema elétrico de potência originados pela inserção de veículos elétricos.

Os objetivos específicos são:

- a) Apresentar como os veículos elétricos influenciam na potencialização dos harmônicos na rede;
- b) Apontar com estes veículos impactam aos níveis de tensão da rede elétrica;
- c) Comparar as emissões de dióxido de carbono realizadas pelos veículos a combustão convencionais com às dos veículos elétricos híbridos e à bateria, considerando nas comparações três formas de fornecimento de energia aos veículos elétricos: somente por termelétricas, apenas por hidrelétricas e termelétricas e hidrelétricas ao mesmo tempo.

2. VEÍCULOS ELÉTRICOS A COMBUSTÃO, HÍBRIDOS E PURAMENTE ELÉTRICOS

Os veículos elétricos são definidos por todo e qualquer veículo automotor que possua no mínimo uma de suas propulsões realizada por um motor elétrico. Nesta denominação se enquadram carros, trens, barcos, metrô, aviões e ônibus. Nesse estudo, será dado enfoque aos carros elétricos, denominados aqui simplesmente por veículos elétricos, que representam uma alternativa aos veículos tradicionais de combustão interna (EICHENBERGER, 2015).

Os veículos elétricos podem ser classificados de acordo com as fontes de energia que os movimentam. Classificam-se em dois tipos:

- Veículo Elétrico à Bateria (VEB).
- Veículo Elétrico Híbrido (VEH)
 - Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in*.

O VEH possui um motor de combustão interno à gasolina ou diesel e um conjunto de baterias químicas mais acionamento ou conversor de potência (CP) e motor elétrico (ME).

Os VEB não necessitam de combustíveis para se locomover, apenas necessário que suas baterias estejam carregadas nos níveis adequados. O carregamento das baterias pode se dá pela rede elétrica ou pela frenagem regenerativa destes veículos (BASSO, 2011).

Os VEH *Plug-in* tratam-se da combinação do híbrido com o à bateria. Neste caso a bateria é alimentada por uma fonte externa, quanto pelo MCI. Essa combinação visa reduzir o consumo de combustível e aumentar a autonomia do VE utilizando somente a bateria para seu funcionamento.

2.1. HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Apesar de um assunto discutido muito nos últimos anos, o surgimento de veículos elétricos remonta ao início do século de 1800. O primeiro projeto de VE foi idealizado pelo húngaro Ányos Jedlik no ano de 1828, e o primeiro só foi construído em 1835 por Thomas Davenport, o qual tornou-se o propulsor da utilização deste veículo em trilhos no século 19 (JACINTO, 2017). Em 1881, Frenchman Gustave construiu um triciclo movido por um motor de corrente contínua de 75 W alimentado por bateria de chumbo-ácido. O veículo e o passageiro juntos pesavam

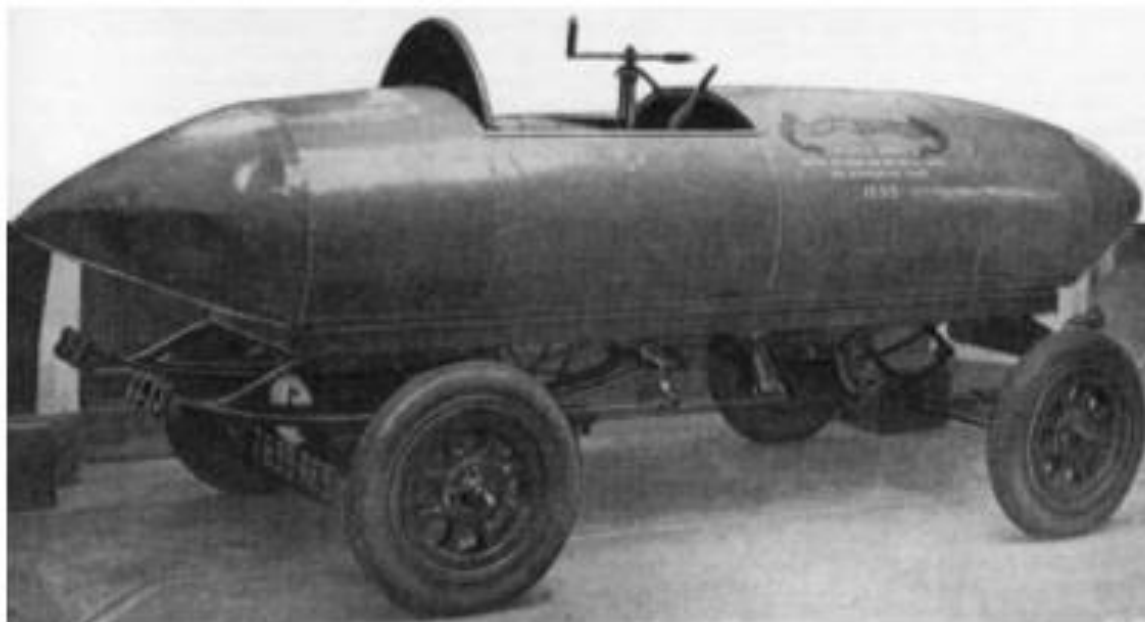
aproximadamente 160 kg. A velocidade máxima era de 15 km/h e a autonomia de 16 km não atrairiam os possíveis consumidores (CASTRO, 2015).

A partir deste momento o interesse por automóveis se intensificou. Os veículos movidos à gasolina, por meio do advento do motor a combustão interna por Henry Ford (JACINTO, 2017), começaram a competir com os elétricos. Devido a autonomia limitada dos veículos elétricos e o rápido desenvolvimento das ruas e das rodovias em muitos países, o cenário tornou-se favorável aos veículos de combustão interna, pois estes apresentavam maior potência e flexibilidade, fazendo com que os VEs começassem a desaparecer.

Em 1894 foi projetado e construído o primeiro carro elétrico comercial, o chamado Electrobat da Morris & Salom. Em 1905 foi lançado o último VE com vendas expressivas e por um período de 60 anos eles tiveram aplicação restrita em carros de golfe.

Um grande passo dado, aconteceu em 1897 em que a frenagem regenerativa foi desenvolvida. Esta tecnologia permite a recuperação da energia cinética durante as frenagens recarregando as baterias, aumentando assim a autonomia do veículo, o que contribui para o aumento da eficiência energética. Fruto desse resultado foi o veículo “La Jamais Contente” inventado por Camille Jenatzy o qual foi o primeiro a alcançar 100 km/h. Este veículo está representado na Figura 01 (CASTRO, 2015).

Figura 01 - Primeiro veículo elétrico a alcançar 100km/h: “La Jamais Contente”



Fonte: Castro, 2015.

Um pouco mais tarde, no fim da década de 90, a indústria automobilística optou por investir no desenvolvimento de veículos híbridos, que após alguns anos atingiram uma posição avançada em relação à possível produção em massa se comparado a qualquer VE até a época (CASTRO, 2015).

Atualmente, os VEs vêm ganhando espaço em resposta a busca da sociedade por reduzir a emissão de gases poluentes e a dependência de combustíveis fósseis. O avanço em pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias na indústria automobilística, a descoberta de novos materiais para a produção dos veículos, possibilitaram a utilização de equipamentos e componentes mais eficiente, além de diversas alternativas para o mercado (JACINTO, 2017). O Tesla Model S (esportivo de alto desempenho), que possui um motor elétrico de potência 283 kW e autonomia de 335 km na sua versão com bateria de 60 kWh (TESLA, 2015) e o Nissan Leaf (compacto) de potência 80 kW (NISSAN, 2015) são exemplos de veículos elétricos com elevada tecnologia comercializados atualmente.

2.2. VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS (VEH)

Esta modalidade de VE apresenta o uso combinado de um motor a combustão interna com um motor elétrico. A energia elétrica que é fornecida para o ME é gerada no próprio veículo através do MO o qual pode ser abastecido com álcool ou gasolina. A combinação dessas duas tecnologias permite ao veículo híbrido aumentar a autonomia do motor a combustão, reduzindo seu consumo, tornando-se mais eficiente

em relação àqueles movidos apenas a motores a Otto. Contudo, apesar destas vantagens, estes são responsáveis por emitirem gases causadores do efeito estufa (EICHENBERGER,2015; JACINTO,2017).

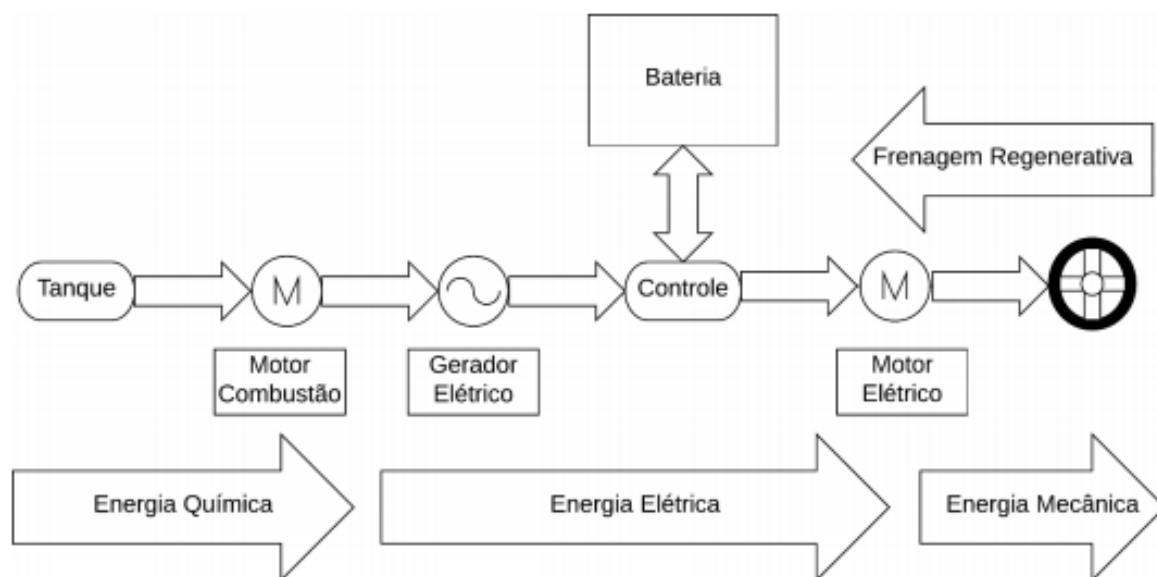
Os VEHs utilizam alguns recursos que favorecem o aumento de sua eficiência como, a frenagem regenerativa para recarregar as baterias, onde se aproveita a energia cinética proveniente da desaceleração do veículo para carregar as baterias, e o desligamento do motor caso o sistema de controle identifique que o veículo não necessite dele.

Segundo Jacinto (2017), o VEH pode ser dividido em três configurações: série, paralelo e misto. Este último é uma combinação entre série e paralelo, agregando as vantagens de cada sistema.

2.2.1. VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO SÉRIE

Esta configuração se dá através do acoplamento do motor a combustão ao eixo de um gerador elétrico, responsável pela geração de eletricidade que alimenta um motor elétrico e as baterias (JACINTO, 2017). O MO geralmente funciona em seu ponto de eficiência ótimo de forma a acionar o gerador e carregar as baterias de propulsão a bordo do veículo. Após conversão de energia que ocorre para o funcionamento deste veículo, uma parcela é transformada em movimento rotacional, que aciona o eixo do gerador e o transforma em energia elétrica. Esta energia pode ser disponibilizada para o motor elétrico, transformando-a novamente em movimento rotacional ou, pode ser retificada e armazenada em baterias para futuros usos. O esquemático do VEH série e sua conversão de energia é demonstrado na Figura 02.

Figura 02 – Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico híbrido série



Fonte: Jacinto, 2017.

Os híbridos em série apresentam vantagens tanto em baixas velocidades quanto em momentos onde se realizam paradas sucessivas. Isto pode ser atribuído principalmente ao fato do MO não tracionar as rodas diretamente. Já o motor elétrico é acoplado diretamente ao eixo das rodas, sendo responsável pela tração e, podendo também atuar como gerador, no caso da frenagem regenerativa. Como exemplo de híbrido série apresenta-se o Chevrolet Volt, conforme Figura 03.

