

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FELIPE TOSIN
WILLIAN TOSHIO KURODA

**A INTRODUÇÃO DO VEÍCULO ELÉTRICO NA MATRIZ ELÉTRICA
BRASILEIRA: SITUAÇÃO ATUAL E PROJEÇÕES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2019

FELIPE TOSIN
WILLIAN TOSHIO KURODA

A INTRODUÇÃO DO VEÍCULO ELÉTRICO NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA: SITUAÇÃO ATUAL E PROJEÇÕES

Trabalho de conclusão do curso de Graduação em Engenharia Elétrica apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de curso 2, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Profa. MSc. Annemarien Gehrke Castagna

CURITIBA

2019

FELIPE TOSIN
WILLIAN TOSHIO KURODA

A introdução do veículo elétrico na matriz elétrica brasileira: situação atual e projeções

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 24 de junho de 2019.

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Henrique Karam Salata, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Thiago de Paula Machado Bazzo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

“A única forma dos homens chegarem a algum lugar é deixando algo para trás. ”
(NOLAN, CHRISTOPHER; **INTERESTELAR**, 2014)

AGRADECIMENTOS

Nesta longa e árdua jornada da graduação tivemos muitos momentos difíceis em que nos colocamos em dúvida se realmente conseguiríamos chegar até o fim, é neste momento que mais devemos agradecer aos nossos pais por sempre acreditarem em nós e nos darem todo o carinho e apoio que precisávamos para atingir o nosso grande objetivo de nos tornarmos engenheiros.

Por isso, Marlene, Vera, Cláudio e Hermínio, muito obrigado, sem vocês nada disso seria possível, amamos muito vocês.

Gostaríamos de agradecer à nossa orientadora, Annemarlen, por nos direcionar e fornecer todo o suporte na elaboração deste trabalho.

Por fim, porém não menos importante, nosso mais sincero obrigado aos grandes amigos, Assis, Danielle, Danilo, Emanuel, Emy, Tales e Thiago, que estiveram ao nosso lado em todos os momentos, sempre nos apoiando.

RESUMO

TOSIN, Felipe; KURODA Willian Toshio. A introdução do veículo elétrico na matriz elétrica brasileira: Situação atual e projeções. 2019. 80f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

Com o surgimento da proposta de lei do senado N°304/2017, que propõe a proibição da comercialização de veículos movidos a combustíveis fósseis a partir de 2030 e sua circulação a partir de 2040, impulsionando a introdução em massa do veículo elétrico à frota de veículos do Brasil, este trabalho se dispõe a dissertar sobre os possíveis impactos que a inserção do veículo elétrico poderá gerar do ponto de vista da matriz elétrica nacional. Os objetos de estudo deste trabalho são a matriz elétrica nacional e os veículos elétricos a serem inseridos nesta. Desta forma, para realização das análises propostas, previamente são apresentados dados gerais sobre a situação atual da matriz elétrica nacional e os planos e projeções de aumento de geração de energia elétrica, bem como dados gerais sobre o funcionamento dos veículos elétricos, suas baterias e sistemas de recarga. A análise de impacto à matriz é feita com base em três cenários, considerando frotas de veículos com 20%, 33% e 100% de veículos eletrificados. São apresentados dados gerais de demanda de potência, pico de demanda para cada caso específico e comentários pertinentes a cada situação. Por fim, o estudo conclui que a matriz elétrica projetada para o ano de 2040 seria capaz de suportar a introdução em massa de veículos elétricos, desde que com investimentos e implantação de uma rede inteligente para gerenciar a recarga das baterias, evitando o colapso do sistema.

Palavras-chave: Veículo elétrico, PLS N°304/2017, Matriz elétrica, Recarga de veículos.

ABSTRACT

TOSIN, Felipe; KURODA Willian Toshio. The introduction of the electric vehicle in the Brazilian electric matrix: Current situation and projections. 2019. 80f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

With the proposal of Senate Bill No. 304/2017, which proposes to ban the commercialization of fossil fuel vehicles from 2030 and its circulation after 2040, pushing the massive introduction of electric vehicles into Brazil, this paper sets out to discuss the possible impacts that the insertion of the electric vehicle may generate from the point of view of the national electric matrix. The objects of study of this paper are the national electric matrix and the electric vehicles that will be inserted in it. Thus, in order to carry out the proposed analyzes, it is previously presented general data on the current situation of the national electric matrix and plans and projections to increase electric power generation, as well as general data on the operation of electric vehicles, their batteries and recharging systems. The analysis of impact in the matrix is based on three scenarios, considering fleets of vehicles with 20%, 33% and 100% of electrified vehicles. General power demand data, peak demand for each specific case and relevant comments for each situation are presented. Finally, the study concludes that the electric matrix projected for the year of 2040 would be able to withstand the mass introduction of electric vehicles, as long as it is followed by investments and deployment of a Smart Grid to manage the recharge of the batteries, avoiding the collapse of the system.

Keywords: Electric vehicle, PLS N°304 / 2017, Electrical matrix, Vehicle recharging.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
BEN	- Balanço Energético Nacional
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGH	- Central Geradora Hidrelétrica
PCH	- Pequena Central Hidrelétrica
CGU	- Central Geradora Undi-elétrica
EDF	- <i>Electricité de France</i>
EIA	- <i>Energy Information Administration</i> (Governo Federal dos Estados Unidos da América)
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
EOL	- Central Geradora Eólica
GEE	- Gases do Efeito Estufa
MCI	- Motor à Combustão Interna
ME	- Motor Elétrico
OIEE	- Oferta Interna de Energia Elétrica
PDE	- Plano Decenal de Expansão de Energia
PLS	- Projeto de Lei do Senado
REB	- Resenha Energética Brasileira
SIN	- Sistema Interligado Nacional
SUV	- <i>Sport Utility Vehicle</i> - Veículo utilitário esportivo
UFV	- Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	- Usina Hidrelétrica
USD	- <i>United States Dollar</i>
UTE	- Usina Termelétrica
UTN	- Usina Termonuclear
V2G	- <i>Vehicle - To - Grid</i>
VE	- Veículo Elétrico
VEB	- Veículo Elétrico à Bateria

VEH - Veículo Eléctrico Híbrido
VHEP - Veículo Híbrido *Plug-in*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Integração energética regional	36
Figura 2: Primeira bateria de chumbo-ácido recarregável	39
Figura 3: Esquema de veículo elétrico híbrido com configuração em série	43
Figura 4: Esquema de veículo elétrico híbrido com configuração em paralelo	44
Figura 5: Esquema de veículo elétrico híbrido com configuração em configuração mista	45
Figura 6: Energia específica e potência específica de diferentes tipos de baterias ..	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Oferta interna de energia elétrica por fonte	15
Gráfico 2: Matriz energética mundial 2017	23
Gráfico 3: Matriz energética brasileira 2017	23
Gráfico 4: Matrizes energéticas - Renováveis e não-renováveis	24
Gráfico 5: Matriz elétrica mundial.....	26
Gráfico 6: Matriz elétrica brasileira.....	26
Gráfico 7: Matrizes elétricas - Renováveis e não-renováveis	27
Gráfico 8: Oferta interna de energia elétrica por fonte	29
Gráfico 9: Licenciamento de veículos <i>flex fuel</i> novos no Brasil	33
Gráfico 10: Licenciamento de veículos elétricos novos no Brasil	34
Gráfico 11: Projeção de carga e demanda do SIN.....	35
Gráfico 12: Volume mensal de vendas de veículos plug-in no mundo.....	42
Gráfico 13: Ciclos de descarga típicos.....	46
Gráfico 14: Intensidade de uso dos automóveis à combustão.....	63
Gráfico 15: Taxa da motorização no Brasil, histórico e previsão.	64
Gráfico 16 - Curva de carga horária do dia 10 de abril de 2019.	67
Gráfico 17: Do tanque à roda – Emissão de CO2.....	71
Gráfico 18: Da geração à roda – Emissão de CO2.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Matriz energética mundial e brasileira.....	22
Quadro 2: Matrizes elétricas mundial e brasileira	25
Quadro 3: Potência instalada para geração elétrica	28
Quadro 4: Oferta interna de energia elétrica.....	29
Quadro 5: Licenciamento de veículos novos na frota brasileira.....	33
Quadro 6: Previsão da evolução da capacidade instalada no SIN (MW).....	37
Quadro 7: Características dos principais tipos de baterias	49
Quadro 8: Consumo dos veículos elétricos a bateria.....	51
Quadro 9: Consumo dos veículos híbridos elétricos Plug-in.....	51
Quadro 10: Formas de recarga.....	53
Quadro 11: Vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de integração de veículos elétricos	55
Quadro 12 – Consumo e capacidade de carga dos VEBs.....	65
Quadro 13 - Consumo e capacidade de carga dos VHEPs	65
Quadro 14 – Dados para criação de cenários.	66
Quadro 15 – Cálculos para o cenário 1.	68
Quadro 16 – Cálculos para o cenário 2.	69
Quadro 17 – Cálculos para o cenário 3.	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 TEMA.....	14
1.1.1 Delimitação do Tema.....	15
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 JUSTIFICATIVA.....	17
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 BASE LEGAL E DEFINIÇÕES.....	20
2.1 PROJETOS DE LEI DO SENADO BRASILEIRO	20
2.2 FONTES DE ENERGIA	21
2.3 MATRIZ ENERGÉTICA E MATRIZ ELÉTRICA.....	21
2.4 MATRIZ ENERGÉTICA.....	22
3. A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.....	25
3.1 POTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	27
3.2 OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA	28
4. PLANEJAMENTO DE EXPANSÃO DA MATRIZ ELÉTRICA.....	30
4.1 INTRODUÇÃO.....	30
4.2 PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2026	31
4.2.1 A entrada dos veículos elétricos e híbridos	31
4.2.2 Geração de Energia Elétrica	34
5. O VEÍCULO ELÉTRICO E SUAS TECNOLOGIAS.....	39
5.1. HISTÓRIA DO CARRO ELÉTRICO.....	39
5.2. O CARRO ELÉTRICO E O CENÁRIO ATUAL	42
5.3. TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	42
5.3.1. VEH – Veículo Elétrico Híbrido.....	43
5.3.2. VHEP – Veículo Elétrico Híbrido <i>Plug-in</i>	45
5.3.3. VEB – Veículo Elétrico a Bateria	47
5.4. BATERIAS.....	47
5.5. FORMAS DE RECARGA DOS VEÍCULOS.....	51

5.6. SMART GRIDS E A TECNOLOGIA V2G (VEHICLE-TO-GRID).....	53
6. PROJETOS DE SUBSTITUIÇÃO DE FROTA PELO MUNDO	57
6.1. POLÍTICAS PÚBLICAS	59
6.2. POLÍTICAS DE INCENTIVO À OFERTA.....	59
6.3. POLÍTICAS DE INCENTIVO À DEMANDA	60
7. DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS	62
7.1. DISTÂNCIA MÉDIA DE PERCURSO	62
7.2. TAMANHO DA FROTA NACIONAL EM 2040	63
7.3. DADOS TÉCNICOS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS CONSIDERADOS	65
7.4. TIPOS DE RECARGA	65
7.5. CENÁRIOS	66
7.5.1. CENÁRIO 1	67
7.5.2. CENÁRIO 2	68
7.5.3. CENÁRIO 3	69
8. IMPACTOS AMBIENTAIS.....	71
8.1. BATERIAS	73
9. CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

No início do século XX, os veículos movidos à combustão interna foram o modelo de transporte pessoal que mais se popularizou comercialmente por inúmeros motivos, dentre eles, o fato de serem mais baratos que as opções elétricas que já existiam na época (EIA DOE, 2009).

A introdução destes veículos, movidos à combustão, gerou uma necessidade de logística para abastecimento, criando a necessidade de uma maior produção de combustíveis, redes de distribuição e postos de comercialização para acompanhar o crescimento da frota e manter os veículos rodando.

Os veículos elétricos voltaram à cena no final do século XX, devido às pressões de órgãos ambientais para a substituição do atual sistema existente para um sistema menos nocivo ao ambiente, com maior eficiência energética e menos emissões de gases conhecidos com GEE (Gases de Efeito Estufa) (ANDERSON, 2010).

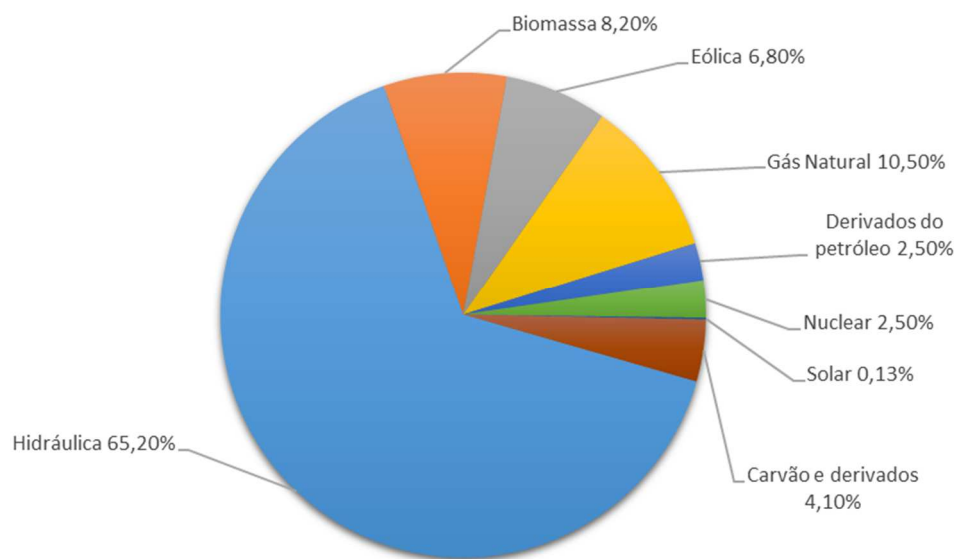
A introdução dos veículos elétricos e futura substituição total da frota movida à combustíveis fósseis já é dada como certa, inclusive no Brasil, com o projeto de lei do senado nº 304/2017, que propõe proibir, a partir de 2030, a comercialização, e, a partir de 2040, a circulação de veículos movidos à combustíveis não renováveis, corroborando com este fato (PLS Nº304/2017) (BRASIL, 2017 d).

O fato de veículos elétricos não consumirem diretamente nenhum combustível além da eletricidade de suas baterias gera, em alguns, uma falsa ideia de que sua eficiência é máxima e suas emissões são zero.