Figura 03 – Exemplo de veículo elétrico híbrido série: Chevrolet Volt

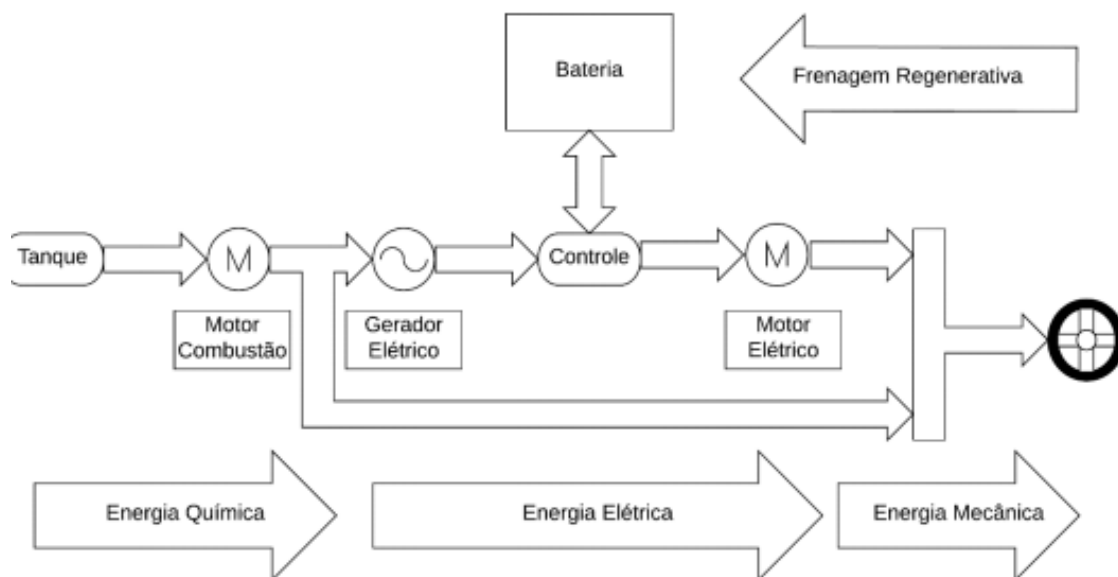


Fonte: Chevrolet (2017).

2.2.2. VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO PARALELO

É semelhante ao veículo série, porém o motor a combustão também pode realizar a tração das rodas. Esta característica possibilita a ação conjunta ou independente de cada motor, dando maior versatilidade ao sistema (JACINTO, 2017). Essa configuração possibilita o motor a combustão se manter desligado quando necessário pelo motivo da associação em paralelo permitir uma atuação um pouco mais independente do gerador elétrico em conjunto com a bateria, além de não ser acionado para velocidades baixas devido, após a conversão de energia, apresentar uma parcela de contribuição para tração do eixo das rodas pelo motor a combustão, conforme a Figura 04.

Figura 04 – Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico híbrido paralelo



Fonte: Jacinto (2017).

A operação deste tipo de configuração em estradas apresenta vantagens em relação aos veículos híbridos em série, porque dispõe de um sistema em que é possível ação conjunta ou independente de cada motor, dando mais flexibilidade ao veículo. A maioria dos híbridos atualmente comercializados utiliza a forma e transmissão paralela (JACINTO, 2017). Como exemplo de um VEH paralelo apresenta-se o Honda Insight, conforme Figura 05.

Figura 05 – Exemplo de veículo elétrico híbrido paralelo: Honda Insight



Fonte: Honda (2015).

2.2.3. VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO MISTO

Tal configuração visa obter os benefícios de operação tanto do VEH série quanto o paralelo. Existe uma ligação mecânica adicional entre o gerador e o motor elétrico, comparado com a configuração série, e um gerador adicional comparado ao híbrido paralelo. O diagrama esquemático para o veículo elétrico híbrido misto apresenta-se de forma bem semelhante à categoria do VEH paralelo(CASTRO, 2015).

Essas diferenças possibilitam desconectar o motor à combustão da transmissão e a operação se torna semelhante ao híbrido série. Esta flexibilidade proporciona a utilização do motor elétrico ou a combustão nas suas formas ótimas quando o veículo estiver em rotações baixas ou altas. Entretanto, o fato do veículo apresentar dois sistemas, seu preço torna-se bem superior comparado às outras configurações apresentadas, pois além da complexidade mecânica, o carro apresenta um gerador, um conjunto de baterias maior e um sistema de controle mais complexo. Como exemplo de VEH misto é o Toyota Prius, apresentado na Figura 07 (IMBASCIATI, 2012).

Figura 06 – Exemplo de veículo elétrico híbrido misto: Toyota Prius



Fonte: Toyota (2017).

Nos três sistemas supracitados, as baterias podem ser carregadas tanto pelo sistema de frenagem regenerativa quanto pelo MCI, logo não é necessária nenhuma fonte externa de energia elétrica.

2.3. VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO *PLUG-IN*.

Os veículos híbrido *plug-in* são considerados como um avanço tecnológico dos VEHs, quanto à eletrificação veicular (EICHENBERGER, 2015). Este apresenta a

mesma configuração do VEH, com um grande diferencial: pode funcionar na falta do combustível fóssil, utilizando apenas energia elétrica. Isto torna-se possível pois há um banco de baterias que pode ser carregada tanto por fonte externa de energia elétrica quanto pelo motor gerador. Estas baterias precisam ter uma maior capacidade de armazenamento e mais robustas para suprir tal falta de combustível (EICHENBERGER,2015; JACINTO,2017).

Nesta modalidade de veículo, o consumo de combustível e as emissões de poluentes são reduzidos, já que os trajetos iniciais, cerca de 20 a 100 km, fazem uso apenas do ME e da carga da bateria, sendo que somente quando esta atinge níveis mínimos é que o motor a combustão é acionado (ABVE, 2013).

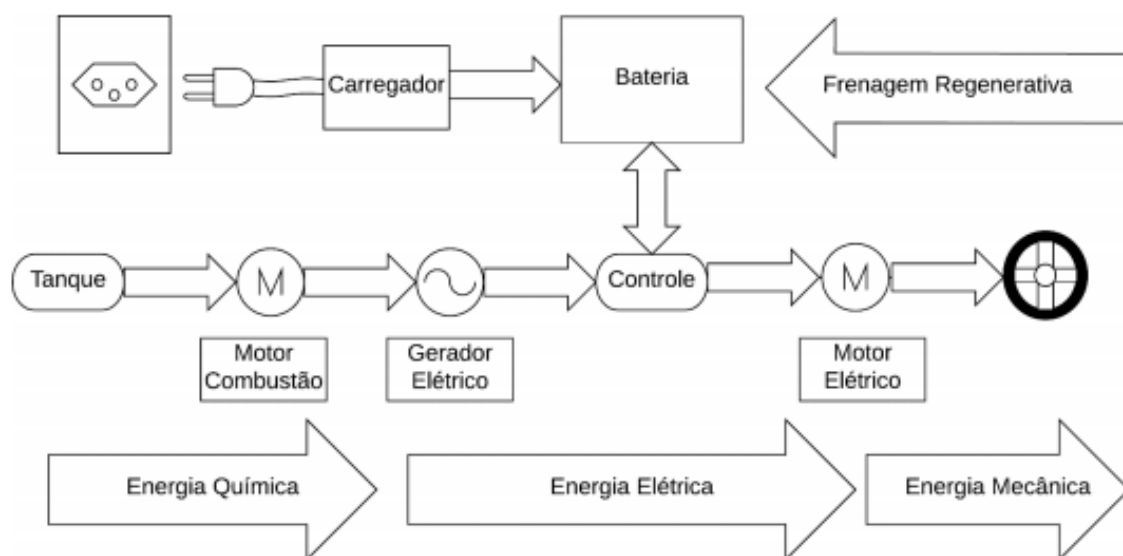
Este veículo também pode apresentar as configurações de série, paralelo ou série/paralelo e o sistema de frenagem regenerativa, contribuindo com o aumento de eficiência e autonomia.

Uma vantagem de se utilizar os VEH *plug-in* é a possibilidade da venda de energia elétrica à rede. Este fenômeno pode ser realizado quando o veículo não está sendo utilizado e se encontra conectado à rede. Com isso, podem ser utilizados como sendo um serviço auxiliar na produção, funcionando como geração distribuída. Para isso, é fundamental a presença de redes inteligentes, onde, o proprietário do veículo defina previamente a quantidade de energia que ele necessita carregar seu VE para atender suas necessidades de locomoção.

Mas para o bom funcionamento dessa forma de operação é de fundamental importância a necessidade de redes inteligentes, ou smart grids. Ressalta-se também a existência de normas e protocolos, para garantir a confiabilidade do sistema (JACINTO, 2017).

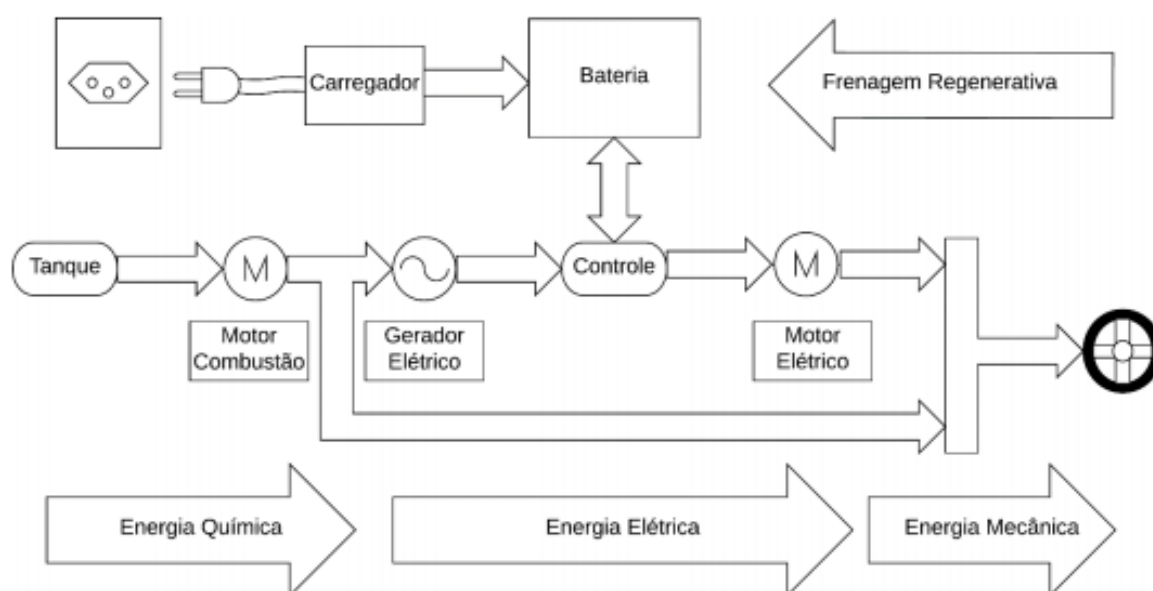
Nas Figuras 07 e 08 estão mostrados os esquemas do VEH *plug-in* nas configurações série e paralelo, juntamente com o diagrama de conversão de energia.

Figura 07 –Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico híbrido *plug-in* na categoria série



Fonte: Jacinto (2017).

Figura 08 - Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico híbrido *plug-in* na categoria paralelo



Fonte: Jacinto (2017).

Na Figura 9 está representado o Toyota Prius como uma exemplificação desta modalidade de veículo.

Figura 9 – Exemplo de veículo elétrico híbrido *plug-in*: Toyota Prius



Fonte: Toyota (2018).

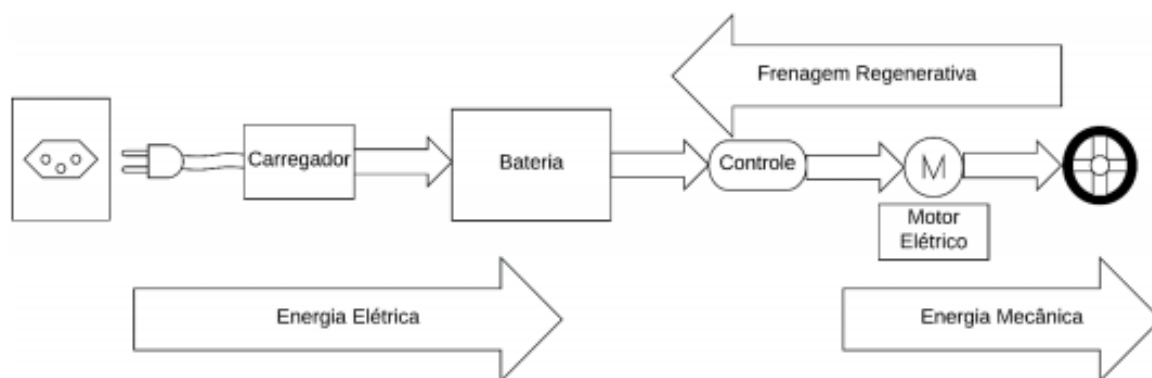
2.4. VEÍCULOS ELÉTRICOS À BATERIA (VEB)

Os VEBs são veículos automotores, cujo acionamento é realizado por motores elétricos, cuja fonte de energia é proveniente de baterias instaladas a bordo, que tem a propriedade de recarga quando necessário, não possuindo o MO. No momento de recarga, o procedimento é realizado por uma fonte de energia externa, como a rede elétrica ou fotovoltaica, e apenas de forma auxiliar com a frenagem regenerativa, esta aproveita a energia cinética da frenagem e a converte em energia elétrica, armazenando-a na bateria, constituindo uma fonte de energia interna (JACINTO, 2017).

Esta modalidade de veículos elétricos apresenta o conceito de carro compacto, e tendo como público alvo centros urbanos, cujos deslocamentos são menores (JACINTO, 2017). No VEB, para realizar a adaptação entre a energia da rede elétrica (corrente alternada) e a bateria (corrente contínua), ao motor elétrico encontra-se acoplado um inversor de potência trifásico, e um banco de baterias conecta o inversor ao conversor de potência. O conversor de potência realiza a interface das unidades de armazenamento com o sistema de potência não apenas para transferir potência

ativa, mas também potência reativa (CASTRO, 2015). Na Figura 10 encontra-se esquematizado o princípio de funcionamento de um VEB.

Figura 10 – Diagrama esquemático do fluxo de energia em um veículo elétrico à bateria



Fonte: Jacinto (2017).

Algumas desvantagens dos veículos Elétricos à Bateria estão relacionadas à autonomia das baterias, velocidade de recarga e duração, em ciclos de carga-descarga e da sua vida útil. Diante disso, para aumentar a autonomia, verifica-se a tendência de uso de grandes bancos de baterias, porém esta solução ocasiona um maior espaço ocupado e um grande incremento de peso, além de custo aos veículos. A fim de obter estruturas mais leves, os veículos elétricos são montados sobre plataformas de veículos compactos. Deste modo, pode-se compensar o elevado peso do sistema de baterias com uma estrutura mais leve do veículo (EICHENBERGER, 2015).

Sua eficiência é mais elevada, o alto rendimento do ME, tipicamente superior a 90%, associado a frenagem regenerativa tornam a eficiência dos VEBs superior aos veículos elétricos híbridos. Estima-se que esta configuração seja três vezes mais eficiente que um veículo a combustão interna tradicional e duas vezes mais que um veículo híbrido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULO ELÉTRICO, 2017). Esse tipo de veículo permite grande economia de energia e emissões nulas de gases poluentes, representando uma grande oportunidade para mitigar a emissão de poluentes, principalmente se a matriz elétrica associada à recarga for composta de fontes limpas de energia.

Um exemplo de um veículo elétrico à bateria está apresentado na Figura 11, denominado por Leaf, fabricado pela montadora Nissan.

Figura 11 – Exemplo de veículo elétrico à bateria: Nissan Leaf



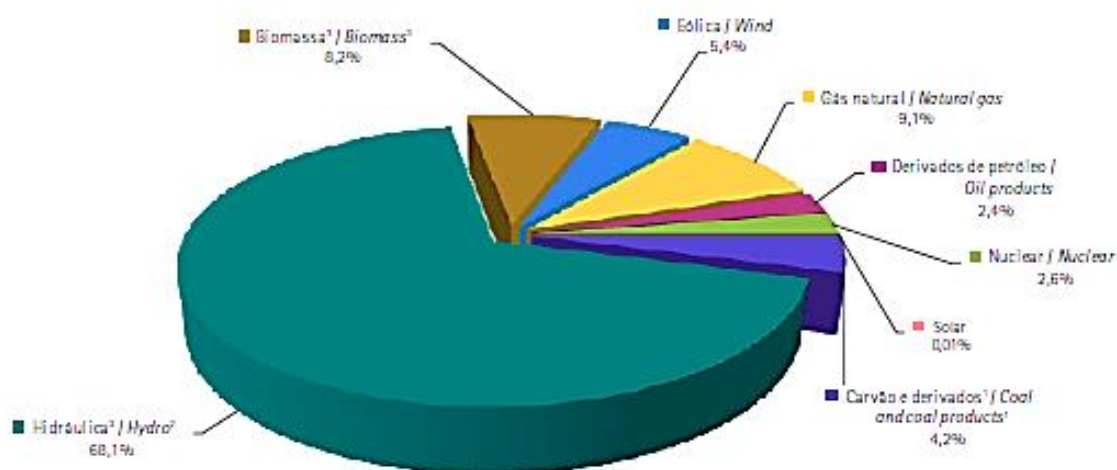
Fonte: Nissan (2017).

3. MATRIZ ENERGÉTICA E FROTA DE VEÍCULOS BRASILEIRA

3.1. MATRIZ ENERGÉTICA

A matriz energética brasileira apresentou, em 2017, 578,9 TWh de energia elétrica produzida. Esta geração de eletricidade está distribuída entre diversas fontes, entre elas, hidrelétricas, usinas eólicas, termelétricas e usinas nucleares, conforme Figura 12. Entre estas, a que se destaca é a hidráulica responsável por uma expansão em 2016 de 5,9% em comparação com o ano anterior (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017).

Figura 12 – Oferta interna de energia elétrica por fonte



Fonte: Balanço Energético Nacional – BEM (2017).

No Brasil, esta matriz energética divide-se em dois tipos de sistemas:

- Sistemas Isolados de Energia Elétrica;
- Sistema Interligado Nacional.

O Sistema Interligado Nacional, conhecido por SIN, é caracterizado pela interdependência dos sistemas de geração (usinas localizadas nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte) e transmissão de energia elétrica (MIRANDA, 2012). A interligação entre o funcionamento das usinas faz com que haja um uso otimizado dos recursos energéticos através do aproveitamento das diversidades hidrológicas e de mercado em todas as regiões.

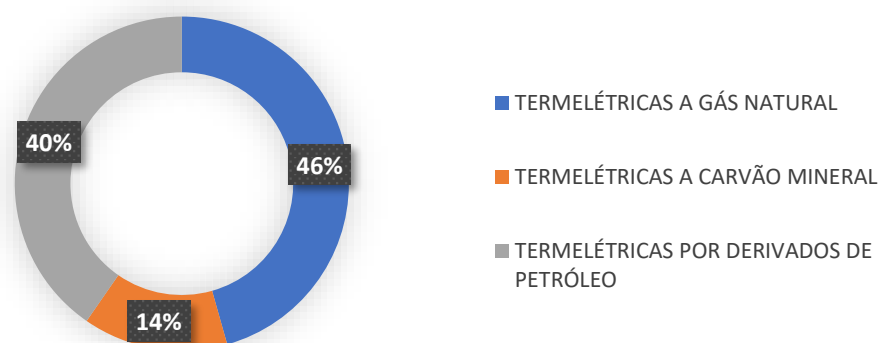
Os Sistemas Isolados de Energia Elétrica se instalam em locais onde a interligação com as demais áreas através de linhas de transmissão torna-se mais difícil, garantindo desta forma o fornecimento de energia para comunidades isoladas do Brasil. Em geral, localizam-se principalmente na região Norte.

A oferta interna de energia é bastante heterogênea apresentando uma grande concentração de produção de energia nas fontes hidráulicas, biomassa e termelétricas.

O Brasil é um país rico em recursos hídricos, o que fez com que a hidroeletricidade fosse escolhida como a sua principal fonte de energia elétrica, sendo hoje responsável por cerca de 80% da potência instalada no SIN (SISTEMA, 2018). No Sistema Interligado Nacional, existem 3739 empreendimentos de Hidrelétricas em operação (ELÉTRICA, 2018). A potência instalada dessas usinas hidrelétricas varia de 28 a 8370 MW e estão localizadas em todas as regiões do país, podendo ser tanto de reservatórios como a fio d'água (MIRANDA, 2012).

Quanto às usinas termelétricas, estas se dividem de acordo com o combustível utilizado. Na Figura 13 estão descritas as três principais configurações de destas usinas, classificadas de acordo com a sua capacidade instalada no SIN. Vale salientar que existem outros tipos de termelétricas, como a óleo diesel, a efluente gasoso, a bagaço de cana-de-açúcar e a gás de processo, no entanto elas não foram consideradas por representarem juntas apenas 0,9% da capacidade instalada do SIN (MIRANDA, 2012).

Figura 13 - Classificação das Usinas Termelétricas quanto ao combustível



Fonte: Autor.

As usinas termelétricas apresentam contribuição importante na matriz energética brasileira, no entanto estão marcadas pelo impacto ambiental que causam, através da liberação de gases tóxicos à atmosfera.

As demais fontes responsáveis pela oferta de energia, descritas na Figura 13, apresentam avanços consideráveis nos últimos anos, entre elas as renováveis (como

fotovoltaica, eólica) destacam-se por constituírem formas alternativas de geração de energia elétrica causando menos impacto ambiental.

Diante disso, as fontes hidráulicas e termelétricas quando se trata de uma alimentação direta na rede elétrica serão as fontes centrais para a alimentação dos veículos elétricos em seu processo de maior inserção na frota brasileira. Podendo-se realizar alimentação tanto somente por hidrelétricas como pela combinação das duas fontes. Para isto uma análise deverá ser realizada de forma que a mais vantajosa para o meio ambiente e economicamente prevaleça. As outras formas existentes de fornecimento de energia também serão fundamentais para a alimentação dos VEs. Entretanto, neste caso, deverá ser realizado um grande trabalho de adequação das estruturas de geração aos pontos de carregamento.

3.2. FROTA DE VEÍCULOS BRASILEIRA

O total de veículos no país elevou consideravelmente nos últimos dez anos e atingiu 64,8 milhões em dezembro de 2010 (DENATRAN,2016). O balanço do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) apontou que o Brasil, no final de 2010, apresentava exatos 64.817.974 veículos registrados. Em dez anos, o aumento acumulado é de 119%. Segundo o órgão, este seria a frota circulante no país e considera carros, motos, caminhões e outros tipos de automotores inseridos no cadastro desde 1990. Diante disso, para neutralizar as emissões de gás carbônico, o Brasil precisaria aumentar em mais de 11 vezes a cobertura da Mata Atlântica atualmente existente no território Nacional.

Segundo dados do DENATRAN existem cerca de 7120 carros elétricos e híbridos em circulação atualmente no Brasil, e estes equivalem a apenas 0,2% do total de novos veículos licenciados no Brasil em 2018 (DENATRAN,2016).

O governo brasileiro já iniciou a tendência mundial no seguimento de transporte com baixa ou nenhum índice de poluição atmosférica. Os impostos foram abolidos em caso de importação para carros elétricos com autonomia de 80 km após a realização de apenas uma carga (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULO ELÉTRICO, 2017).

A cidade de São Paulo, ofereceu desconto de 50% no Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) e isenção do rodízio municipal para VEs, híbridos e a hidrogênio. Os estados de Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul também deram desconto de 50% e, nos estados do Piauí, Maranhão, Ceará, Sergipe, Rio

Grande do Sul, Rio Grande do Norte e Pernambuco dão isenção do IPVA para modelos elétricos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULO ELÉTRICO, 2017).

Atitudes como estas, permitem que a preocupação ambiental seja difundida rapidamente. A inserção dos veículos elétricos no Sistema Elétrico de Potência (SEP) brasileiro já está ocorrendo e tende a sofrer grande avanço. Em meio a isto, deve-se estudar seus modos de impacto de forma a crescer de maneira organizada, planejada e com baixos impactos ambientais.

4. PRINCIPAIS IMPACTOS TÉCNICOS AO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Os veículos elétricos são novos tipos de cargas inseridas na rede de distribuição de energia elétrica. No Brasil, considerando a comodidade de carregamento em residências e aproveitando os horários sem utilização do veículo, a possibilidade de que a recarga das baterias ocorrerem principalmente em ambiente residencial e também nos locais de comércio e trabalho é elevada.

A previsão de venda de veículos elétricos, tanto a bateria quanto *plug-in* no início da próxima década tende a aumentar de forma considerável, desta forma a frota de VEB se renova e a intensidade de uso aumenta em uma taxa maior do que os demais.

A proporção com que os veículos elétricos são inseridos no mercado influencia no grau com que as distribuidoras precisam atuar na mitigação dos impactos técnicos produzidos. Apesar do processo de inserção no Brasil ser considerado lento deve haver preocupação, tanto em relação aos problemas técnicos da rede energia elétrica quanto aos investimentos para reforço de infraestrutura. Desta forma, é reduzida a confiabilidade na operação do sistema com relação à autonomia do veículo em casos de efetuar deslocamentos com segurança.