A introdução do carro elétrico deve ser acompanhada de um estudo não só referente ao carro em si e suas tecnologias, mas também de toda a cadeia necessária para o seu abastecimento, levando em consideração todos os desdobramentos que sua implantação irá exigir da matriz elétrica brasileira e os efeitos causados por esse aumento de demanda. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN 2018), a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 588,0 TWh em 2017 (BRASIL, 2018 b).

O gráfico 1 apresenta a oferta interna de energia elétrica por fonte.

Gráfico 1: Oferta interna de energia elétrica por fonte



Fonte: BEN 2018

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 80,33% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais a importação, que são essencialmente de origem renovável (BRASIL, 2018 b).

1.1.1 Delimitação do Tema

Este estudo apresenta a atual situação da matriz elétrica brasileira e projeções de vários cenários de carga devido ao aumento da presença de veículos elétricos ao decorrer de tempo e seus impactos e desdobramentos no sistema. Também será abordada a questão ambiental quanto às vantagens e desvantagens da substituição da frota.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A substituição da frota de veículos movidos à combustíveis fósseis por veículos elétricos é vista por muitos como uma evolução sem pontos negativos, eliminando a necessidade de combustíveis fósseis e reduzindo a emissão de poluentes.

O que muitas vezes é esquecido, é que a energia que irá mover esses novos veículos precisa vir de alguma fonte. No caso da matriz elétrica do Brasil levanta questionamentos: Há capacidade para atender tal aumento de demanda por energia elétrica? E como se dará o aumento na oferta de energia a longo prazo?

Outro ponto importante a ser considerado é referente à redução na emissão de poluentes, uma vez que esse é um dos intuitos da substituição da frota. Neste caso, deve ser considerado qual a forma de geração de energia será empregada para ofertar mais energia ao sistema, já que não parece adequado, por exemplo, instalar usinas termoelétricas com alto nível de emissão de poluentes com o intuito de prover energia à nova frota.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar os possíveis efeitos da implantação de veículos elétricos na matriz elétrica brasileira.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar o Projeto de Lei Senado 304/2017;
- Analisar a projeção da matriz elétrica brasileira;
- Determinar a previsão de demanda da carga;
- Estudar comparativo da substituição dos veículos;
- Estudar a curva de carga atual e prevista;
- Desenvolver e analisar cenários sobre a demanda dos veículos elétricos;
- Analisar resultados e prover conclusões.

1.4 JUSTIFICATIVA

Em vista do cenário em que a introdução dos veículos elétricos já é dada como uma certeza não tão distante, faz-se necessário o estudo de toda a cadeia por trás desse novo sistema de transporte. No que tange os estudos da engenharia elétrica, pode-se e deve-se contribuir com uma análise mais aprofundada da receptividade que a matriz elétrica brasileira terá para com este novo sistema.

Sabe-se que a situação atual da nossa matriz elétrica é delicada devido às imposições ambientais que impossibilitam a criação de novas hidrelétricas com grandes áreas inundadas e uma das formas de aumentar a oferta de energia atualmente é através das usinas termoelétricas, que são caras e extremamente agressivas ao meio ambiente.

Sendo assim, cabe também a este estudo analisar o quão vantajoso, em termos de emissões para o meio ambiente, virá a ser a substituição dos veículos movidos à combustíveis não renováveis por veículos elétricos.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho foi desenvolvido e apresentado conforme os objetivos apresentados e pelo tempo cronológico para serem executados. Para tanto, o trabalho é dividido nas seguintes etapas:

Etapas 1 – Pesquisa Bibliográfica

Pesquisa bibliográfica para obter conhecimento sobre o histórico de desdobramentos da matriz elétrica brasileira para atender novas demandas, projeções de aumento da capacidade da matriz elétrica brasileira e projeções de crescimento da frota de veículos elétricos.

Etapas 2 – Exposição dos dados

Explicitar os dados, apresentar estatísticas e discorrer sobre o assunto tratado.

Etapa 3 – Análise e discussão de dados

Discussão das informações encontradas na etapa 1.

Etapa 4 – Conclusão

Conclusões referentes ao processo de execução do trabalho e sobre as análises realizadas.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresentará a seguinte estrutura:

Capítulo 1: Introdução - Apresentação e contextualização inicial do trabalho, tema, delimitação do tema, situação problema, objetivos, justificativa e procedimentos metodológicos.

Capítulo 2: Base legal e definições - Embasamento teórico dos assuntos a serem abordados na análise e desenvolvimento do trabalho.

Capítulo 3: A matriz elétrica brasileira - Exposição da atual situação da matriz elétrica brasileira para os estudos dos capítulos seguintes.

Capítulo 4: Planejamento da expansão da matriz elétrica - Previsões e expectativas dos órgãos responsáveis pelo planejamento de expansão da rede elétrica brasileira.

Capítulo 5: O veículo elétrico e suas tecnologias - Estudo do funcionamento dos atuais veículos elétricos disponíveis no mercado.

Capítulo 6: Projetos de substituição de frota pelo mundo - Análise dos projetos de implantação de veículos elétricos em outros países.

Capítulo 7: Desenvolvimento de cenários - Etapa em que serão elaborados cenários com diferentes percentuais de VEs na frota de veículos nacional, baseando-se em pesquisas sobre o setor. Estes cenários consideram diferentes formas de

recarga para os VEs e a carga demandada por estes foi confrontada com os dados de curva de demanda atual e a matriz projetada para o ano de 2040.

Capítulo 8: Impactos ambientais – Apresentação das questões ambientais levantadas pela inserção dos veículos elétricos no cenário global e os projetos apresentados para mitigar os possíveis impactos gerados.

2 BASE LEGAL E DEFINIÇÕES

2.1 PROJETOS DE LEI DO SENADO BRASILEIRO

Projetos de lei são criados para tratar de assuntos diversos da área penal, civil, tributária e da maior parte das normas jurídicas do país, assim, controlam a maior parte da competência da União, com sanção do presidente da República. Esses projetos de lei podem ser propostos pelo próprio presidente, por deputados, senadores, pelo Supremo Tribunal Federal, tribunais superiores, pelo procurador geral da República e também por cidadãos, desde que sejam subscritos por, no mínimo, 1% do eleitorado do país, distribuído por no mínimo em cinco estados e não menos que 0,3% dos eleitores de cada estado (BRASIL, 2016 c).

Assinado pelo Senador Ciro Nogueira, o PLS N°304/2017 decreta que a partir de 1° de janeiro de 2030 estará proibida a comercialização de automóveis novos movidos a motor a combustão, exceto os que são exclusivamente abastecidos a biocombustível. Para os veículos que se enquadram na condição acima, também será proibida a sua circulação em todo o território nacional a partir de 1° de janeiro de 2040. Os automóveis de coleção e veículos de propriedade de visitantes estrangeiros, com até cento e oitenta dias de sua entrada no Brasil são excluídos deste decreto (BRASIL, 2017 d).

No mesmo ano de 2017, o Senador Telmário Mota assinou o PLS N°454/2017 que decreta que a partir de 1° de janeiro de 2060 estará proibida a comercialização de automóveis novos movidos a motor a combustão, exceto os que são exclusivamente abastecidos a biocombustível. Além da vedação da comercialização, o projeto estabelece para os veículos citados acima, uma cota máxima de participação no total de vendas de 90% a partir de 1° de janeiro de 2030, 70% a partir de 1° de janeiro de 2040 e 10% a partir de 1° de janeiro de 2050 (BRASIL, 2017 e).

Ambos projetos estão em tramitação no Senado Federal e aguardam as decisões que as comissões indicadas para analisar cada projeto.

2.2 FONTES DE ENERGIA

As fontes de energia podem ser classificadas como não renováveis e renováveis de acordo com a origem dos seus recursos (BRASIL, 2016 a).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), as fontes de energia não renováveis, também conhecidas como fontes convencionais, são aquelas em que os recursos são finitos ou esgotáveis. A reposição destes compostos é resultado de milhões de anos sob condições específicas de temperatura e pressão. São exemplos de fontes não renováveis: carvão mineral, gás natural e o petróleo.

As fontes de energia renováveis são compostas pelos recursos considerados inesgotáveis e que se renovam ao serem utilizadas. Pode-se citar a energia hídrica, a energia solar, a energia eólica e a oceânica, composta pela energia das marés e pela energia das ondas.

As fontes renováveis são consideradas limpas devido a sua menor emissão dos gases de efeito estufa (GEE) comparada as energias fósseis. Porém, algumas destas fontes variam de acordo com o tempo e localização que será utilizada, por exemplo, a incidência solar e a variação dos ventos em determinada região.

2.3 MATRIZ ENERGÉTICA E MATRIZ ELÉTRICA

O conceito de matriz energética é o conjunto das fontes de energia de uma determinada região. Essas fontes de energia são classificadas como renováveis e não-renováveis. Sendo renováveis ou não-renováveis, estas são compostas por formas de energia que pode ser classificada em energia elástica, energia química, térmica e a energia elétrica (BRASIL, 2016 a).

A matriz energética e a matriz elétrica são geralmente confundidas entre si. A matriz energética representa todas as fontes de energia disponíveis para a geração de algum tipo de energia. A matriz elétrica representa a parte da matriz energética que é formada pelo conjunto de fontes de energia disponíveis apenas para a geração de energia elétrica, independentemente do tipo de transformação (BRASIL, 2016 a).

2.4 MATRIZ ENERGÉTICA

No mês de julho de 2018 foi publicado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) a Resenha Energética Brasileira (REB) 2018, exercício de 2017. Este estudo tem como objetivo apresentar os principais indicadores de desempenho do setor energético brasileiro de 2017. São dados referentes às áreas de petróleo, gás, carvão mineral, energia elétrica, seguidas de algumas análises e comparações internacionais.

Após a análise da REB 2018 foram extraídos dados que irão direcionar a elaboração deste trabalho. O quadro 1 contém as fontes de energia e sua participação sobre a matriz energética mundial e do Brasil.

Quadro 1: Matriz energética mundial e brasileira

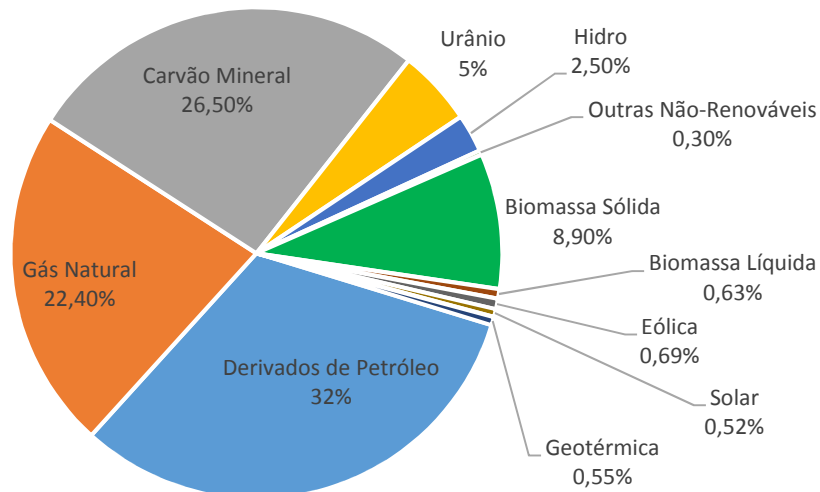
Fonte de Energia	Mundo	Brasil
Derivados de Petróleo	32,00%	36,20%
Gás Natural	22,40%	12,90%
Carvão Mineral	26,50%	5,60%
Urânio	5,00%	1,40%
Hidro	2,50%	11,90%
Outras Não-Renováveis	0,30%	0,60%
Biomassa Sólida	8,90%	23,90%
Biomassa Líquida	0,63%	6,10%
Eólica	0,69%	1,24%
Solar	0,52%	0,024%
Geotérmica	0,55%	0,00%
Total (%)	100%	100%
Total Renováveis	13,79%	43,16%
Total Não-Renováveis	86,21%	56,84%

Fonte: REB 2018

A partir do quadro 1, os gráficos 2 e 3 fornecem uma melhor visualização sobre cada matriz energética.

Gráfico 2: Matriz energética mundial 2017

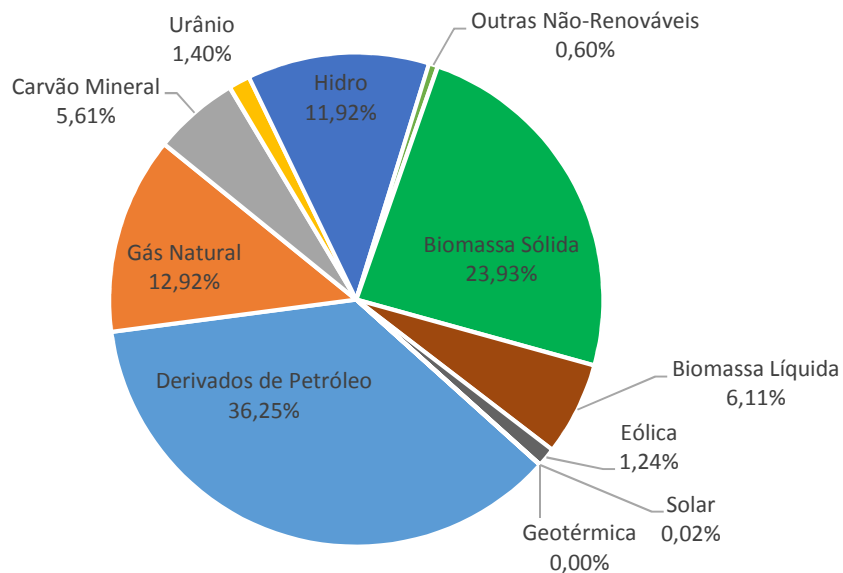
Matriz Energética 2017 - Mundo



Fonte: REB 2018

Gráfico 3: Matriz energética brasileira 2017

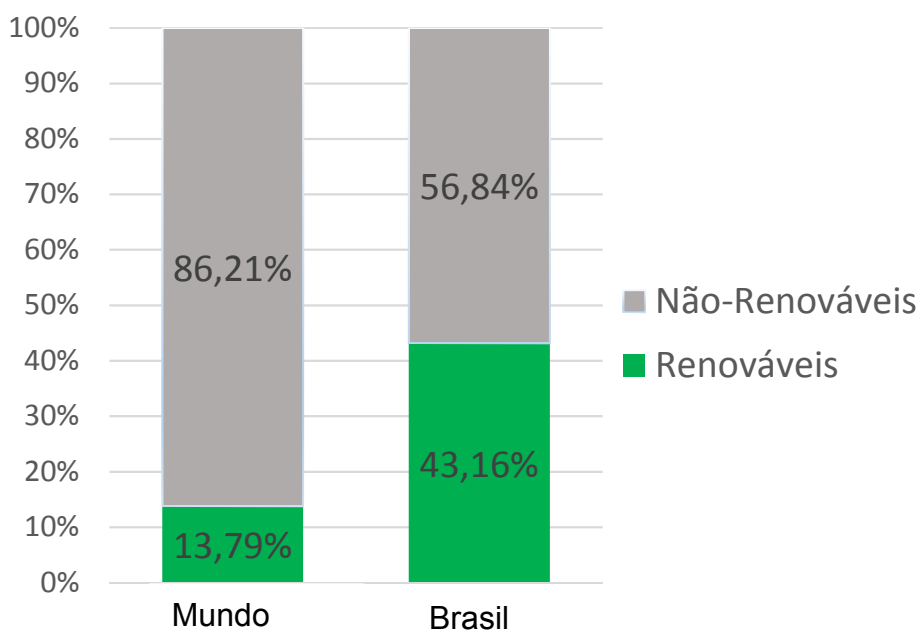
Matriz Energética 2017 - Brasil



Fonte: REB 2018

Com a análise dos gráficos 2 e 3, é possível concluir que em 2017 as matrizes energéticas brasileira e mundial têm uma porcentagem próxima referente ao uso de petróleo e seus derivados. Porém, ao comparar o uso de fontes renováveis, o Brasil contabiliza 43,16% contra apenas 13,79% da matriz mundial, comparação demonstrada no gráfico 4.