Segundo Luís Carlos Pereira da Silva em seu artigo para participação do Congresso Latino Americano de Geração e Transmissão de Eletricidade, o perfil de carregamento em ambiente residencial é lento, com potência aproximada de 3,5 kW (GONÇALVES, 2016). Neste modo de carregamento, é usada uma tensão padrão de 120 V em corrente alternada, com corrente de 15 A ou 20 A, tendo como consequência um aumento no tempo de carregamento da bateria, que fica em torno de 8 a 10 horas para atingir 100 % da capacidade. Situação esta que afetará a curva de carga das unidades consumidoras. Quanto maior for o número de veículos maior será a modificação das condições operacionais e de planejamento da rede elétrica.

Os principais impactos técnicos na rede elétrica ocasionados pela inserção de VE no sistema elétrico de potência são:

- Alteração no equilíbrio da tensão da rede;
- Intensificação de harmônicos na rede;

4.1. ALTERAÇÕES NO EQUILÍBRIO DA TENSÃO DA REDE

A inserção de uma quantidade significativa de veículos elétricos conectados à rede de distribuição pode ser responsável tanto por realizar a queda de magnitude da tensão de alimentação quanto pelo aumento do desequilíbrio da voltagem do sistema.

Neta (2014), constatou que com uma quantidade de 100 VEs, a tensão no barramento do alimentador reduziu para 0,95 pu no horário das 21 horas e para 0,94 pu no horário das 12 horas (NETA, 2014), justificando as flutuações de tensão da rede com a conexão de veículos elétricos sem adequação das concessionárias para este novo cenário.

Em situação de média tensão a assimetria entre as fases devido à variedade e quantidade de cargas monofásicas resultará em danos nos equipamentos elétricos.

Diante disso, é necessário realizar o gerenciamento do horário de carga dos VEs para resguardar as sobrecargas, como também um investimento das concessionárias de forma a adequar a rede de distribuição de energia a fim de melhor atender ao crescimento da carga. Estes investimentos que se destoaam aos programas que normalmente são realizados pelas distribuidoras, representam uma parcela adicional a ser empregada para expansão da capacidade, ou uma antecipação ao aumento de capacidade das redes de distribuição.

4.2. INTENSIFICAÇÃO DOS HARMÔNICOS NA REDE

Os conversores de potência a semicondutores presentes nos veículos elétricos tanto *plug-in* quanto os somente alimentados por bateria, por serem equipamentos com características não lineares de corrente em relação a tensão de alimentação, contribuem para intensificar as distorções nas formas de onda de tensão dos sistemas de corrente alternada, que em condições normais seriam em sua totalidade senoidais. Estas alterações no comportamento da tensão constituem os harmônicos, uma das formas de distorção para tensões e correntes elétricas, caracterizadas por sinais senoidais com frequências múltiplas e inteira da frequência fundamental (GARCIA, 2014).

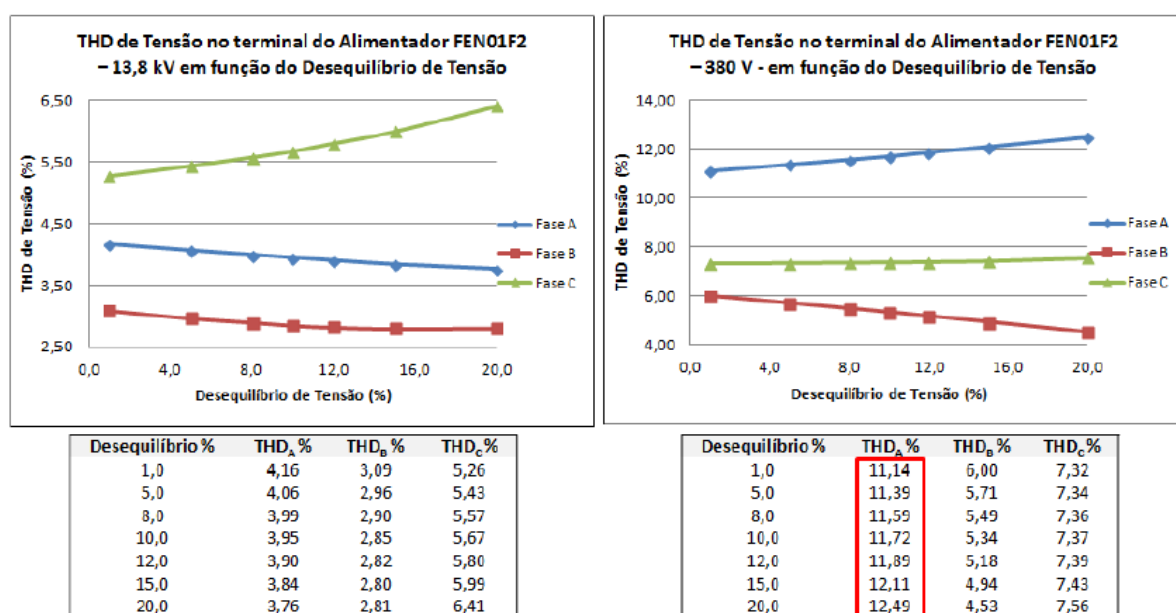
Os harmônicos gerados afetarão de maneira considerável os transformadores de distribuição, nos quais as correntes harmônicas são responsáveis pelo aumento das perdas tanto no cobre quanto naquelas envolvendo fluxos de dispersão, gerando sobreaquecimento por efeito Joule. A elevação das perdas no cobre deve-se ao efeito pelicular, que implica numa redução da área efetivamente condutora à medida que

eleva a frequência da corrente. Já o efeito das reatâncias de dispersão prejudica a regulação dos transformadores devido à maior queda de tensão. A consequência destes problemas é a diminuição da vida útil do transformador.

Seguindo esta linha de raciocínio, os transformadores delta-estrela isolam o terceiro harmônico do lado do delta impedindo que correntes e tensões harmônicas sejam injetadas na rede elétrica, prejudicando a performance do transformador (NETA, 2014).

Muitos estudiosos comprovaram que a utilização de transformadores delta-estrela para eliminar os harmônicos múltiplos do terceiro no lado delta só seria válido quando as tensões trifásicas se encontram perfeitamente equilibradas. Uma demonstração disso, está exposta na Figura 14 abaixo, obtida por Neta (2014).

Figura 14 -Comportamento da taxa de distorção harmônica de tensão em 13,8kV e 380 V em função do desequilíbrio de tensão



Fonte: Neta (2014)

A Figura 14 comprova que apesar da ligação delta-estrela dos transformadores, harmônicos múltiplos do terceiro são injetados na média tensão sob condições de desequilíbrio, e, quanto maior o desequilíbrio de tensão maior será a inserção de harmônicos na rede de distribuição.

Além disso, sobretensões e o fenômeno de ressonância entre os enrolamentos do transformador e as capacitâncias existentes nas linhas também serão consequências da presença das correntes harmônicas.

Pode-se ressaltar também o fato que em situação de média tensão a assimetria entre as fases devido à variedade e quantidade de cargas monofásicas resultará em danos nos equipamentos elétricos.

Desta forma, os VEs contribuirão ainda mais para a diminuição dos índices de qualidade da energia elétrica. Neste contexto, existe a necessidade de que sejam tomadas medidas eficazes para a mitigação desses harmônicos: inserção de filtros em pontos estratégicos da rede elétrica, análises em alta frequência para evitar o risco de ocorrências de ressonâncias series e paralelas, monitoramento das distorções harmônicas de tensão e corrente para que estas estejam dentro dos limites estabelecidos pela legislação do setor elétrico.

5. IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE – EMISSÃO DE CO₂

O setor de transportes é a segunda maior fonte de consumo de energia e a maior fonte móvel contaminante do país, convertendo-se na principal causadora de doenças cardiorrespiratórias. Aliado a isto, é observado que o cenário mundial apresenta uma dependência energética de petróleo causando esgotamentos das fontes de energias primárias e impactos ambientais. Fatos que desencadeiam a construção de políticas de novos modelos energéticos para a mobilidade, as quais procuram diminuir o uso de fontes não renováveis e melhorar a qualidade de vida das pessoas (PORCHERA, 2016).

Como já citado, os veículos elétricos representam uma alternativa sustentável tanto ao problema da emissão de poluentes como a redução de uso de fontes primárias de energias. Entretanto alguns fatores impactam no advento da utilização desse tipo de veículo. A inserção em massa destes aumentará de forma considerável o consumo de energia elétrica, a qual é responsável pelo seu funcionamento. Para melhor definir os impactos da inserção dos VEs deve ser seguida uma metodologia organizada e adequada.

Quando os VEs se tornarem uma realidade significativa na matriz de transportes brasileira, haverá uma forte interação entre carros elétricos, consumidores residenciais, comerciais e geração distribuída. Provocando alterações ambientais e técnicas no meio em que serão inseridos.

5.1. ESTUDOS DAS EMISSÕES DE CO₂ DE ACORDO COM A FONTE ENERGÉTICA UTILIZADA

Segundo pesquisas da empresa francesa Xor Motors, o rendimento do motor de um carro à gasolina é de 35 % e, devido as fricções mecânicas apenas 21% da potência do motor chega às rodas. Enquanto que no veículo elétrico a eficiência é aproximadamente igual a 95% e teria-se 57% da potência que chegaria às rodas (MOTORS, 2016). Além disso, os VE's apresentam menor custo de manutenção em relação aos carros convencionais, não sendo necessárias por exemplo tantas trocas de óleo do motor, filtros, entre outros componentes (MOTORS, 2016).

No aspecto da poluição, os veículos elétricos ajudam a combater a poluição sonora, pois durante a sua utilização, produz ruídos praticamente imperceptíveis ao ouvido humano.

O interesse por veículos elétricos cresce de forma considerável pelo fato deste não emitir gases poluentes durante a sua utilização (PORCHERA, 2016). Segundo o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, no Brasil em 2012, a frota de veículos emitiu 1,25 milhões de toneladas de dióxido de carbono, destes 38 % foi oriundo de automóveis. Apesar de não liberarem gases poluentes (principalmente o dióxido de carbono) durante seu uso, a produção da energia elétrica necessária para o funcionamento destes veículos pode ser proveniente de fontes não renováveis (emitem gases poluentes), como é o caso das termelétricas. Para o método de comparação que se quer realizar neste trabalho serão avaliados os casos em que as fontes de energia para os veículos elétricos serão provenientes apenas de fontes termelétricas ou por fontes hidráulicas e termelétricas, ao mesmo tempo, ou ainda somente por fontes hidráulicas.

A Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), em 2010, demonstra dados diante da frota brasileira nos dias atuais e a projeção de venda tanto para veículos elétricos como veículos a combustão. A Tabela 01 apresenta estes dados.

Tabela 01 - Projeto de venda ao ano e da frota total de automóveis de 2010 a 2030 (em milhões).

Ano	Frota de automóveis no Brasil ($\times 10^6$)	Projeção de automóveis elétricos vendidos a.a. ($\times 10^6$)	Projeção de VC vendidos a.a. ($\times 10^6$)
2017	58,65	3,84	3,344
2018	62,61	3,96	3,286
2019	66,69	4,08	3,228
2020	70,89	4,2	3,17
2021	75,23	4,34	2,976
2022	79,71	4,48	2,782
2023	84,33	4,62	2,588
2024	89,09	4,76	2,394
2025	93,99	4,9	2,2
2026	99,03	5,04	2,056
2027	104,21	5,18	1,912
2028	109,53	5,32	1,768
2029	114,99	5,46	1,624
2030	120,59	5,6	1,48

Fonte: Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), 2010.

Na Tabela 02, são apresentados valores segundo o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviário quanto a relação quilômetros por litro de combustível.

Tabela 02 – Quilometragem por litro de combustível consumido para automóveis e veículos comerciais leves (km/L).

Ano	Gasolina (km/L)	Etanol hidratado (km/L)	Flex Fuel	
			Gasolina (km/L)	Etanol hidratado (km/L)
2000	11,89	6,96	-	-
2001	11,97	6,96	-	-
2002	10,9	7,2	-	-
2003	11,2	7,5	10,3	6,9
2004	11,4	8,6	10,8	7,3
2005	11,3	8,6	11,5	7,7
2006	11,3	6,9	11,7	7,8
2007	11,3	6,9	11,7	7,8
2008	9,74	6,9	11,7	7,38
2009	9,50	-	12	8
2010	9,50	-	12	8
Média	10,90	7,39	11,46	7,61

Fonte: 1º Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2011, Tabela 16, P-47.

Para prosseguir com os cálculos, e ainda segundo o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, são apresentados na Tabela 03 valores médios de emissão de dióxido de carbono quando forem utilizados a gasolina, o etanol anidro ou etanol hidratado.

Tabela 03 - Fatores de emissão de CO₂.

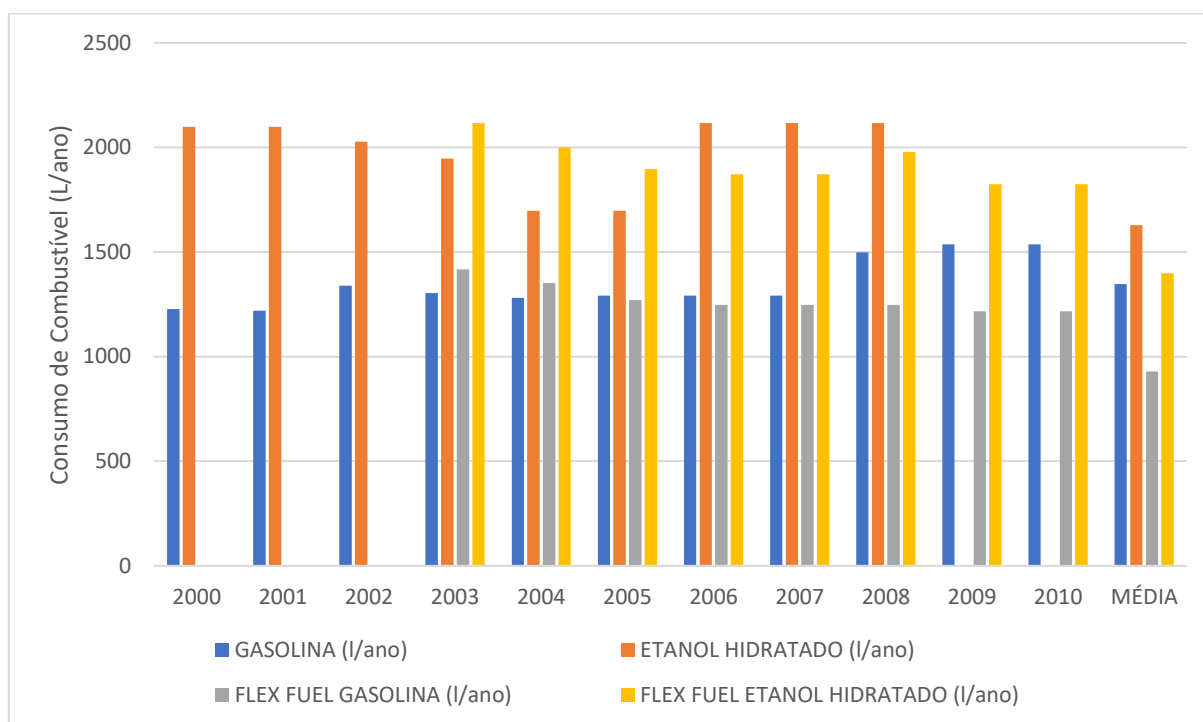
Gasolina (Kg/L)	Etanol Anidro (Kg/L)	Etanol hidratado (Kg/L)
2,269	1,233	1,178

Fonte: 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2011. Tabela 6, p-35.

Considerando uma média de distância percorrida para um automóvel, segundo *Volkswagen*, de 14600 quilômetros por ano (VOLKSWAGEN, 2018), e realizando a razão deste valor com as médias de quilômetros por litro expostas na Tabela 01 conforme a equação (1), calcula-se o consumo de combustível por ano para cada tipo de combustível. Os valores obtidos foram expressos na Figura 15 a seguir.

$$ConsComb_{ano} = \frac{km/ano}{MÉDIA_{km/L}} = \frac{L}{ano} \quad (1)$$

Figura 15 - Consumo de combustível por ano para um automóvel

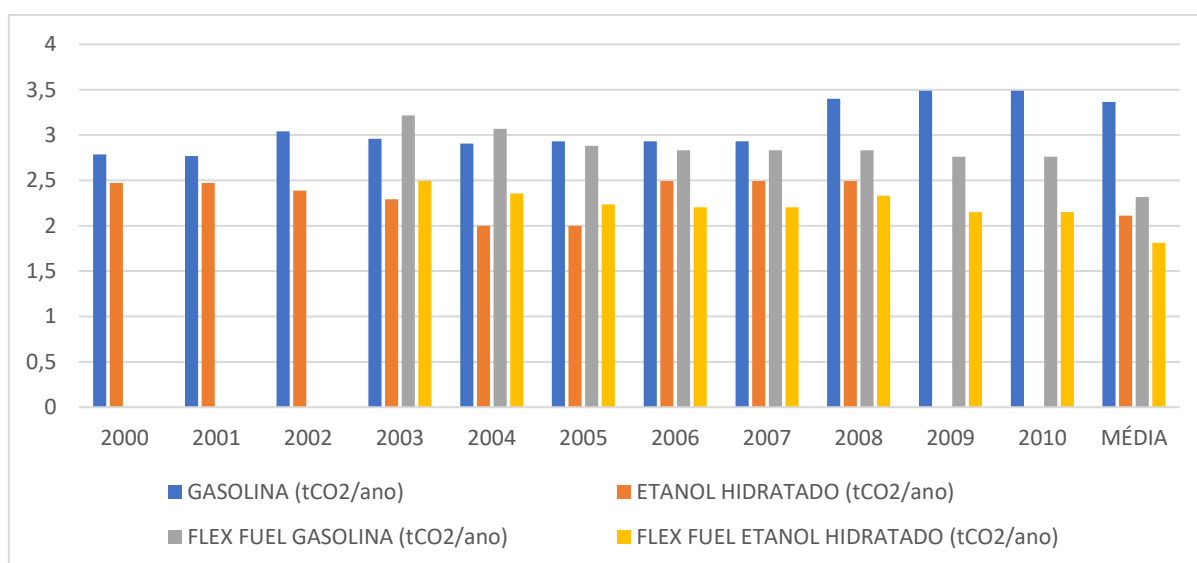


Fonte: Autor.

Neste raciocínio determina-se a quantidade de dióxido de carbono produzida pelos veículos a combustível através do produto entre o consumo de combustível e pelos valores médios de liberação desse gás por litro de combustível usado, conforme segue equação 2. Na figura 16 são expostos os valores medidos.

$$Produção_{CO_2/ano} = ConsComb_{ano} \times MÉDIA_{kg/l} = \frac{kg}{ano} \quad (2)$$

Figura 16 - Produção de dióxido de carbono por ano para cada combustível



Fonte: Autor

5.1.1. FORNECIMENTO DE ENERGIA APENAS POR TERMELÉTRICA

Neste primeiro momento será apresentado o caso de um veículo elétrico *plug-in* sendo alimentado somente por termelétricas e realizando uma comparação com emissão de dióxido de carbono em veículos tradicionais a combustão.

Para este caso serão alguns parâmetros utilizados no cálculo das emissões estão apresentados conforme as igualdades (3), (4) e (5).

$$T (\text{Tempo médio de recarga}) = 8 \text{ horas} \quad (3)$$

$$C (\text{Consumo médio durante a recarga}) = 4,08 \text{ kW/h} \quad (4)$$

$$Aut (\text{Autonomia média com uma recarga}) = 132,77 \text{ km} \quad (5)$$

Para o cálculo do consumo utiliza-se a equação (6) a seguir:

$$\text{Consumo} = \frac{T \cdot C}{Aut} = \text{Wh/km} \quad (6)$$

Substituindo os valores (6), (7) e (8) em (9), obteve-se:

$$\text{Consumo} = \frac{8 \cdot 4,08k}{132,77} \sim 245,84 \text{ Wh/km}$$

Considerando ainda que um automóvel em média por ano apresenta uma quilometragem de 14 600 quilômetros, o consumo de energia ao ano é de:

$$\text{ConsumoEnergético} = 245,84 \cdot 14\ 600 = 3,589 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}}$$

Diante dos valores obtidos, a produção de dióxido de carbono necessária para pôr em funcionamento os veículos elétricos é dada por:

$$\text{Produção}_{\frac{CO_2}{\text{ano}}} = \text{Média}_{\frac{CO_2}{\text{MWh}}} \times \text{ConsumoEnergético} \quad (10)$$

A eficiência global das usinas termelétricas é um parâmetro importante, que está diretamente relacionado com a quantidade de combustível queimada em relação à quantidade de energia gerada. A eficiência dessas usinas, em termos de emissão de carbono, pode ser avaliada por meio de um fator de emissão de carbono como, por exemplo, a quantidade de CO₂ emitida no processo de combustão em relação à energia gerada. Este fator é calculado (LICKS e PIREZ, 2010) pela relação descrita na identidade (11) a seguir.

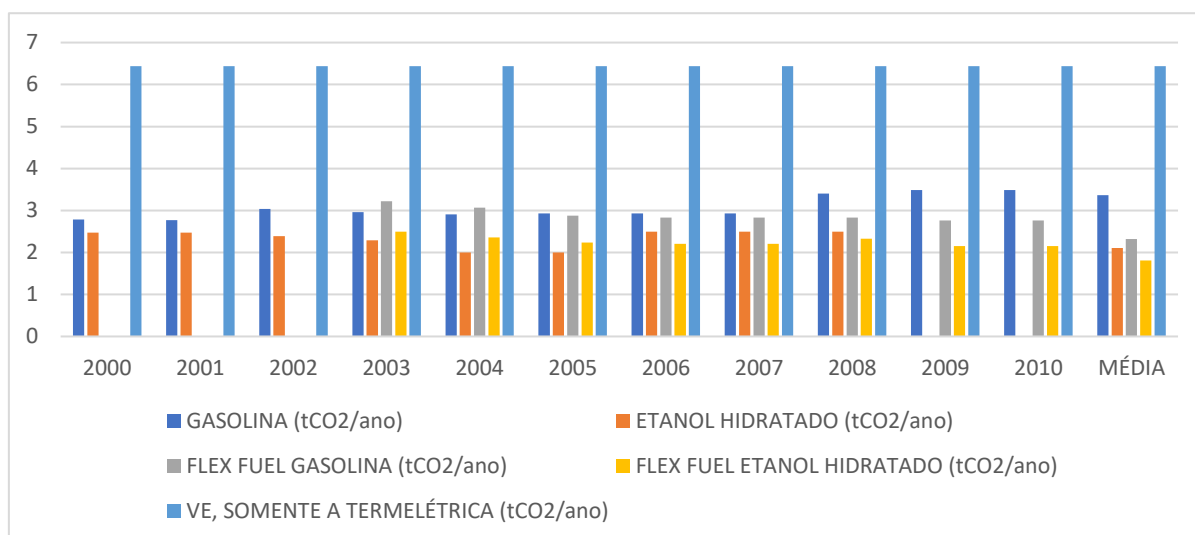
$$\text{Fator de emissão} = \frac{\text{Emissão total de Carbono}}{\text{Energia gerada}} = \frac{\text{toneladas}}{\text{MWh}} \quad (11)$$

Licks (2010); Pires (2010), utilizando dados de geração de energia de cada usina termelétrica obtidos junto à Eletrobrás, estipularam o valor de 1,794 toneladas de carbono por MWh para o fator de emissão Licks (2010); Pires (2010). Com o fator estipulado e substituído as medidas em (10), obteve-se a média de produção de dióxido de carbono por energia gerada.

$$Produção_{\frac{CO_2}{ano}} = 1,794 \cdot 3,589 = 6,438 \frac{t CO_2}{ano} \quad (12)$$

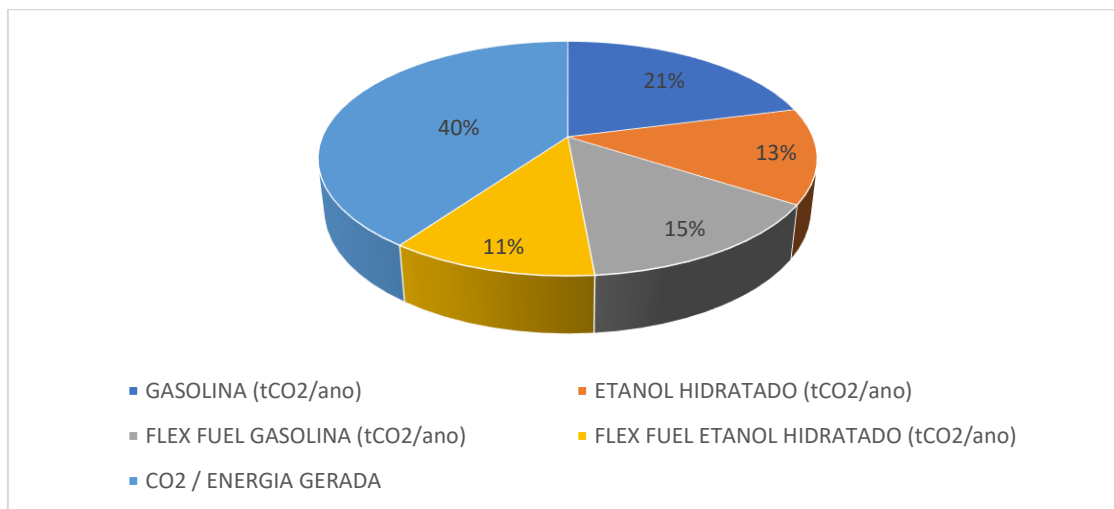
A Figura 17 a seguir torna mais clara a comparação entre a produção de CO₂ por um veículo a combustão convencional e um veículo elétrico cuja alimentação energética ocorre somente por termelétricas.