Gráfico 4: Matrizes energéticas - Renováveis e não-renováveis



Fonte: REB 2018

3. A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

A matriz elétrica de um país corresponde ao conjunto de todas as fontes utilizadas na geração de energia elétrica. Essas fontes podem ser renováveis, caso de uso de recursos hídricos, eólicos, geotermia, solar, marítima ou não renováveis como os derivados do petróleo, carvão, gás natural e nuclear (CAMILLA, 2013).

A partir da Resenha Energética Brasileira 2018, foram extraídos os dados para a elaboração do quadro 2, que é um comparativo entre a matriz elétrica do Brasil comparada ao mundo.

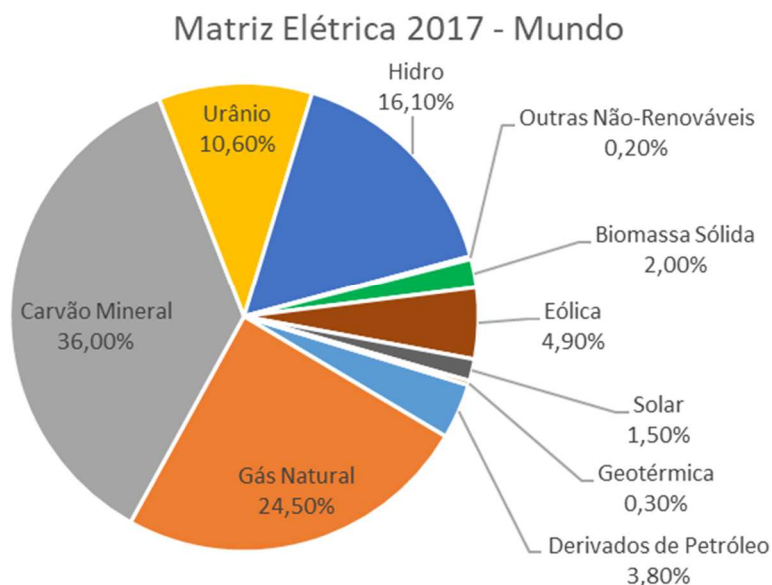
Quadro 2: Matrizes elétricas mundial e brasileira

Fonte de Energia	Mundo	Brasil
Derivados de Petróleo	3,80%	2,00%
Gás Natural	24,50%	10,50%
Carvão Mineral	36,00%	2,60%
Urânio	10,60%	2,50%
Hidro	16,10%	65,20%
Outras Não-Renováveis	0,20%	2,00%
Biomassa Sólida	2,00%	8,20%
Eólica	4,90%	6,80%
Solar	1,50%	0,13%
Geotérmica	0,30%	0,00%
Total (%)	100,00%	100,00%
Total Renováveis	24,80%	80,33%
Total Não-Renováveis	75,20%	19,67%

Fonte: REB 2018

A matriz elétrica mundial segue o mesmo padrão da matriz energética, que é principalmente composta por combustíveis fósseis como o carvão, óleo e gás natural que são utilizadas em usinas termelétricas. O gráfico 5 mostra a matriz elétrica mundial em 2017.

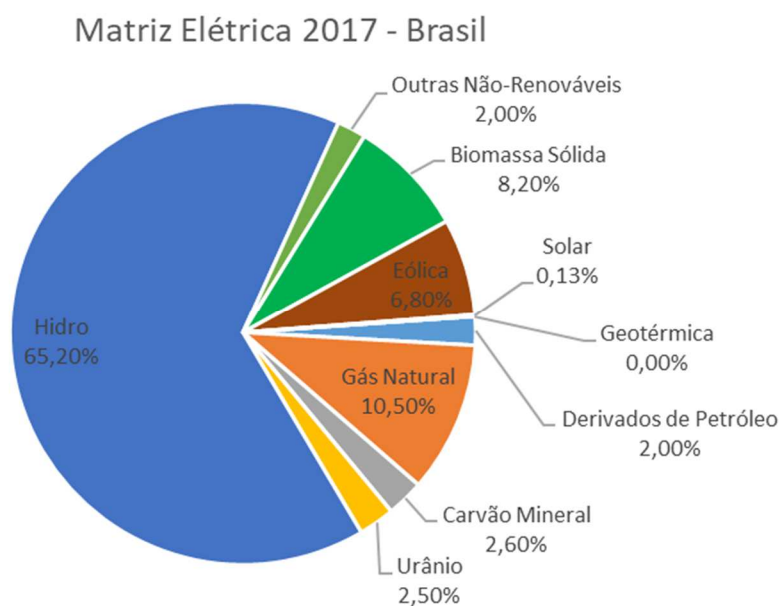
Gráfico 5: Matriz elétrica mundial



Fonte: REB 2018

Como constatado na matriz energética, o Brasil tem maiores contribuições de fontes renováveis. Na matriz elétrica os recursos hidráulicos contribuem em grande percentual, seguido da biomassa sólida. O uso de usinas solares e também da geração eólica ainda representa uma baixa parcela na matriz, porém vem aumentando a sua contribuição nos últimos anos. O gráfico 6 é referente a matriz elétrica brasileira.

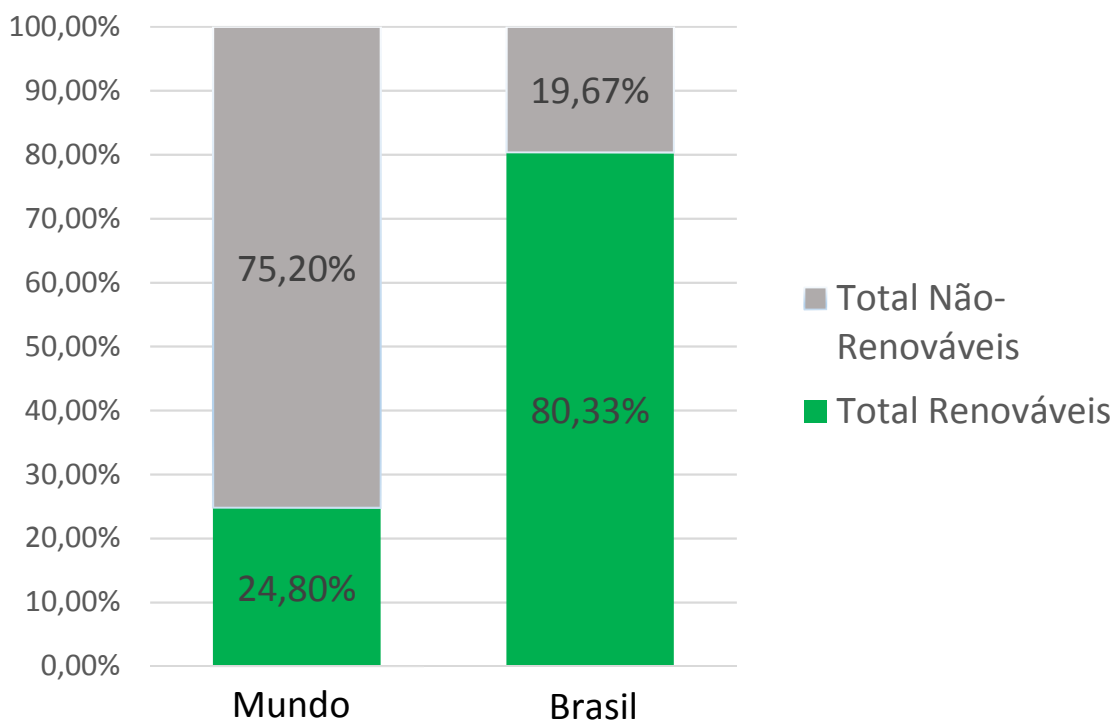
Gráfico 6: Matriz elétrica brasileira



Fonte: REB 2018

Para finalizar a comparação do Brasil ao resto do mundo, o gráfico 7 compara a utilização de fontes renováveis e não renováveis nas matrizes elétricas.

Gráfico 7: Matrizes elétricas - Renováveis e não-renováveis



Fonte: REB 2018

Assim, a matriz elétrica brasileira tem como base a utilização de fontes renováveis, o que é praticamente inversa a matriz elétrica mundial. Isso significa que os custos de operação das usinas é menor e tem geralmente uma significativa redução de emissão de gases estufa.

3.1 POTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

No Brasil existem 7.144 empreendimentos em operação para a geração de energia elétrica, totalizando 160,79 GW de potência instalada. No ano de 2017 a potência instalada foi totalizada em 157,6 GW, representando um aumento de 2,02% (BRASIL, 2018 a).

O quadro 3 descreve os tipos de geração, a quantidade de instalações no Brasil e sua respectiva potência instalada para geração de energia elétrica.

Quadro 3: Potência instalada para geração elétrica

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	693	691.131	690.133	0,43
CGU	1	50	50	0
EOL	546	13.450.139	13.427.343	8,35
PCH	427	5.178.959	5.130.531	3,19
UFV	2.258	1.433.573	1.426.773	0,89
UHE	218	101.892.288	97.075.157	60,37
UTE	2.999	42.630.823	41.059.179	25,53
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,24
Total	7.144	167.266.963	160.799.166	100

Fonte: ANEEL 2018

Ainda segundo a ANEEL, está prevista uma adição de 20,19 GW na capacidade de geração elétrica do país. Esse aumento é proveniente de 209 empreendimentos que estão em processo de construção e mais 395 empreendimentos que as obras ainda não foram iniciadas.

3.2 OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) 2018, ano base 2017, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) alcançou a marca de 624,3 TWh. No ano anterior, o valor da OIEE foi de 619,7 TWh, o que resulta em um aumento de 0,7%. Estes dados são visualizados no quadro 4.

Quadro 4: Oferta interna de energia elétrica

ESPECIFICAÇÃO	GWh		17/16%	ESTRUTURA(%)		17/16%
	2016	2017		2016	2017	
HIDRÁULICA	380.911	370.906	-2,6%	61,47	59,41	-3,3%
BAGAÇO DE CANA	35.236	35.655	1,2%	5,69	5,71	0,4%
EÓLICA	33.489	42.373	26,5%	5,40	6,79	25,6%
SOLAR	85	832	878,8%	0,01	0,13	871,6%
OUTRAS RENOVÁVEIS(a)	15.805	15.617	-1,2%	2,55	2,50	-1,9%
ÓLEO	12.103	12.733	5,2%	1,95	2,04	4,4%
GÁS NATURAL	56.485	65.593	16,1%	9,11	10,51	15,3%
CARVÃO	17.001	16.257	-4,4%	2,74	2,60	-5,1%
NUCLEAR	15.864	15.739	-0,8%	2,56	2,52	-1,5%
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS(b)	11.920	12.257	2,8%	1,92	1,96	2,1%
IMPORTAÇÃO	40.795	36.355	-10,9%	6,58	5,82	-11,5%
TOTAL (c)	619.694	624.317	0,7%	100,00	100,00	

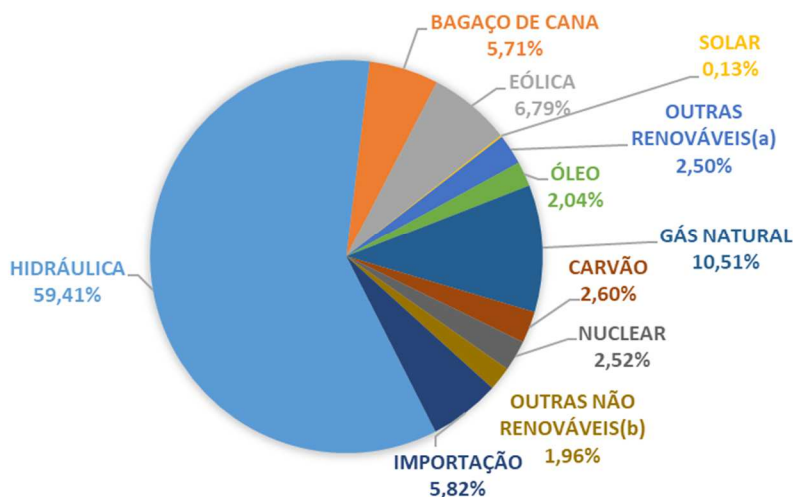
Fonte: BEN 2018

De acordo com os dados fornecidos, é possível notar um aumento de praticamente dez vezes entre 2016 e 2017 na produção de energia solar no Brasil. Um outro valor significativo é o aumento de 26,5% na produção de energia elétrica através de parques eólicos. Isso é resultado da melhoria da tecnologia aplicada, da confiabilidade e da redução do custo de instalação dos sistemas de geração disponíveis no mercado.

Com a elaboração do gráfico 8 é possível notar a maior parte da oferta interna de energia elétrica através do potencial hidráulico.