Figura 17 - Comparação de emissão de CO₂ entre veículo a combustão e um veículo elétrico com energia obtida somente por termelétrica



Fonte: Autor

Figura 18 - Comparação da emissão média de CO₂ entre veículos a combustão e um veículo elétrico com energia obtida somente por termelétrica



Fonte: Autor

Os valores apresentados na Figura 17 permitiu concluir que para a maioria dos tipos de combustíveis, entre 2000 e 2010, utilizados nos automóveis com motores a combustão, os veículos elétricos emitirão quantidades bem superiores provocando desestímulo no avanço da inserção.

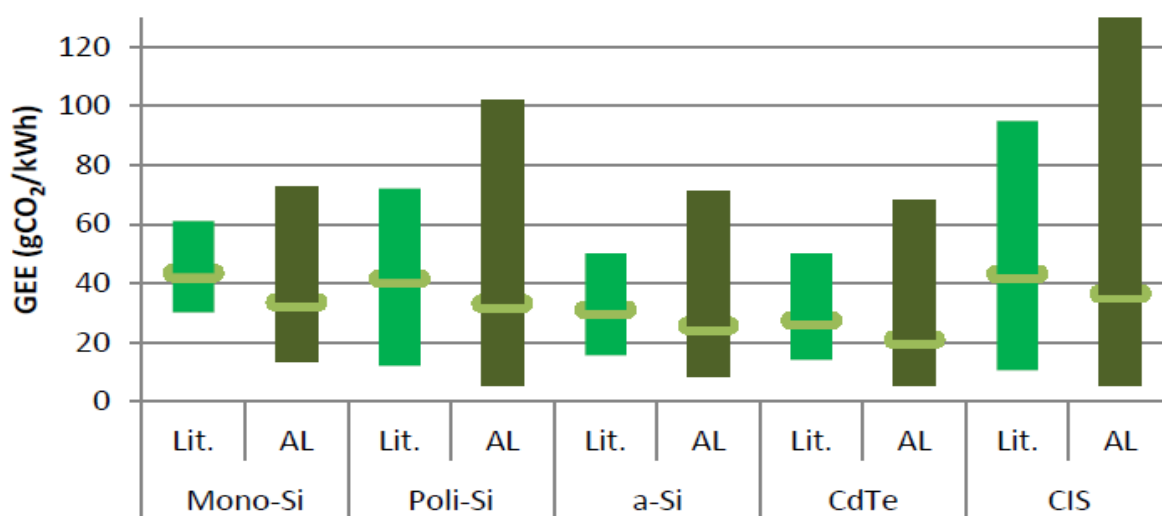
Na figura 18 realizando uma comparação com os valores médios de emissão dos VC em relação aos elétricos, conclui-se que utilizando energia somente de termelétricas liberam no mínimo 11 % a mais de dióxido de carbono (aproximadamente, três toneladas a mais). Nesta perspectiva, a inserção de veículos elétricos deve ser melhor interpretada, pois diante dos números que resultaram da pesquisa, tornou-se um evento desvantajoso.

5.1.2. FORNECIMENTO DE ENERGIA POR TERMELÉTRICA E HIDRELÉTRICA

Segundo informações da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), no Brasil, as fontes hidráulicas respondem por quase 68,1% de toda a capacidade instalada do país, as termelétricas por 18,3 % e os 13,6 % restantes devem-se à geração por biomassa, nuclear, eólica e fotovoltaica (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017). Considerando que a alimentação do sistema seja realizada ao mesmo tempo por usinas hidrelétricas e termelétricas, é possível calcular o valor quantitativo de emissão.

As porcentagens de emissão de dióxido de carbono referentes às fontes de energia fotovoltaica, eólica biomassa e nuclear serão desprezadas em virtude de sua pequena contribuição (gramas de CO₂). De forma a ilustrar este fato, na Figura 19, estão descritas as comparações das emissões de gases de efeito estufa de dados da literatura com os referentes à América Latina para algumas tecnologias de células fotovoltaicas (GARCIA; OLIVEIRA; JOHN, 2014).

Figura 19 - Comparação das emissões de gases de efeito estufa de dados da literatura com os referentes à América Latina, em gCO₂/kWh de energia gerada



Fonte: Garcia; Oliveira; John (2014)

Os valores percentuais descritos anteriormente, e a quantidade obtida de emissão de carbono tanto para termelétricas como para hidrelétricas, neste caso o consumo de energia emitiria gases a partir da comparação toneladas de carbono por MWh, a relação pôde ser descrita conforme equação (13).

$$\text{Emissão termelétrica} = 0,183 \cdot \text{Produção de } \frac{t \text{ CO}_2}{\text{ano}} \quad (13)$$

Substituindo na equação (13) o resultado encontrado em (12), obteve-se o valor abaixo.

$$\text{Emissão termelétrica} = 0,183 \cdot 6,438 = 1,178 \frac{t \text{ CO}_2}{\text{ano}} \quad (14)$$

As hidrelétricas contribuem com a emissão de gases poluentes ao meio ambiente através de três mecanismos: durante a difusão na interface água-ar; no processo de ebulição; no período da passagem pelas turbinas.

Na difusão, o fenômeno ocorre quando a pressão parcial do gás na água é maior que no ar. Na ebulição acontece pela liberação de bolhas de gás das águas

mais profundas do reservatório para a superfície. Finalmente, a água ao passar pelas turbinas ou vertedouros e alcançar o rio após a barragem liberam gases efeito estufa, principalmente CO₂, uma vez que há redução da pressão e a criação de uma turbulência (MIRANDA, 2012).

Miranda (2012), categorizou os fatores de emissão do reservatório de 12 usinas. Esses dados estão representados na Tabela 04 a seguir.

Tabela 04 – Densidade energética, energia gerada e fator de emissão das usinas hidrelétricas avaliadas pelos estudos de Mariana Maia de Miranda

USINA	DENSIDADE ENERGÉTICA (kW/km ²)	ENERGIA GERADA (GWh/ANO)	FATOR DE EMISSÃO (gCO ₂ eq/kWh)
Furnas	910	5238	86,40
M. de Moraes	1900	2584	79,24
LC.B. de Carvalho	23330	4336	14,50
Manso	580	806	677,93
Funil	6670	780	-67,44
Miranda	8060	1770	86,02
Três Marias	380	2094	1092,22
Barra Bonita	450	394	1302,09
Segredo	15370	5282	16,52
Xingó	52700	18738	8,35
Samuel	390	745	2753,49
Tucuruí	3440	36266	274,13
MÉDIA	9515	6586,08	526,95

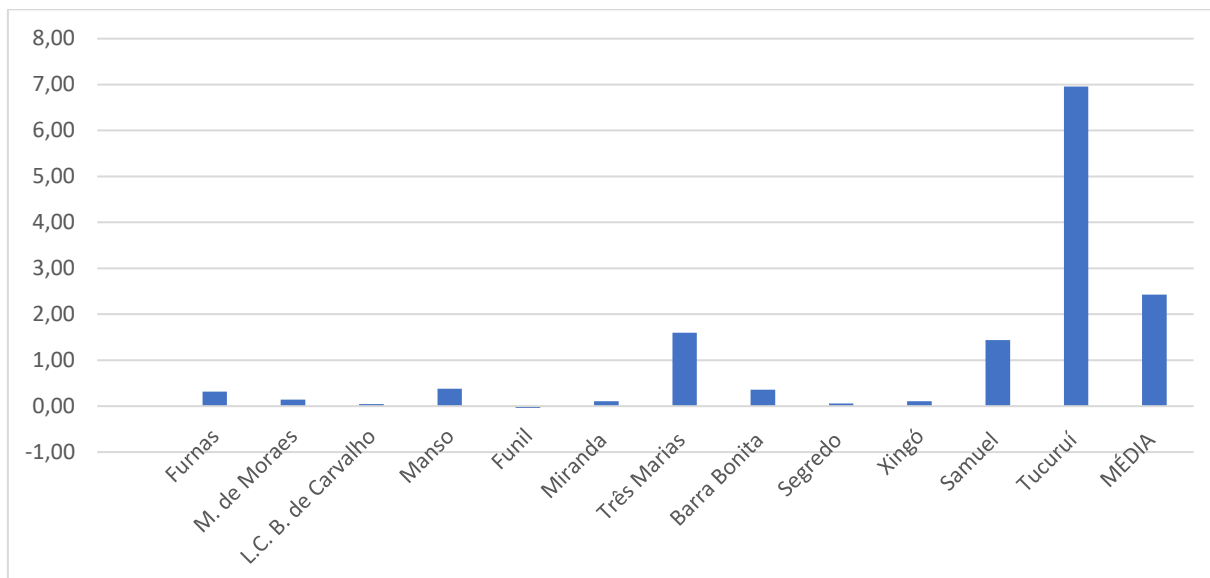
Fonte: Miranda (2012).

Utilizando os valores de Energia Gerada e fatores de emissão presentes na Tabela 04, substituindo-os na equação (15), obtém-se para essas usinas o valor de emissão de CO₂ em gramas.

$$Emiss\tilde{a}o\ hidrel\tilde{e}trica = 0,681 \cdot Energia\ gerada \cdot Fator\ de\ emiss\tilde{a}o \quad (15)$$

Os dados obtidos por (15) estão expostos na Figura 20 abaixo.

Figura 20 - Emissões de t CO₂/kWh para fornecimento em parte por hidrelétricas



Fonte: Autor

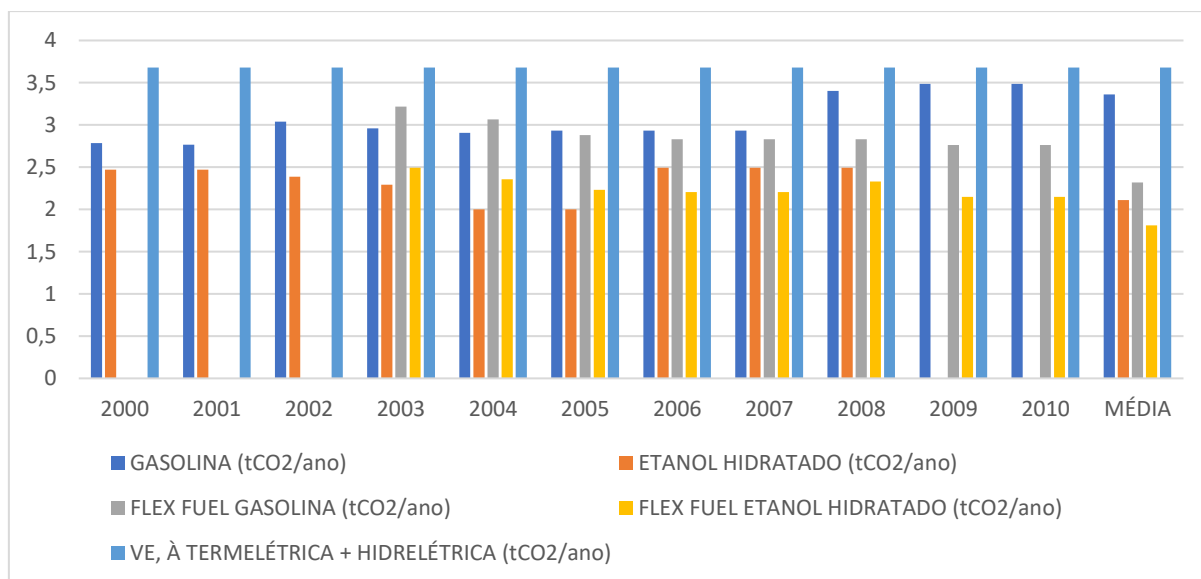
Vale ressaltar que esses valores foram encontrados considerando que a contribuição da usina hidrelétrica é de 68,1 %. Através da Figura 20, verifica-se que a média das emissões se situa em torno de 2,5 toneladas de CO₂ /kWh de energia gerada.