Gráfico 8: Oferta interna de energia elétrica por fonte

OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA - FONTES



Fonte: REB 2018

4. PLANEJAMENTO DE EXPANSÃO DA MATRIZ ELÉTRICA

4.1 INTRODUÇÃO

Publicado anualmente pelo Ministério de Minas e Energia, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) é um documento informativo para todo o público. Este documento é desenvolvido pela EPE e é uma indicação, e não determinação, das perspectivas da expansão sobre o setor de energia num horizonte de dez anos sob a ótica do Governo Brasileiro (BRASIL, 2017 a).

Podem-se citar como objetivos principais deste estudo:

- Indicar a melhor composição da matriz elétrica futura para que atenda ao crescimento da demanda por energia elétrica ao menor custo global respeitando os aspectos socioambientais e os critérios de risco dos suprimentos (BRASIL, 2016 b).

- Avaliar as condições de atendimento futuro, indicar medidas a serem tomadas para os avanços tecnológicos e apontar, quando necessário, as ações que reestabelecem as condições de equilíbrio natural (BRASIL, 2016 b).

O PDE engloba o estudo do Sistema Interligado Nacional (SIN) quanto à geração em Sistemas Isolados. Os sistemas isolados localizam-se basicamente na região norte do país, além do interior do Mato Grosso e Fernando de Noronha. Dentre as capitais, somente Boa Vista (RR) não faz parte do SIN (BRASIL, 2016 b).

Devido ao aumento da contribuição de fontes de geração não controláveis (por exemplo, a geração solar e eólica) e a redução da capacidade de regulação das usinas hidrelétricas em face ao crescimento da carga, criam-se novas tomadas de decisão sobre o planejamento e operação do sistema. Pode-se incluir nessa nova questão, a maior participação do consumidor no mercado de energia como futuro gerador.

Assim, pode-se concluir que o PDE é fundamental para prever as ações necessárias para que o sistema absorva e suporte à inclusão de novas tecnologias e respeite as condições ambientais.

4.2 PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2026

Publicado pelas equipes técnicas do MME e da EPE, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 foi aprovado em dezembro de 2017 pelo Ministério de Minas e Energia através da Portaria Nº 463 (BRASIL, 2017 b).

Segundo o PDE 2026, o estudo é elaborado a partir de hipóteses pré-definidas e compostos de complexos desafios de construção. Esse plano é baseado em coerentes critérios para a criação de uma estratégia de expansão, desta maneira, reconhece-se a incerteza contida na tentativa de prever uma situação futura. Logo, o PDE não deve ser tomado como ações que serão tomadas, mas sim como planos de ação que podem ser previstos através de cenários criados (BRASIL, 2017 c).

Como citado, são criados cenários que serviram de base para as perspectivas. O PDE 2026 considera um crescimento econômico mundial médio de 3,8%. Pelo fato da melhora da economia mundial, espera-se que o Brasil retome o crescimento econômico e também deve-se salientar a incerteza sobre perspectivas econômicas decenais.

O PDE fornece informações e estudos sobre toda a matriz energética brasileira e seus diversos setores de consumo. Devido à delimitação do tema deste trabalho ser a matriz elétrica e a entrada dos veículos elétricos na frota brasileira, a análise será focada sobre a geração de energia elétrica e uma parcela da frota.

4.2.1 A entrada dos veículos elétricos e híbridos

Baseado em históricos de processos de introdução de novas tecnologias, o PDE conclui que essas transições energéticas são consideradas lentas. Além da desconfiança sobre uma nova tecnologia, existe o elevado custo em produção em baixa escala, o sucateamento da frota, os custos de descarte e reciclagem das baterias.

No caso particular do Brasil, esta transição para o uso de veículos híbridos ou elétricos pode ser ainda mais lenta devida a alguns pontos:

- Modelos comercializados no Brasil, já com incentivos fiscais, são encontrados à venda entre R\$115.000,00 a R\$250.000,00 (BRASIL, 2017 a);
- Os consumidores que adquirem veículos na faixa de preço citada acima têm preferência por veículos luxuosos e maiores, como *SUVs*, *Pick ups* ou sedans de luxo. Estes veículos contêm características distintas da maioria dos veículos elétricos que são de menor porte e conforto;
- Menos de 3,5 mil veículos híbridos e elétricos foram licenciados no Brasil em 2017 comparados a mais de 1,7 milhões de veículos *flex fuel* (ANFAVEA, 2018);
- A previsão de carga e o reforço da rede considerando os pontos de abastecimento destes veículos (residência, trabalho, supermercados, shoppings) e sua tarifação em garagens de condomínios (BRASIL, 2017 c).

Porém, em contrapartida, a introdução dos veículos *flex fuel* que inicialmente em 2003 registrou 39.095 licenciamentos novos no Brasil e em 2017 registrou 1.738.350 veículos (ANFAVEA,2018). Essa rápida introdução está relacionada a menores mudanças em relação aos motores já utilizados e aos sistemas de abastecimento de combustíveis (BRASIL, 2017 c).

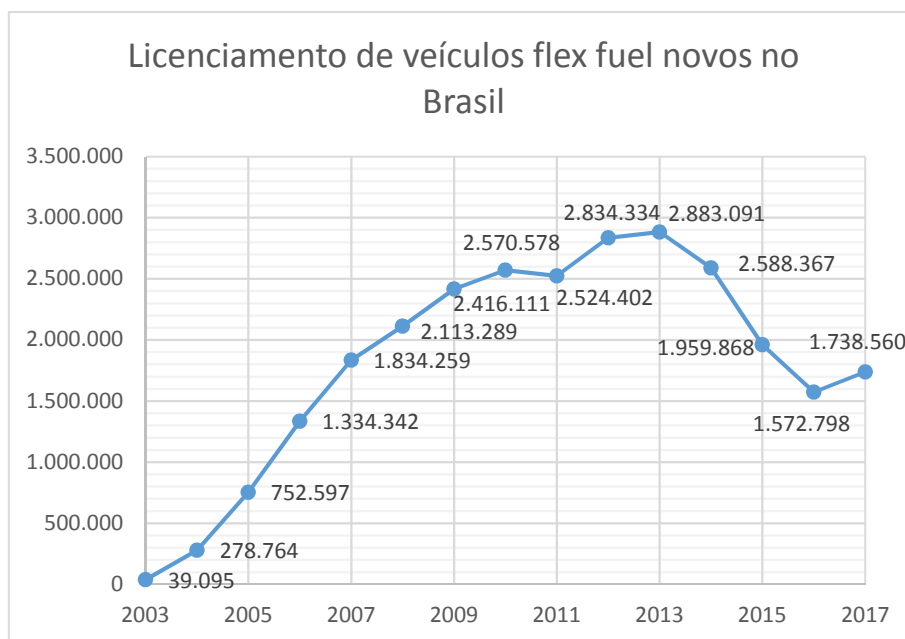
Pode-se comparar a evolução de inserção dos veículos *flex fuel* e elétricos com os dados que foram obtidos no Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018 e que compõem o quadro 5.

Quadro 5: Licenciamento de veículos novos na frota brasileira

Ano	Tipo de veículo	
	<i>Flex fuel</i>	Elétricos
2003	39.095	0
2004	278.764	0
2005	752.597	0
2006	1.334.342	1
2007	1.834.259	2
2008	2.113.289	8
2009	2.416.111	21
2010	2.570.578	24
2011	2.524.402	200
2012	2.834.334	117
2013	2.883.091	484
2014	2.588.367	842
2015	1.959.868	843
2016	1.572.798	1.085
2017	1.738.560	3.278

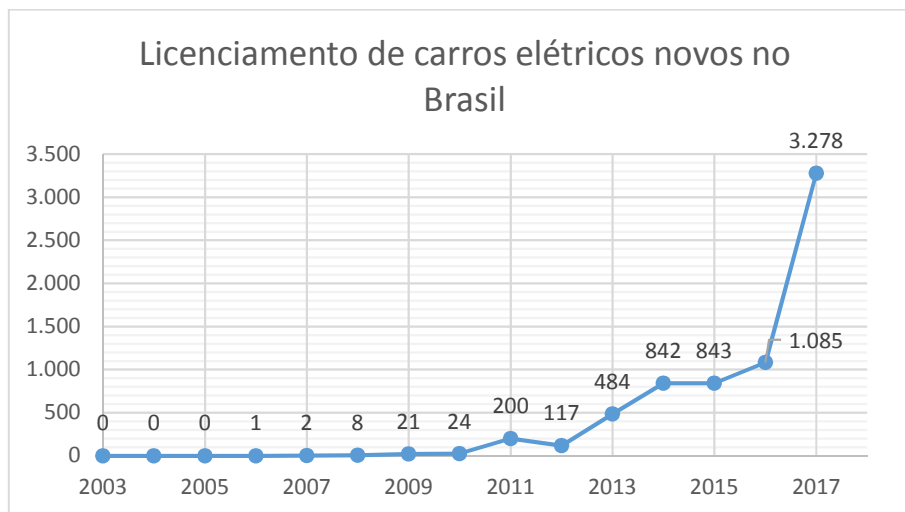
Fonte: Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018

O gráfico 9 mostra a rápida introdução de veículos *flex fuel* e o gráfico 10 demonstra os veículos elétricos.

Gráfico 9: Licenciamento de veículos *flex fuel* novos no Brasil

Fonte: Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018

Gráfico 10: Licenciamento de veículos elétricos novos no Brasil



Fonte: Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018

Com os registros do quadro 5 e dos gráficos 9 e 10, nota-se a diferença da introdução destes veículos, pois no primeiro ano, mais de 39 mil veículos *flex fuel* foram licenciados, enquanto desde 2006, ano no qual o primeiro veículo elétrico foi licenciado, os veículos elétricos não alcançaram 10% deste valor.

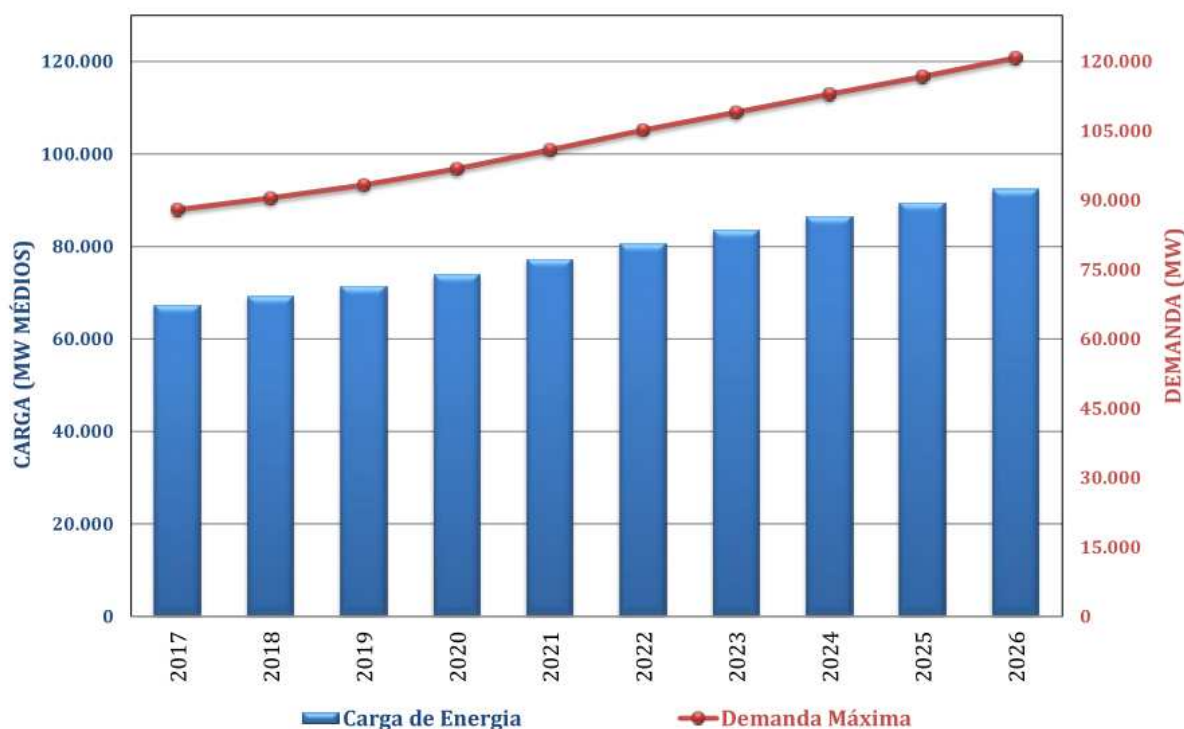
Assim, o PDE 2026 considera que a frota leve brasileira será composta majoritariamente, para um horizonte de 10 anos, de veículos com motores de combustão interna *flex fuel* e que os veículos elétricos terão uma parcela menor que 1% (BRASIL, 2017 c).

4.2.2 Geração de Energia Elétrica

O PDE 2026 apresenta cenários e a avaliação da expansão da geração de energia elétrica. São criadas diversas situações, testados os impactos de variações na expansão e respeitando restrições ambientais. Os objetivos mais importantes são exemplificados como fornecer informações úteis ao mercado que tomam decisões de investimentos que estão sob influência da composição da matriz elétrica no tempo e o fornecimento adequado para diferentes cenários futuros. Vale ressaltar que o plano de expansão é indicativo e assim não determinam os investimentos que serão aplicados ao sistema (BRASIL, 2017 c).

A previsão de crescimento médio anual de carga no SIN para um horizonte de dez anos a frente é de aproximadamente 2.700 MW médios, este valor representa uma taxa de 3,5% ao ano. O gráfico 11 foi obtido no PDE 2026 e indica o aumento de carga até 2026 (BRASIL, 2017 c).

Gráfico 11: Projeção de carga e demanda do SIN



Fonte: PDE 2026

O potencial hidrelétrico é considerado como um vetor importante na ampliação de oferta de energia elétrica para o SIN e está localizado principalmente na região norte do país. Grande parte desse potencial é devido ao desenvolvimento de usinas de pequeno porte, tais como as PCH e CGH. Já as UHE são dadas como incertas devido ao processo de licenciamento ambiental e sob o olhar do PDE 2026, pois o trâmite para aprovações deste tipo de empreendimento supera o horizonte decenal do plano em discussão (BRASIL, 2017 c).