Agrupando os dados médios de emissões das termelétricas, obtida em (14) e das hidrelétricas, presentes na Figura 20, obteve-se o valor determinado em (16).

$$Emiss\tilde{a}o_{hidrel\acute{e}trica+termel\acute{e}trica} = 1,178 \frac{t\ CO_2}{ano} + 2,5 \frac{t\ CO_2}{ano} = 3,678 \frac{t\ CO_2}{ano} \quad (16)$$

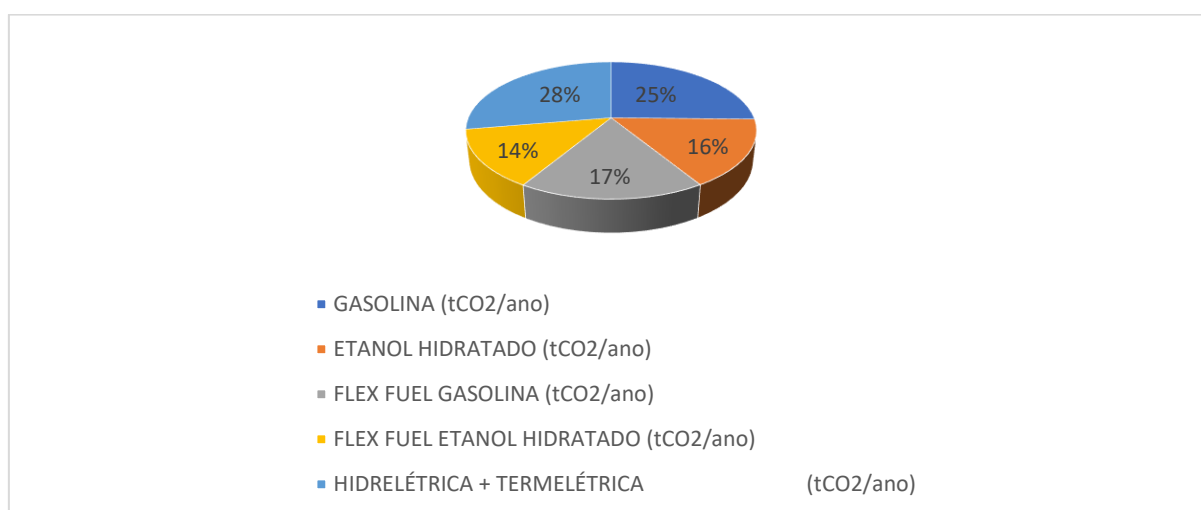
A Figura 21 permite comparar o resultado obtido em (16) com o valor médio de veículos a combustão convencionais.

Figura 21 - Comparação de emissão de CO₂ entre veículo a combustão e um veículo elétrico com energia obtida por termelétricas e hidrelétricas, simultaneamente



Fonte: Autor.

Figura 22 - Comparação da emissão média de CO₂ entre veículos a combustão e um veículo elétrico com energia obtida por termelétrica e hidrelétrica



Fonte: Autor.

Analisando as Figuras 21 e 22, conclui-se que as emissões por parte dos veículos elétricos com fornecimento de energia por termelétricas e hidrelétricas estão um pouco acima dos veículos a combustão movidos a gasolina, estes que compreendem a maior parte da frota brasileira de veículos automotores. Diante disso, o projeto de inserção em massa dos VEs torna-se uma atitude não muito vantajosa neste caso de fonte de alimentação.

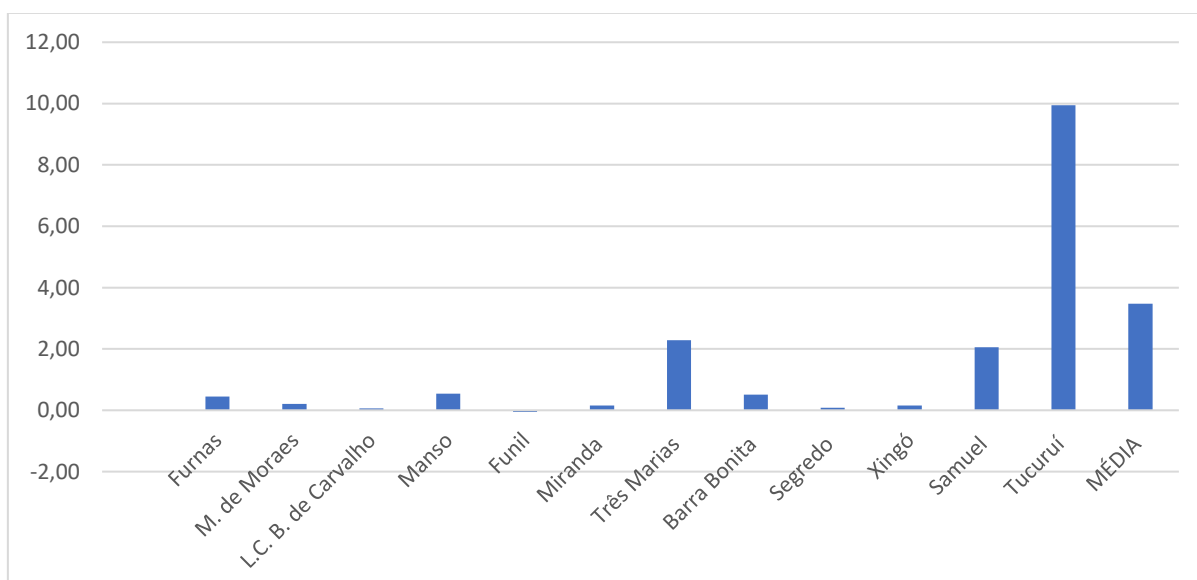
5.1.3. FORNECIMENTO DE ENERGIA SOMENTE POR HIDRELÉTRICAS

Para o fornecimento apenas por hidrelétricas, utiliza-se o mesmo processo de cálculo apresentado na parte final do item anterior, no entanto deve-se considerar uma porcentagem de 100 % de participação da energia gerada para carregamento dos VEH *plug-in*. Diante disso, a equação (15) pode ser reescrita de acordo com a identidade (17).

$$Emissão\ hidrelétrica = Energia\ gerada \cdot Fator\ de\ emissão \quad (17)$$

Aplicando os valores da Tabela 04 em (17) obteve-se os valores das emissões para cada uma das usinas utilizadas pelo estudo. Os dados encontrados estão descritos na Figura 23.

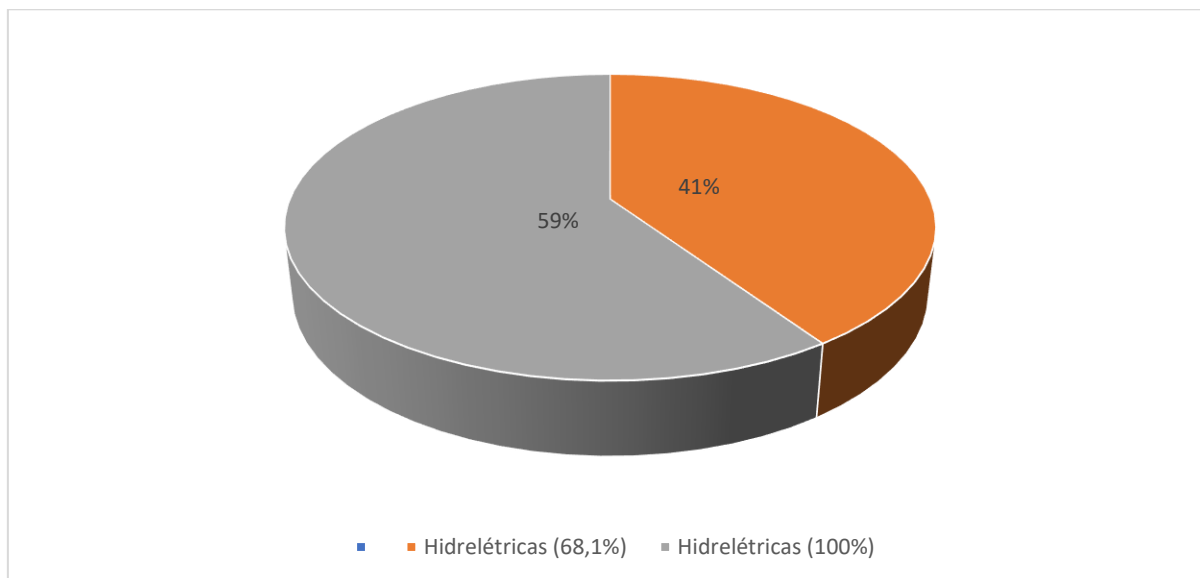
Figura 23 - Emissões de t CO₂/ano para fornecimento somente por hidrelétricas



Fonte: Autor.

Torna-se perceptível o considerável aumento na emissão quando se obtém o carregamento apenas por hidrelétricas. A Figura 24, a seguir, mostra exatamente a diferença entre as emissões nos dois casos.

Figura 24 - Comparação entre os valores médios de emissão de CO₂ para cada caso de participação das hidrelétricas

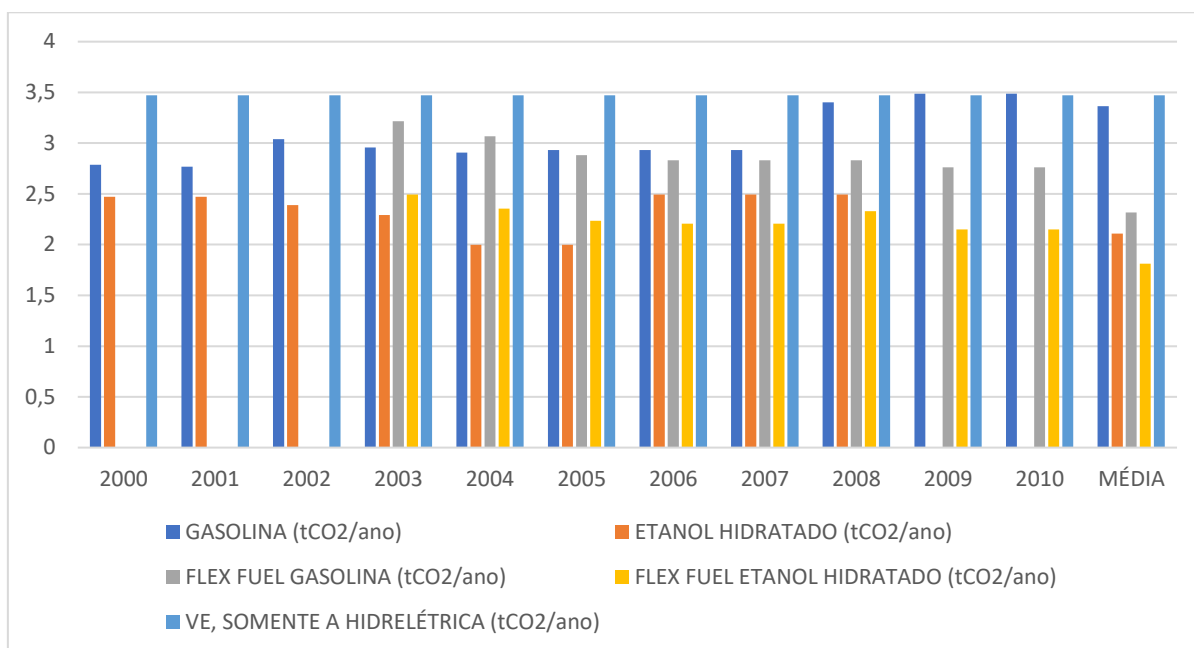


Fonte: Autor.

Ainda, comparando o valor médio obtido na Figura 20 e o resultado obtido em (16), pode-se concluir que as emissões com a utilização somente por hidrelétricas igualam-se àquelas geradas por veículos a combustão à gasolina, e superam os demais VCI movidos aos demais combustíveis. As Figuras 25 e 26 ilustram bem essa comparação.