Outras fontes alternativas de energia estão em ascensão no Brasil, como, por exemplo, a energia eólica e a energia solar fotovoltaica. A primeira apresenta uma das melhores relações custo benefício entre as outras fontes de energia. Porém, o aumento significativo da dependência de energia eólica causa uma necessidade de uma fonte complementar, devido a não ser uma fonte de energia estocável. A

tecnologia solar fotovoltaica apresenta um custo não competitivo para geração centralizada, mas é esperado que a partir de 2026 os custos possam ser reduzidos em 40% para igualar a expectativa global (BRASIL, 2017 c).

Além de projetar cenários para a demanda máxima, o PDE prevê o uso de tecnologias para uma demanda a curto prazo e uma resposta à variação instantânea de carga. Para essas situações, existem opções como usinas termelétricas de partida rápida, usinas hidrelétricas reversíveis e armazenamento químico de energia.

Uma alternativa considerada de grande potencial é a integração energética do Brasil com países como Argentina, Bolívia, Guiana, Guiana Francesa e Suriname. Essa integração é uma oportunidade de explorar a complementariedade de potencial hidrelétrico fronteiro e sistemas de transmissão e é representada na figura 1 (BRASIL, 2017 c).

Figura 1: Integração energética regional



Fonte: Eletrobrás

Os estudos relativos a essas opções citadas concluíram que para a bacia hidrográfica do Rio Uruguai, no trecho compartilhado entre Brasil e Argentina, há um

potencial para dois empreendimentos totalizando 2.200 MW. Já na fronteira com a Bolívia, a possibilidade de importação de 7.500 MW referentes a excedente de energia deste país. Deste montante, 1.500 MW são referentes à parcela boliviana, de um total de 3.000 MW previstos, sobre um futuro empreendimento binacional localizado no Rio Madeira (BRASIL, 2017 c).

Na fronteira norte do Brasil, existem estudos de viabilidade sobre um sistema de transmissão de aproximadamente 1.900 km de extensão, conhecido como Projeto Arco Norte. Este projeto integrará o Brasil, a Guiana Francesa, o Suriname e a Guiana. Outro projeto foi estabelecido em 2013 com a Guiana, que prevê o aproveitamento do potencial hidrelétrico do Rio Mazaruni com capacidade aproximada de 4,5 GW e a importação do excedente de energia referente à parcela da Guiana por meio de interligações do SIN (BRASIL, 2017 c).

Para finalizar a previsão do PDE 2026, o quadro demonstra a expansão da capacidade instalada, representada em MW, no SIN e detalha por fonte renovável e não renovável, não considerando a autoprodução de energia.

Quadro 6: Previsão da evolução da capacidade instalada no SIN (MW)

Ano	Renováveis	Não - Renováveis	Alternativa Ponta	Total SIN
2016	118.445	22.947		141.392
2017	127.711	23.538		151.249
2018	136.886	23.566		160.452
2019	141.212	23.906		165.118
2020	143.548	25.427		168.975
2021	146.974	25.427	994	173.395
2022	150.687	25.427	2.532	178.646
2023	154.477	26.735	4.334	185.546
2024	158.383	25.751	8.002	192.136
2025	162.489	24.852	12.198	199.539
2026	166.690	26.634	12.198	205.522

Fonte: PDE 2026

Esta expansão indicativa requer um investimento estimado de R\$ 174,5 bilhões no período de 2020 a 2026 para o suprimento da carga no ambiente livre e regulado. Como característica da matriz elétrica brasileira, as fontes de energia renováveis compõem no mínimo 81% da capacidade total até o ano de 2026 (BRASIL, 2017 c).

Como parte do objeto de estudo deste trabalho é uma projeção da matriz elétrica brasileira para 2040, será estimada a capacidade de geração para tal ano. Pelo quadro 6 é possível verificar um aumento de 64.130 MW entre os anos de 2016 e 2026, o que fornece uma taxa de aumento de 6.413 MW por ano, sendo assim, pode-se fazer uma estimativa da capacidade instalada da matriz nacional em 2040 extrapolando este valor para os 14 anos seguintes a 2026, chegando a um valor de 295.304 MW de potência instalada.

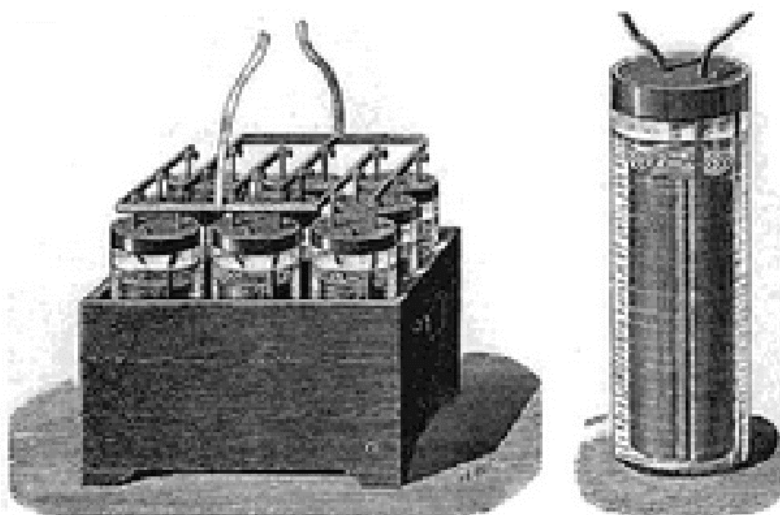
5. O VEÍCULO ELÉTRICO E SUAS TECNOLOGIAS

5.1. HISTÓRIA DO CARRO ELÉTRICO

Os carros elétricos são vistos como uma evolução dos veículos à combustão interna, ou seja, como um sucessor natural, uma vez que a atual sociedade busca alternativas sustentáveis aos meios de transporte que se fazem presentes. Porém a história mostra que os veículos elétricos tiveram seu início em paralelo com os veículos à combustão e à vapor, sendo deixados de lado no início do século XX por, na época, se mostrarem menos práticos e eficientes que os movidos à gasolina.

Baran (2012) em sua tese “A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade”, apresenta inicialmente a história do carro elétrico como advento relacionado intimamente com a história das baterias. Segundo o autor, em 1859, o belga Gaston Planté realizou a demonstração da primeira bateria utilizando chumbo e ácido, bateria essa que foi utilizada em diversos veículos elétricos desenvolvidos na França, EUA e Reino Unido no início da década de 1880. A figura 2 apresenta um modelo desta bateria de chumbo-ácido recarregável.

Figura 2: Primeira bateria de chumbo-ácido recarregável



Fonte: ENGQUIMICASANTOSSP, 2018

O primeiro motor à combustão interna foi demonstrado em 1885, mas apenas a partir dos anos 1890 que a indústria de automóveis iniciou seu desenvolvimento. Naquela época, o mercado norte-americano se dividia principalmente entre os elétricos e os à vapor. Em 1899, foram vendidos 1.575 automóveis elétricos, 1.681 a vapor e 936 a gasolina (COWAN e HULTÉN, 1996).

Em 1901, foi desenvolvida a bateria de níquel-ferro pelo inventor Thomas Edison, que possuía interesse direto no potencial dos veículos elétricos. Essa nova bateria tinha capacidade 40% maior que a das baterias de chumbo, porém com custo mais elevado. Já nessa época, as baterias eram consideradas um ponto fraco dos automóveis elétricos (BARAN, 2012).

O declínio dos carros elétricos a partir de então se deveu principalmente aos seguintes fatores (EIA DOE, 2009):

i) nos anos 1920, as rodovias dos E.U.A. já interconectavam diversas cidades, o que demandava veículos capazes de percorrer longas distâncias;

ii) as descobertas de petróleo no Texas permitiram a redução do preço da gasolina;

iii) em 1912, foi criado um dispositivo que eliminou a manivela, até então utilizada para dar a partida nos veículos a gasolina;

iv) o sistema de produção em série de automóveis, desenvolvido por Henry Ford, permitiu que o preço final dos carros a gasolina ficasse entre USD \$500 e \$1.000, a metade do preço dos elétricos.

Após os anos 1920, o motor de combustão interna (MCI) passou a ser nitidamente a tecnologia dominante. Em 1924, foram produzidos nos E.U.A. 381 veículos elétricos e 3.185.490 a gasolina (COWAN E HOLTÉN, 1996). Os veículos elétricos passaram a ser produzidos em escala muito pequena, sendo utilizados basicamente para coleta municipal de lixo e serviço de entregas em algumas cidades dos E.U.A e Reino Unido. Foram observados alguns picos de produção nestes dois países durante a Primeira e a Segunda Guerras, quando o racionamento de gasolina e diesel forçou a busca por fontes de energia alternativas ao petróleo. No Japão do pós-guerra, o carro elétrico tornou-se bastante popular também devido ao racionamento de combustíveis, mas sua produção foi descontinuada na década de 1950, quando o racionamento cessou (BARAN, 2012).

De acordo com Baran (2012), os veículos elétricos apenas começaram a retornar ao cenário mundial após a década de 1960, quando a opinião pública começou a se voltar para as questões ambientais, uma vez que os veículos à combustão eram considerados a principal fonte de poluição urbana.

Já nos anos 1970, um dos principais motivadores para o retorno do veículo elétrico ao mercado foi a crise do petróleo, causada pelo embargo de produtores de petróleo, o que apontou a necessidade de se desenvolverem alternativas tecnológicas para geração de energia. No entanto, mesmo com tais incentivos, os protótipos desenvolvidos naquela época nunca chegaram às linhas de produção.

Ainda na década de 1970, um estudo realizado na França por um grupo de grandes empresas, lideradas pela geradora de energia EdF com apoio financeiro do estado, concluiu que era impossível atender a demanda com a tecnologia de bateria então existente, postergando a criação efetiva de um mercado para carros elétricos.

No fim da década de 1990 e início dos anos 2000, após consecutivos planos de incentivo e normas regulatórias de governos, somados a pesquisas de desenvolvimento de empresas do ramo automotivo, empresas como a Toyota e a Honda começaram a lançar veículos elétricos e híbridos com preços e propostas viáveis nos mercados japonês e norte americano, sendo seguidas por demais marcas nos anos seguintes.

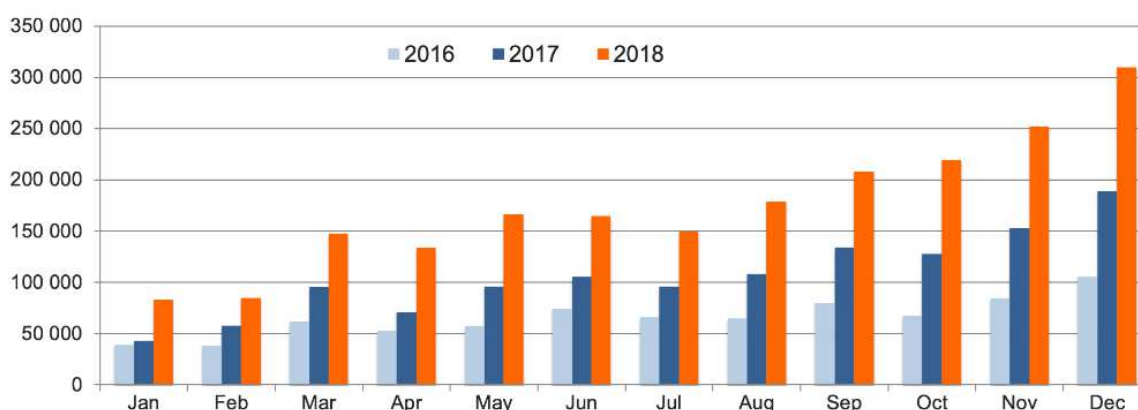
Em 2007, o governo norte-americano promulgou o *Energy Independence and Security Act*, programa que fomentou a pesquisa e o desenvolvimento de um sistema de transporte elétrico e formação de pessoas especializadas em veículos elétricos e suas tecnologias entre os anos de 2008 e 2013, somados a um incentivo aos fabricantes até o ano de 2020 (BARAN, 2012).

Já em julho de 2009 foi promulgado o *American Clean Energy and Security Act*, que tinha como objetivo o desenvolvimento de *smart grids* integradas, com suporte aos VHEP (Veículos Híbridos Elétricos Plug-in), bem como o aumento ao incentivo aos fabricantes que se dedicassem ao desenvolvimento de veículos híbridos (BARAN, 2012).

5.2. O CARRO ELÉTRICO E O CENÁRIO ATUAL

Os veículos elétricos estão cada vez mais presentes nas ruas, tomando uma fatia maior do mercado a cada ano, como pode ser visto no gráfico 12 de vendas globais de veículos elétricos nos anos de 2016 a 2018.

Gráfico 12: Volume mensal de vendas de veículos plug-in no mundo



Fonte: EV-VOLUMES, 2019

Pelo gráfico 12 é possível visualizar o constante crescimento nas vendas de veículos elétricos pelo mundo, na maioria dos casos mais que dobrando o volume de vendas em 2018 quando comparado ao mesmo período de 2016, deixando claro que a introdução dos veículos elétricos no mercado já é uma realidade.

5.3. TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos podem ser divididos em categorias de acordo com a configuração do sistema propulsor. Neste estudo, são consideradas as seguintes categorias:

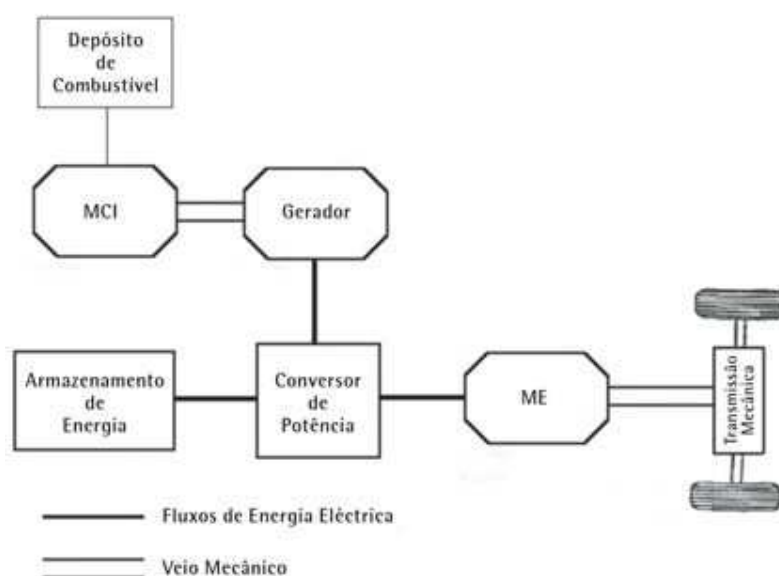
- VEH – Veículo Elétrico Híbrido;
- VHEP – Veículo Híbrido Elétrico Plug-in;
- VEB – Veículo Elétrico a Bateria.