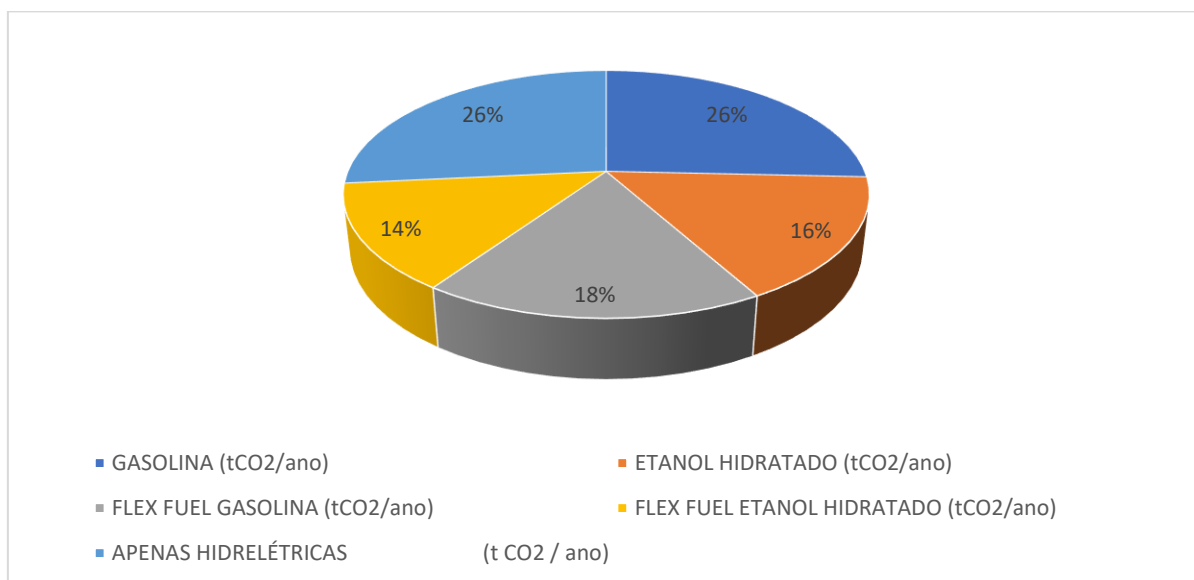
Portanto, para a finalidade de uma forma alternativa aos veículos convencionais e propondo a menor quantidade de emissões possíveis, este mecanismo de fornecimento de energia se apresenta desvantajoso.

Figura 25 - Comparação de emissão de CO₂ entre veículo a combustão e um veículo elétrico com energia obtida somente por hidrelétricas



Fonte: Autor.

Figura 26 - Comparação da emissão média de CO₂ entre veículos a combustão e um veículo elétrico com energia obtida apenas por hidrelétrica

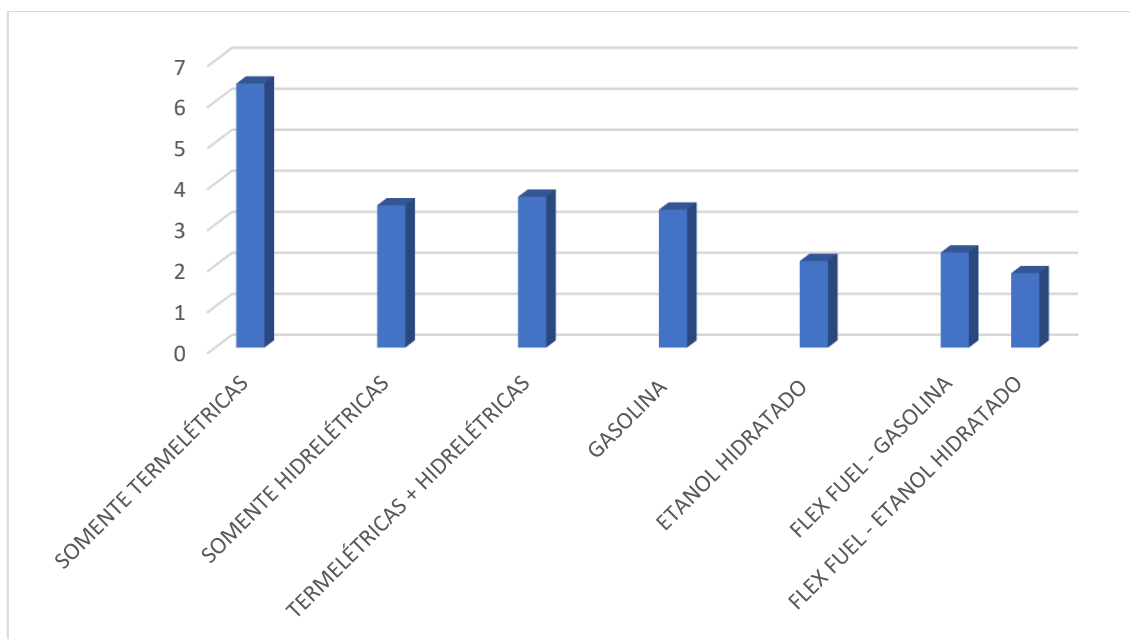


Fonte: Autor.

5.1.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS FORMAS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA APRESENTADAS

Analisando os dados obtidos pelas seções anteriores, pode-se melhor comparar a média de emissões entre elas, conforme Figura 27.

Figura 27 - Média de emissões (t CO₂/ano)



Fonte: Autor.

A Figura 27 permiti concluir que o fornecimento de energia apenas por hidrelétricas consegue emitir a menor quantidade dióxido de carbono, entre produzir somente por termelétricas ou por hidrelétricas e térmicas ao mesmo tempo. Além disso, alguns modelos de MCI conseguem apresentar vantagem em relação as formas alternativas de abastecimento dos veículos elétricos.

A geração somente por termelétricas consegue ser a que mais contribui para a emissão de CO₂, superando todas as demais formas de geração.

Os resultados obtidos nas seções deste capítulo mostraram que os VE's não conseguem eliminar o problema de emissão de CO₂ pelos veículos. Enaltecendo ainda mais ao incentivo na expansão de fontes alternativas e sustentáveis, como fotovoltaica, eólica e biomassa.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou os impactos da inserção de veículos elétricos na frota brasileira. Foram apresentadas as principais alterações técnicas mais susceptíveis a acontecerem no sistema elétrico de potência. Além disso, realizou-se uma análise quanto à poluição ambiental, em relação às emissões de gases poluentes a atmosfera principalmente o dióxido de carbono, comparando a porcentagem de liberação referente aos veículos a combustão interna em relação a quantidade percentual de geração deste gás pelas fontes de alimentação dos VE's.

Foram observados alguns impactos técnicos na rede elétrica ao se inserir VE no Sistema Elétrico de Potência. Eles contribuirão para diminuir ainda mais os índices de qualidade de energia: valores eficazes de tensão e frequência de operação do SEP. Harmônicos são gerados com mais intensidade e aumenta o risco de ocorrências de ressonâncias séries e paralelas. Diante disso, um monitoramento contínuo da rede quanto à presença de harmônico, maior utilização de capacitores *shunt*, filtros anti-harmônicos e reatores de dissintonia serão essenciais para mitigação destes fatores e contribuir para um maior equilíbrio do SE.

Quanto aos impactos ambientais, as comparações foram realizadas em três situações de fornecimento de energia: somente pelas termelétricas; termelétricas e hidrelétricas ao mesmo tempo; apenas pelas hidrelétricas. Em todas elas foram feitas analogias entre o tipo de fornecimento e as formas convencionais de alimentação dos veículos a combustão: gasolina, etanol hidratado, *flex fuel* à gasolina ou etanol hidratado.

Os resultados obtidos mostraram que a inserção de veículos elétricos não atende ao desejo de uma forma alternativa à emissão de poluentes pelos veículos automotores. A análise realizada permitiu inferir algumas comparações da emissão causada pelo uso de VE em relação a dos veículos tradicionais: quando alimentadas somente por termelétricas 11 % a mais de dióxido de carbono eram liberados; por termelétricas e hidrelétricas ao mesmo tempo 7 % a mais de CO₂ é emitido; e apenas por hidrelétricas liberam equivalente aos veículos tradicionais movidos à gasolina, e emissões de no mínimo 8 % em relação aos demais transportes com abastecimento tradicional colocados em análise. Além disso, a alimentação dos VE apenas por térmicas apresenta o maior percentual de emissão de gases tóxicos entre as três formas de fornecimento de energia elétrica aos veículos elétricos.

Uma possibilidade de contribuir no setor dos transportes para o desenvolvimento com consciência ambiental seriam as fontes alternativas e sustentáveis de energia (eólica, biomassa, fotovoltaica), pois desta maneira possibilitaria tanto à expansão destas formas de geração quanto do novo cenário de veículos na frota brasileira.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Fontes hidráulicas geram a maior parte da energia elétrica. **Governo do Brasil**, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2011/12/fontes-hidraulicas-geram-a-maior-parte-da-energia-eletrica>>. Acesso em: 15 Setembro 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULO ELÉTRICO. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULO ELÉTRICO (ABVE)**, 2017. Disponível em: <www.abve.or.br>.
- BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade**. [S.l.]: Autor, 2012.
- BASSO, C. **O impacto dos veículos elétricos plug-in no sistema elétrico de potência**. Alegrete: Autor, 2011.
- CASTRO, E. S. D. **Impacto de veículos elétricos na operação em regime permanente de sistemas de distribuição**. [S.l.]: Autor, 2015.
- DEPARTAMENTO Nacional de Trânsito. **DENATRAN**, 2016. Disponível em: <<http://new.denatran.gov.br/resolucoes.htm>>. Acesso em: 10 Outubro 2018.
- EICHENBERGER, A. D. A. A. **Inserção de veículos elétricos - análise dos impactos no sistema elétrico de potência na subestação central/batel em Curitiba**. [S.l.]: Autor, 2015.
- ELÉTRICA, A. N. D. E. BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO (BIG). **ANEEL**, 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 27 Outubro 2018.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional (BEN)**. Ministério de Minas e Energia. Brasil. 2017.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional**. [S.l.]. 2017.
- GARCIA, F. R. **Harmônicos em Sistemas Elétricos de Potência**. INEPAR. [S.l.]. 2014.
- GARCIA, J.; OLIVEIRA, L.; JOHN, V. M. **Emissões de gases do efeito estufa e conteúdo energético de placas fotovoltaicas na América Latina..** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió, Alagoas. 2014.
- GONÇALVES, L. Infraestrutura para carregamento dos veículos elétricos da América do Norte, Ásia e Europa implantado na realidade brasileira: utopia ou realidade. **Monografias Brasil Escola**, 2016. Disponível em: <<https://monografias.brasilescuela.uol.com.br/engenharia/infraestrutura-para-carregamento-dos-veiculos-eletricos-implantado-realidade-brasileira.htm>>. Acesso em: 1 Outubro 2018.
- IMBASCIATI, H. **Estudo descritivo dos sistemas, subsistemas e componentes de veículos elétricos e híbridos**. Centro de Educação Continuada do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul. 2012.

JACINTO, T. D. P. **Proposta de controle do impacto da inserção de veículos elétricos no custo marginal de operação em estudos de planejamento energético.** Juiz de Fora: Autor, 2017.

LICKS, L. A.; PIRES, M. Metodologia para o cálculo de emissões de carbono e da eficiência na geração de energia pela combustão de carvão fóssil no Brasil. **Escola de Minas**, Ouro Preto, 2010.

MARIOTTO, F. T. et al. Impactos econômicos de veículos elétricos na rede de distribuição de energia elétrica brasileira.. **CLAGTEE**, 2017. 10.

MIRANDA, M. M. D. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida.** Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 164. 2012.

MOTORS, X. Gestão no Campo. **Gestão no Campo**, 2016. Disponível em: <<http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/comparacao-entre-o-rendimento-de-um-motor-eletrico-e-um-termico/>>. Acesso em: 20 Setembro 2018.

NETA, R. M. D. L. **Análise dos impactos do carregamento de veículos elétricos na qualidade de energia em redes de distribuição.** Recife: [s.n.], 2014.

PORCHERA, G. et al. Vantagens e barreiras à utilização de veículos elétricos. **SEGET**, p. 12, 2016.

SILVA, T. B. D. Recarga de veículos elétricos: o que esperar quando o combustível dos nossos carros for a eletricidade. **FGV Energia**, p. 10, Novembro 2017.

SISTEMA, O. N. D. Mpas do SIN. **ONS**, 2018. Disponível em: <www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx>. Acesso em: 15 Outubro 2018.

SMARTIA. O cenário dos carros elétricos no Brasil e no mundo. **Blog Smartia Seguros Online**, 25 Maio 2018. Disponível em: <<https://www.smartia.com.br/blog/carros-eletricos-no-brasil-e-no-mundo/>>. Acesso em: 28 Outubro 2018.

VOLKSWAGEN. Volkswagen. **Serviços Volkswagen**, 2018. Disponível em: <https://www.vw.com.br/pt/servicos.notification_86115a278f83361244fd0cc413344338.html>. Acesso em: 12 Novembro 2018.