5.3.1. VEH – Veículo Elétrico Híbrido

Esse tipo de veículo elétrico é constituído por, pelo menos, um motor à combustão interna (tratado daqui em diante como MCI), um motor elétrico (ME) e uma bateria capaz de armazenar a energia gerada pelo MCI ou recuperada por um sistema de frenagem regenerativa e fornecê-la ao motor elétrico. Os VEHs podem ser divididos em três configurações:

- i) VEH em série: Apenas o motor elétrico traciona as rodas, sendo o MCI ligado a um gerador que alimenta as baterias do motor elétrico. O esquema de funcionamento é apresentado na figura 3;

Figura 3: Esquema de veículo elétrico híbrido com configuração em série

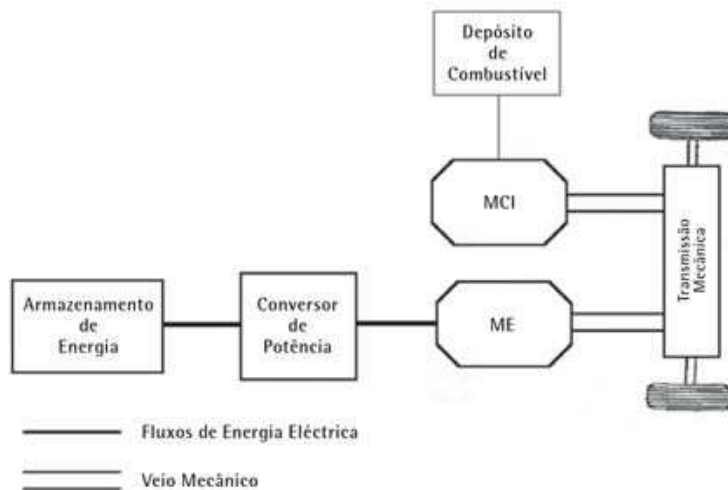


Fonte: VOLTIMUM, 2014

- ii) VEH em paralelo: Configuração na qual tanto o MCI quanto o ME podem tracionar o veículo. Ambos os motores se encontram conectados ao sistema de transmissão às rodas (POLLET et al., 2012). Nesta configuração a recarga da bateria acontece quando o MCI fornece energia superior à necessária para movimentar o carro (BORBA, 2012). No caso do híbrido em paralelo, a bateria também pode ser carregada por meio do sistema de frenagem regenerativa

(BRAJTERMAN, 2016). O esquema de funcionamento é representado na figura 4.

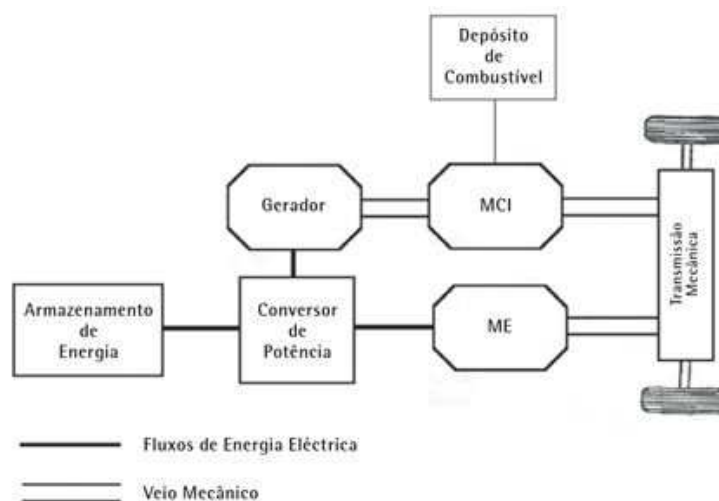
Figura 4: Esquema de veículo elétrico híbrido com configuração em paralelo



Fonte: VOLTIMUM, 2014

- iii) VEH misto ou série-paralelo: Nesta configuração, assim como na configuração paralela, tanto o MCI quanto o ME estão conectados à transmissão, porém o MCI pode se desconectar da transmissão e fornecer energia para a bateria do motor elétrico através do gerador, como no modo série (SIMON 2013, BORBA, 2012). A figura 5 apresenta o esquema de funcionamento desta configuração.

Figura 5: Esquema de veículo elétrico híbrido com configuração em configuração mista



Fonte: VOLTIMUM, 2014

5.3.2. VHEP – Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in*

Os veículos elétricos híbridos plug-in, ou VHEP, assim como os VEHs, possuem um MCI, um motor elétrico e uma bateria com maior capacidade de armazenamento de energia que as utilizadas nos VEHs. A sua configuração pode ser tanto série quanto paralelo.

A grande diferença deste tipo de veículo elétrico está no fato de ele poder ser conectado à rede para recarregar a bateria, ao contrário do VEH que só pode ter sua bateria recarregada pela energia gerada pelo MCI ou pela energia recuperada por sistemas de frenagem regenerativa.

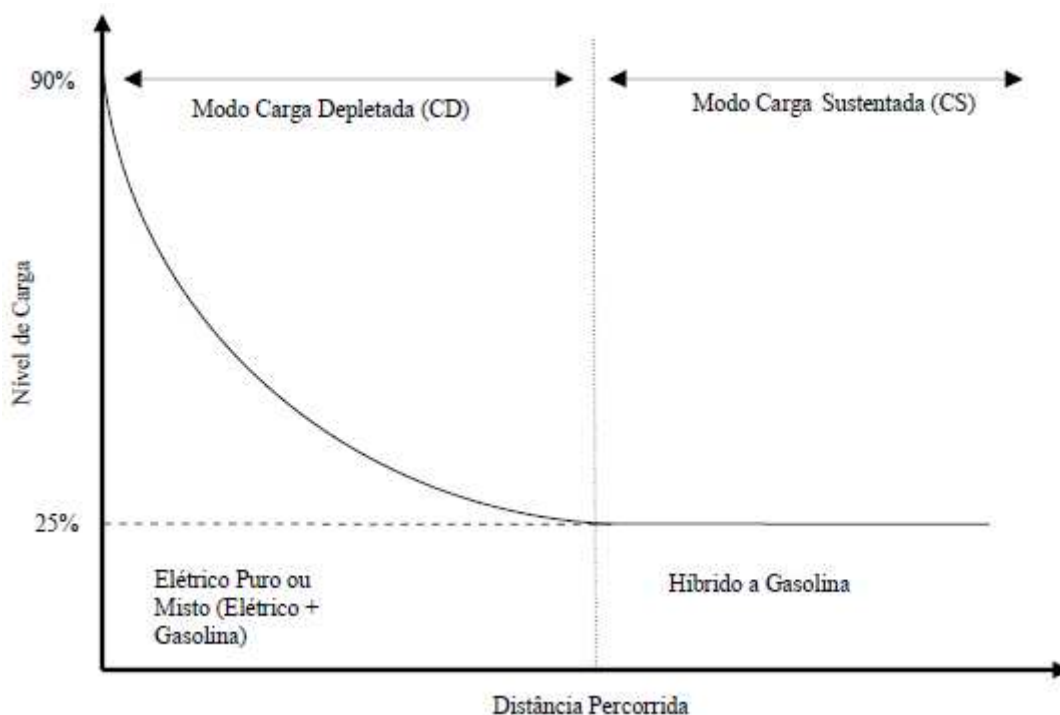
Os VHEPs podem operar de quatro maneiras, são elas:

- i) Modo de sustentação de carga: Modo que se assemelha ao funcionamento dos VEHs, onde a bateria se mantém em um nível praticamente constante, hora fornecendo energia para o ME, hora sendo recarregada pelo MCI ou sistema regenerativo (BRADLEY e FRANK, 2009).

- ii) Modo de depleção de carga: Neste modo, o veículo opera em ciclos de grande consumo da bateria, podendo o MCI estar ou não em operação (BRADLEY e FRANK, 2009).
- iii) Modo veículo elétrico a bateria: Modo em que o veículo opera apenas com a tração do ME (OSÓRIO, 2013), com a energia apenas da bateria, estando o MCI impedido de entrar em operação (BRAJTERMAN, 2016).
- iv) Modo MCI: Modo em que o veículo funciona basicamente como um veículo convencional, com motor a combustão, sem a intervenção do motor elétrico (OSÓRIO, 2013).

No gráfico 13, podem ser observados dois modos de operação, o modo de depleção de carga, à esquerda, e o modo de sustentação de carga, à direita.

Gráfico 13: Ciclos de descarga típicos



Fonte: BARAN, 2012

5.3.3. VEB – Veículo Elétrico a Bateria

Nos veículos a bateria, o sistema propulsor é composto apenas pelo motor elétrico e a bateria, sem o auxílio de um motor a combustão para tracionar o veículo, nem mesmo para fazer a recarga das baterias. Nesta configuração de veículo elétrico, a recarga se dá através da conexão do veículo à rede elétrica e da recuperação de energia por sistema de frenagem regenerativa. Sua operação segue o modo de depleção de carga (BRAJTERMAN,2016).

Esta é uma configuração que apresenta a vantagem de ser um veículo com zero emissão de GEEs (caso a energia para abastecê-lo seja proveniente de fontes limpas), porém apresenta a desvantagem de possuir uma baixa autonomia quando comparados aos veículos convencionais ou híbridos, uma vez que sua única fonte de energia são as baterias de íon-Lítio. A tecnologia atual para bateria de veículos elétricos permite uma autonomia de 20 a 160 km por carga, enquanto que os veículos convencionais apresentam uma autonomia de aproximadamente 500 km (IEA 2011, BORBA, 2012).

5.4. BATERIAS

As baterias são um ponto chave quando se trata de veículos elétricos, pois basicamente serão elas que determinarão a autonomia do veículo e até mesmo a sua potência. Com o crescimento que já pode ser observado no mercado de VEs, cada vez mais se fazem necessárias as pesquisas para desenvolvimento e melhorias nas baterias que serão utilizadas para mover os veículos do futuro. É o caso de laboratórios como o USABC e o consórcio de fabricantes de baterias dos EUA que, segundo Osório et al (2013), trabalham em equipe para obter cada vez mais melhorias na evolução da tecnologia das baterias dos VEs, obtendo assim resultados que poderão contribuir de forma significativa no desenvolvimento sustentável do setor de transporte e promover melhorias ambientais.

Uma bateria é tipicamente composta por células eletroquímicas unidas entre si, cada célula sendo composta por um eletrodo negativo e um eletrodo positivo,

conectados por um eletrólito. A função da bateria é converter a energia química armazenada em energia elétrica (OSÓRIO, 2013).

As baterias utilizadas em veículos elétricos são baterias recarregáveis, ou seja, elas podem inverter a reação química por inversão da corrente. As especificações dessas baterias dependem dos materiais utilizados para os eletrodos e eletrólitos (OSÓRIO, 2013).

As características básicas das baterias são:

- i) Energia específica: é expressa como a quantidade de energia que pode ser armazenada na bateria por unidade de massa, ou kWh/Kg;
- ii) Potência específica: é a potência fornecida por unidade de massa, ou kW/Kg;
- iii) Tempo de vida útil da bateria, que consiste no número de ciclos de carga/descarga que ela pode ser submetida (OSÓRIO, 2013).

A potência de uma bateria é a taxa com que ela fornece energia, fazendo uma analogia com os veículos com motor a combustão interna, a taxa de transferência de potência seria a quantidade de gasolina que é enviada ao motor, ou seja, quanto mais se acelera, mais gasolina é fornecida para queima, liberando maior potência ao motor, e conseqüentemente maior consumo. A potência da bateria é um fator crítico para os automóveis elétricos, cuja performance é limitada por quantos kW a bateria é capaz de fornecer (BARAN, 2012).

A capacidade de armazenamento de uma bateria é o que determina a distância máxima que pode ser percorrida por um veículo elétrico. Sendo importante frisar que o modo de condução também é um fator determinante na autonomia de um VE.

Com o intuito de aumentar a sua vida útil, as baterias utilizadas nos VEs nunca têm sua capacidade máxima de energia disponível para uso. Utilizando o gráfico 14 como exemplo, é possível observar que a bateria inicia seu ciclo em 90% e tem seu nível mínimo de operação em 25%, ou seja, apenas 65% de sua capacidade está disponível para uso, sendo esta fração conhecida como grau de descarga (BARAN, 2012).

Existem diversas tecnologias de bateria hoje no mercado, cada uma com características próprias desde as já mencionadas potências específicas e energia específica, até características como custo e tensão (BRAJTERMAN, 2016).

As primeiras baterias utilizadas em veículos elétricos foram as de Chumbo-Ácido, que tem como característica o baixo preço e baixa energia específica quando comparadas às outras tecnologias mais modernas (OSÓRIO, 2013). Estas baterias são as mais conhecidas e tinham, até 2012, maior aplicação (BORBA, 2012).

Atualmente as baterias de hidreto metálico de níquel (Ni-Mh) e a íon de lítio (Li-Íon) são as principais tecnologias de bateria utilizadas (Pollet et al., 2012). As baterias de Ni-Mh têm a seu favor a boa potência e energia específicas, chegando a 1.500 W/Kg e 100 Wh/Kg respectivamente, e uma vida útil de 1.000 ciclos (BORBA, 2012). Porém as baterias dadas como as mais promissoras atualmente são as de Li-Íon, que apesar do alto preço, apresentam características ainda melhores que as baterias de Ni-Mh, como pode ser observado no quadro 7.

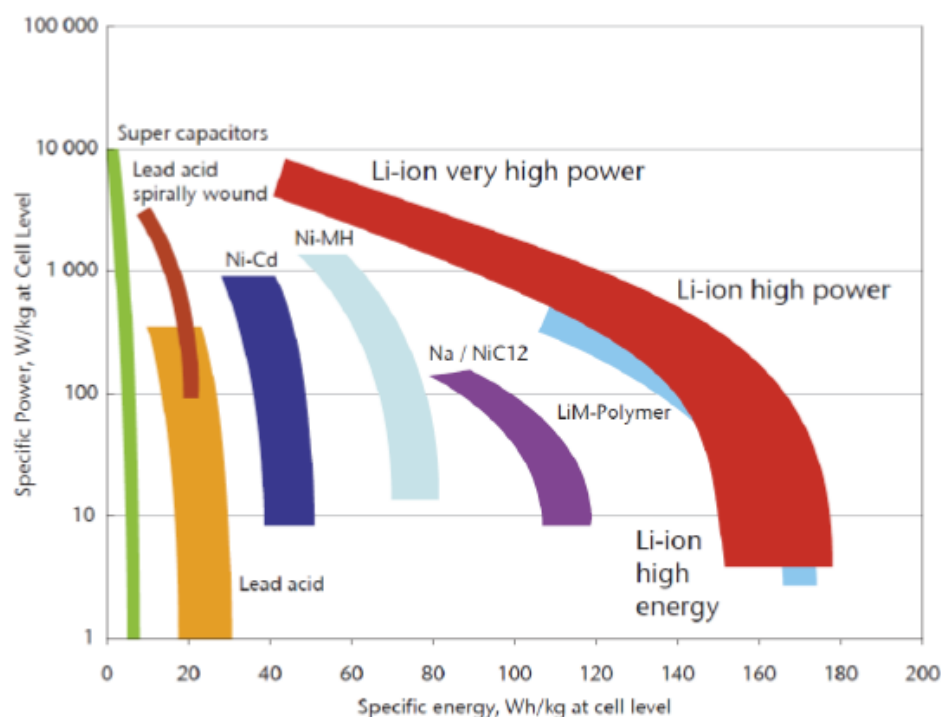
Quadro 7: Características dos principais tipos de baterias

	Pb	Ni - Cd	Ni - Mh	Li - Ion
Custo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Energia Específica Mássica (Wh/kg)	30 – 50	50 – 80	40 – 100	160
Tensão por célula (V)	2,00	1,25	1,25	3,60
Corrente de Carga	Baixa	Muito Baixa	Moderada	Alta
Número de Ciclos (carga/descarga)	200 - 500	1.000	1.000	1.200
Autodescarga por Mês (% do total)	Baixa (5%)	Moderada (20%)	Alta (30%)	Baixa (10%)
Tempo Mínimo para Carga (h)	8 – 16	1 – 1,5	2 – 4	2 – 4

FONTE: BORBA, 2012

A figura 6 apresenta diferentes baterias e suas respectivas energias e potências específicas.

Figura 6: Energia específica e potência específica de diferentes tipos de baterias



Fonte: IEA, 2011

Em vista que os VHEPs não dependem exclusivamente das baterias como fonte de energia para propulsão, suas baterias não necessitam de uma grande densidade de energia, e sim de uma boa capacidade de armazenagem de energia, já que a constante recarga de suas baterias pelo MCI faz parte do seu princípio de funcionamento. Já os VEBs, que dependem exclusivamente da energia armazenada em suas baterias, necessitam de baterias com maior densidade de energia, sendo assim, as baterias dos VHEPs giram em torno de 5-15 kWh enquanto que as voltadas aos VEBs têm capacidade de 25-40 kWh (BRAJTERMAN, 2016).

Entretanto, ao pesquisar diversas publicações fica claro que não há um consenso entre os autores quanto a um valor exato de capacidade de carga das baterias dos VEBs e VHEPs, até porque já existem diversos modelos disponíveis no mercado, com diferentes características. É por isso que, para os cálculos do capítulo 7, este estudo considerará os quadros 8 e 9, retiradas e adaptadas do artigo “Veículos elétricos e a geração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos”, de Silva et al, para apresentar dados reais de alguns dos modelos de VEBs e VHEPs disponíveis no mercado atual, respectivamente.

Quadro 8: Consumo dos veículos elétricos a bateria

Modelo	Consumo de energia em 100 km	Capacidade da bateria	Autonomia
Mia Electric	10,0 kWh	8,0 kWh	80 km
Lumeo Neoma	10,1 kWh	14,2 kWh	140 km
Renault Zoé	10,5 kWh	22,0 kWh	210 km
Citroën C-Zéro	10,7 kWh	16,0 kWh	150 km
Renault Fluence Z.E	11,9 kWh	22,0 kWh	185 km
Bolloré Bluecar	12,0 kWh	30,0 kWh	250 km
Smart Fortwo E.D.	12,1 kWh	17,6 kWh	145 km
Renault Kangoo Z.E.	12,9 kWh	20,0 kWh	170 km
Nissan Leaf	13,7 kWh	24,0 kWh	175 km
Ford Focus EV	14,3 kWh	23,0 kWh	160 km
FAM F-City	14,4 kWh	14,4 kWh	100 km
Tesla Roadster	15,1 kWh	53,0 kWh	350 km
Tesla S	19,9 kWh	85,0 kWh	426 km
Renault Twizy 45	5,1 kWh	6,1 kWh	120 km
Mega City	9,0 kWh	9,0 kWh	100 km
Little 4	11,0 kWh	11,0 kWh	100 km
Volteis X4	19,1 kWh	14,5 kWh	60 km

Fonte: Adaptado de SILVA-et-al

Quadro 9: Consumo dos veículos híbridos elétricos Plug-in

Modelo	Consumo de energia em 100 km	Capacidade da bateria	Autonomia
Toyota Prius plug-in	12,32 kWh	4,44 kWh	25 km
Chevrolet Volt	14,00 kWh	16,00 kWh	80 km
Fisker Karma	21,40 kWh	21,1 kWh	80 km

Fonte: Adaptado de SILVA-et-al

5.5. FORMAS DE RECARGA DOS VEÍCULOS

As baterias dos VEBs e VHEPs podem ser recarregadas de duas maneiras: recarga indutiva e recarga condutiva. A recarga indutiva funciona sem a necessidade de conexões físicas de cabos entre a bateria do veículo e a rede de energia, utilizando-se do mesmo princípio de transferência de energia visto em transformadores, conhecido como indução eletromagnética. Já a recarga condutiva utiliza conexão física do veículo à rede, sendo esta a mais utilizada para veículos elétricos (SIMON, 2013).

O fator chave quando se trata de recarga de veículos elétricos é a potência que será entregue às baterias pela rede, essa potência será dada em função da tensão e corrente da rede na qual o veículo estiver conectado (OSÓRIO, 2013).

Existem três tipos de recarga: recarga lenta (monofásica), rápida (trifásica) e ultra-rápida (trifásica ou corrente contínua) (BRAJTERMAN, 2016).

A recarga lenta é feita em tomadas residenciais padrão, cuja tensão da rede de distribuição trifásica varia de acordo com o padrão de cada país, sendo de 380/220 e 220/127 V no Brasil. Esse tipo de recarga pode ser suficiente para boa parte dos usuários de VHEPs, porém usuários de VEBs necessitariam de recargas de maior potência (BRAJTERMAN, 2016).

De acordo com Osório (2013), o laboratório de pesquisas EPRI, em estudo que avaliou o impacto da conexão dos veículos elétricos na rede, demonstrou que um veículo conectado em uma tensão de 120 VAC, com corrente de 15 A, teria uma taxa de carregamento média de 1,4 kW. Já uma conexão que utiliza tensão de 208/240 VAC e corrente de 30 A apresenta uma taxa de carregamento média de 6 kW.

A recarga rápida utiliza ligação fase-fase e pode ser dividida em dois sub-níveis: baixo, com corrente entre 10 e 20 A, e alto, com correntes mais elevadas (BORBA, 2012). Este modelo de recarga necessita de um sistema de distribuição trifásico e também pode ser instalado em residências e áreas comerciais. A potência de recarga neste sistema pode atingir entre 10 e 20 kW (BRAJTERMAN, 2016).

Já a recarga ultra-rápida, que pode ser em sistema trifásico de corrente alternada ou em sistemas de corrente contínua, necessita de carregadores externos, devido ao tamanho dos carregadores, e de um sistema para arrefecimento devido à alta potência empregada pelo sistema. Este tipo de recarga pode atingir mais de 50 kW e tem como ponto forte o reduzido tempo de recarga, porém apresenta um índice de perdas que pode atingir até 40% devido à energia utilizada nos sistemas de arrefecimento da bateria, contra os apenas 10% de perdas das recargas em tomadas residenciais comuns (BRAJTERMAN, 2016).

Segundo Borba (2012), o nível de potência exigido pelos sistemas de recarga ultra-rápida está além da capacidade de transformadores residenciais e de alguns

transformadores de áreas comerciais, o que implica na necessidade de reforços na rede elétrica nas regiões onde este tipo de recarga será instalada.

O tempo que um veículo elétrico leva para ser carregado por completo depende da potência de recarga do sistema no qual está conectado e também da capacidade de sua bateria (kWh) (OSÓRIO, 2013).

No quadro 10, Borba (2012) divide os três níveis de recarga em cinco métodos e resume suas especificações como demonstrado.

Quadro 10: Formas de recarga

Método	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (kW)
Nível 1	127 CA	10 - 20	1,2 - 2,5
Nível 2 (baixo)	220 CA	10 - 20	2,2 - 4,4
Nível 2 (alto)	220 CA	< 80	< 18
Nível 3 (CA)	< 600 trifásico		15 - 96
Nível 3 (CC)	600 CC		< 240

Fonte: BORBA, 2012

5.6. SMART GRIDS E A TECNOLOGIA V2G (VEHICLE-TO-GRID)

As fontes renováveis de eletricidade são consideradas como protagonistas no combate às emissões de gases de efeito estufa, porém uma das principais barreiras à implantação destas fontes, tais como a energia eólica e a solar, corresponde à insegurança que elas impõem ao sistema, pois a oferta aleatória de eletricidade dificilmente coincide perfeitamente com o padrão de demanda (BRAJTERMAN, 2016).

A entrada dos veículos elétricos no mercado e sua natureza aleatória de recarga levantam questões quanto ao impacto na rede elétrica do país causado pelo aumento de demanda de energia, gerando uma preocupação de que isso possa gerar um aumento no uso de fontes de energias não renováveis, como o carvão, petróleo e gás, para compensar a demanda de energia elétrica, o que acabaria com o propósito da instalação dos VEs, que é de reduzir a poluição gerada pelos veículos movidos à combustão (OSÓRIO, 2013).

Osório (2013) vê a entrada de energias renováveis, com sua característica intermitente, associada ao conceito de *Smart Grids* como uma forma de solução para essas questões através de um carregamento controlado dos novos VEs que se ligarão ao sistema.

Segundo Brajterman (2016), uma ampla penetração de veículos elétricos geraria problemas ao sistema como a quedas de tensão, sobrecarga de transformadores e linhas de distribuição e transmissão, por isso ela sugere que em situações em que haja perspectiva de introdução de VEs em larga escala deva-se fazer um planejamento da integração destes com o intuito de introduzir uma forma de controle do momento em que a recarga irá ocorrer.

Com o uso de sistemas de controle que garantam que os veículos não possam ser recarregados nos horários de pico de carga, a introdução de novos VEs ao sistema se faz possível sem a necessidade de capacidade de geração ao sistema (VLIET et al, 2010).

Smart Grids são redes de distribuição de energia elétrica que utilizam tecnologia da informação para monitorar e atuar na geração, transmissão, armazenamento e consumo de eletricidade, de forma a gerenciar a oferta e a demanda por energia da forma mais eficiente possível, minimizar custos e impactos ambientais e maximizar a confiabilidade e a estabilidade do sistema. (BARAN, 2012).

As redes de *Smart Grid* envolvem três fatores, são eles:

- i) Instalação de sensores nos pontos de consumo;
- ii) O estabelecimento de um sistema de comunicação de duas vias com ampla cobertura entre os diversos dispositivos e agentes conectados à rede;
- iii) Automação da infraestrutura (BARAN, 2012)

Dentre as diversas características das *Smart Grids* está a sua capacidade de acomodar fontes de energia distribuídas geograficamente, possibilitando que clientes da rede disponibilizem, em pequena escala, energia para a rede (BARAN, 2012). Essa é uma característica importante de se destacar, pois o conceito de V2G envolve a disponibilização da energia armazenada nas baterias dos veículos para a rede.

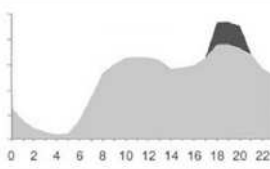
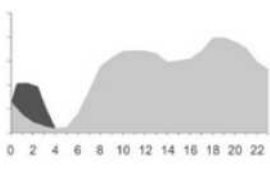
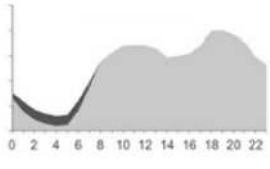
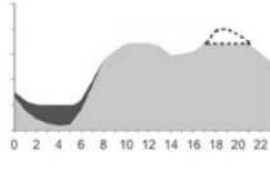
O sistema V2G (*Vehicle-to-Grid*) tem como principal característica o fato de o usuário do veículo tornar-se um possível fornecedor de energia para o sistema, e não só um consumidor. Isto aconteceria através da energia armazenada nas baterias do veículo (BORBA, 2012).

Este sistema aparece como uma opção para estocagem de energia elétrica advinda de fontes renováveis. Uma associação inteligente entre estes novos veículos e as fontes renováveis utilizaria as baterias dos VEs como um *buffer* que absorveria os excessos de eletricidade gerados em momentos de menor demanda (BRAJTERMAN, 2016).

De modo geral, no V2G, a bateria do veículo pode armazenar eletricidade em momentos de excesso de oferta, e suprir esta eletricidade estocada para o sistema em momentos de pico de demanda (IEA, 2012)

O quadro 11 apresenta um resumo das principais vantagens e desvantagens de um sistema de recarga sem controle e de três sistemas de recarga inteligente.

Quadro 11: Vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de integração de veículos elétricos

	Vantagens	Desvantagens
Recarga não controlada	 <ul style="list-style-type: none"> • Simples implementação • Simples para o usuário 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecarga de transformadores e linhas • Desvios de voltagem • Elevação da carga de pico • Elevação da intensidade de CO₂ • Elevação do custo da eletricidade • Necessidade de reforçar a rede
Recarga fora de pico	 <ul style="list-style-type: none"> • Simples implementação • Achatamento do perfil de carga • Maior integração de fontes renováveis intermitentes e estocásticas • Postergação de investimentos na rede 	<ul style="list-style-type: none"> • Desbalanceamento em função de do rápido aumento da demanda de eletricidade consumida por veículos • Possível sobrecarga de transformadores e linhas • Possíveis perdas de tensão • Requer participação do usuário
Recarga inteligente (preenchimento do vale)	 <ul style="list-style-type: none"> • Provisão de serviços auxiliares • Achatamento do perfil de carga • Maior integração de fontes renováveis intermitentes e estocásticas • Postergação de investimentos na rede 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação mais complexa • Necessidade de sistemas de tecnologias da informação (TI) • Requer participação do usuário
Recarga inteligente (economia no pico de carga)	 <ul style="list-style-type: none"> • Provisão de serviços auxiliares • Redução do pico de carga • Integração ótima de fontes renováveis intermitentes e estocásticas • Redução da intensidade de CO₂ • Menos investimentos no reforço da rede 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação muito complexa • Necessidade de sistemas de tecnologias da informação (TI) • Requer participação do usuário • Degradação prematura de baterias em função do fornecimento de energia para a rede (V2G) • Perdas de energia em transmissões entre a rede e a bateria nos dois sentidos

Fonte: BRAJTERMAN, 2016

Conforme pode ser observado no quadro 11, os sistemas de recarga inteligente permitem uma otimização no fornecimento de eletricidade do *grid* para o veículo, além de permitirem que os VEs funcionem como sistemas distribuídos de armazenamento e geração de eletricidade (V2G)

Borba (2012) aponta ainda que diversos estudos concluem que o V2G não é tão adequado à geração de base, mas pode vir a apresentar significativas vantagens para a geração de ponta, reserva girante e serviços de regulação. O V2G é apontado como um sistema que pode auxiliar no atendimento do pico de carga e manter a confiabilidade do sistema. Com estas propriedades, o sistema V2G torna-se interessante no suporte a uma entrada representativa de fontes renováveis de geração intermitentes e estocásticas (BRAJTERMAN, 2016).

6. PROJETOS DE SUBSTITUIÇÃO DE FROTA PELO MUNDO

De acordo com Mello, Marx e Souza (2013), os países estão sob pressão para adotarem práticas mais sustentáveis e que prejudiquem menos o meio ambiente. Fato que agrava esta pressão é a agenda ambiental proposta em acordos internacionais. Assim, as indústrias em geral se encontram em busca de novas tecnologias.

Para Freyssenet (2011), uma nova revolução em relação aos automóveis está por vir e são baseadas em dois pontos. O primeiro ponto é decorrente da contradição entre uma exploração cada vez mais cara do petróleo, um recurso finito, e a crescente necessidade deste produto dos países emergentes. O segundo ponto é resultado das novas tecnologias aplicadas aos motores e os tornam menos dependentes da energia fóssil.

Durante a 21ª Conferência das Partes (COP21), ocorrida na França em 2015, realizada pela Convenção-Quadro das Nações Unidas, conhecida por UNFCCC, foi aprovado o Acordo de Paris pelos 195 países participantes da organização. Este acordo é uma resposta para a ameaça da mudança climática e reforçar as atitudes dos países para enfrentar impactos causados por estas mudanças. Este acordo se baseia na redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa visando o desenvolvimento sustentável. Os chefes de Estado assumiram o compromisso de limitar em 2°C o aumento da temperatura do planeta até 2050 (NOVAIS, 2016).

O Brasil comprometeu-se com a redução nas emissões de gases do efeito estufa em duas etapas. O primeiro marco é no ano de 2025 que reduzirá em 37% o nível de 2005 e o segundo marco é em 2030 que tem como objetivo a redução em 43% abaixo do nível de 2005. Para que estas metas sejam alcançadas está planejada uma série de ações:

- Aumentar a participação da bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para 18%;
- Fortalecer o cumprimento do Código Florestal;
- Restaurar 12 milhões de hectares de florestas;
- Alcançar desmatamento ilegal zero na Amazônia brasileira;

- Chegar à participação de 45% de energias renováveis na matriz energética;
- Obter 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico;
- Promover o uso de tecnologias limpas no setor industrial;
- Estimular medidas de eficiência e infraestrutura no transporte público e áreas urbanas (CEBDS, 2017).

A União Europeia vem nos últimos anos implementando mecanismos para melhorias climáticas. Destacam-se os Pacotes Clima e Energia 2020 e 2030, ambos coordenados pelo DG-CLIMA. O Pacote 2020, também conhecido como 20-20-20 em função dos objetivos fixados, foi apresentado em 2007 e consiste no estabelecimento de três metas comunitárias para a política climática europeia até o ano de 2020. São elas:

1. Redução de 20% das emissões de gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990;
2. Inserção de 20% de fontes renováveis na matriz energética;
3. Incrementar a eficiência energética mediante economia de 20% de energia, tendo 2005 como ano-base (SZUCKO, 2018).

Elaborado em 2014, o Pacote 2030 foi lançado com compromissos ainda mais ambiciosos e com o objetivo de servir de exemplo para as negociações que ocorreram no ano seguinte, na COP21, em Paris. Desse modo, as três novas metas estabelecidas pela União Europeia para serem atingidas até 2030 ampliam o escopo do Pacote 2020 e consistem em:

1. Redução de 40% dos GEE em relação aos níveis de 1990;
2. Aumentar, no mínimo, para 27% de fontes renováveis na matriz energética europeia;
3. Melhorar a eficiência energética, com a economia de, no mínimo, 27% de energia, considerando 2005 como ano-base (SZUCKO, 2018).

6.1. POLÍTICAS PÚBLICAS

As políticas públicas de incentivos para a produção e a aquisição de veículos híbridos e elétricos estão presentes em diversos países nos últimos anos. Estes incentivos atingem inúmeras áreas e podem ser de incentivo fiscal, de natureza financeira e incentivos não-monetários. O incentivo fiscal se baseia em redução de impostos e taxas para que as empresas montadoras tenham custos menores e que consigam reduzir o custo de produção do veículo. O incentivo financeiro tem como objetivo conceder créditos ao preço de venda do produto. Já os incentivos não-monetários podem ser exemplificados como vagas de estacionamentos diferenciados e de mais fácil acesso, isenção de pagamento no pedágio, a liberação do tráfego por faixas exclusivas e pontos de carregamentos gratuitos. Em grandes cidades, onde geralmente o tráfego de veículos é intenso e a oferta de vagas para estacionamento é escassa, os benefícios não-monetários tornam-se relevantes (Vaz et al, 2015).

6.2. POLÍTICAS DE INCENTIVO À OFERTA

Os incentivos que visam atingir a oferta de veículos elétricos iniciam-se no suporte à pesquisa e desenvolvimento destes modelos, como, por exemplo, a busca de melhorias nas baterias, e podem alcançar normas mais rígidas em emissões de poluentes e a padronização do sistema de carga para que o sistema custe menos e seja mais otimizado.

De acordo com dados da IEA (2013), os países desenvolvidos estão investindo em pesquisa e desenvolvimento para dominar e aperfeiçoar a tecnologia dos principais equipamentos pertencentes ao veículo elétrico, tais como a bateria, inversores e motores. Nos EUA, em 2012 foram contabilizados 268 milhões de dólares para pesquisas em baterias, sistemas veiculares e infraestrutura. Na Suécia, cerca de 3 milhões de dólares foram direcionados para estudos sobre baterias.

Já nos países em desenvolvimento, o IEA (2013) destaca o investimento da China em cerca de 1,1 bilhão de dólares para projetos de demonstração e sua viabilidade. Em 2013, na Índia, foi lançado o Plano Nacional de Mobilidade Elétrica 2020, que cria uma relação entre governo e líderes de mercado focados no

desenvolvimento de baterias, sistemas de gerenciamento de cargas e motor elétrico. Já na Coreia do Sul, desde 2004 o governo incentiva o uso de veículos verdes, porém não trouxe resultados imediatos.

6.3. POLÍTICAS DE INCENTIVO À DEMANDA

As políticas públicas para o lado da demanda têm na maior parte da utilização de incentivos financeiros a aplicação de subsídios para a compra dos veículos elétricos e a redução de taxas e impostos ao longo da sua vida útil. Os investimentos e desenvolvimento na infraestrutura de apoio aos veículos elétricos são fundamentais para o aumento de aceitação deste veículo no mercado consumidor e também para as empresas montadoras que tendem a não produzir os veículos elétricos em países que não dispõem da infraestrutura necessária para operá-los (Vaz et al, 2015).

Nos EUA, pode-se citar como incentivo financeiro um crédito de até US\$7,5 mil no valor da venda (de acordo com a capacidade da bateria). Já com foco na infraestrutura, existe um crédito de imposto de 30% (com um limite de US\$ 30 mil) para instalações comerciais de pontos de recarga das baterias ou de até US\$ 1 mil para instalações residenciais (Vaz et al, 2015).

Na Europa, a Alemanha oferece como forma de incentivo a isenção nas taxas de licenciamentos destes veículos por 10 anos. A Espanha fornece subsídios de até 25% no preço do veículo antes da aplicação dos impostos (limitados em cerca de US\$ 7 mil). A Finlândia destinou cerca de US\$ 6 milhões para o programa nacional de desenvolvimento de veículos elétrico e mais US\$ 6 milhões destinados à infraestrutura no mesmo programa nacional. A Noruega, considerada uma referência em políticas públicas neste âmbito, fornece isenção de impostos de compra (IVA), isenção de impostos de importação para veículos elétricos puros além da isenção do licenciamento. O governo norueguês investiu para construção de dois mil pontos de recargas, aportando mais de US\$ 8 milhões (Vergis et al, 2014).

Na Ásia, a China oferece subsídios de até US\$ 10 mil para compra de veículos elétricos. Já no Japão, existe a isenção de taxas de aquisição e sobre o peso do veículo além de incentivos de até US\$ 8 mil para compra de veículos híbridos e puros.

O Japão ainda oferece apoio de até 50% do custo do equipamento de recarga (limite de aproximadamente US\$ 12 mil).

Para complementar os incentivos, tem-se os incentivos considerados não-monetários e estes estão sendo adotados pelos governos. Estas medidas cumprem papel relevantes nos locais implementados e podem servir de base para adaptações específicas para outras localidades.

Nos EUA, os benefícios da utilização dos veículos elétricos têm variação de estado para estado. Podem ser citados a utilização de faixas preferenciais, descontos nos seguros dos automóveis, estacionamento grátis em grandes cidades, desconto na tarifa de recarga e isenção da inspeção anual veicular (TESLA, 2014).

Na Europa, em específico na Alemanha, os veículos elétricos têm estacionamentos grátis, vagas reservadas e podem utilizar as faixas exclusivas de ônibus. A Noruega oferece estacionamento grátis, vagas reservadas e isenção de pedágios em todas as rodovias. A Suécia proporciona a isenção da taxa de circulação na região central de Estocolmo, a utilização de setenta pontos de recargas sem custo aos proprietários e áreas de estacionamento grátis em Arlanda e Gotemburgo (Vergis et al, 2014).

7. DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS

Para demonstrar os efeitos que a implantação de veículos elétricos terá sobre a matriz elétrica brasileira, este capítulo tem como objetivo a elaboração de cenários nos quais serão considerados os dados apresentados nos capítulos anteriores, bem como outros dados pertinentes, tais como:

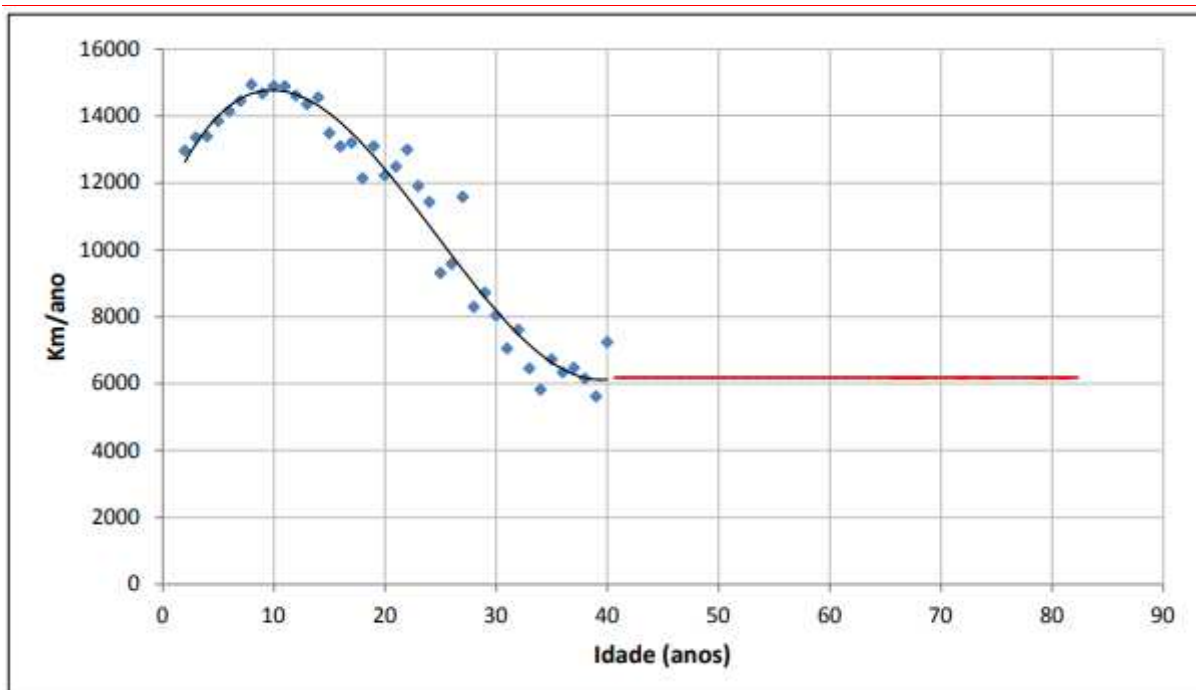
- Geração e consumo atual de energia no Brasil;
- Projeção do aumento da geração de energia;
- Energia média demandada e eficiência energética de veículos elétricos;
- Métodos de recarga de veículos elétricos;
- Pesquisas sobre o futuro da frota nacional de veículos;
- Utilização do *V2G* e *Smart-Grid*.

São elaborados três cenários, todos baseados no ano de 2040, nos quais serão consideradas diferentes parcelas de veículos elétricos na frota nacional de veículos leves.

7.1. DISTÂNCIA MÉDIA DE PERCURSO

A distância média percorrida por dia pelos veículos elétricos utilizada nos cenários seguiu de acordo com o estudo da Cetesb sobre intensidade de uso de veículos automotores. Este estudo apresenta diferentes valores de uso dos veículos à combustão, na cidade de São Paulo, de acordo com a idade do veículo, conforme apresentado no gráfico 14.

Gráfico 14: Intensidade de uso dos automóveis à combustão.



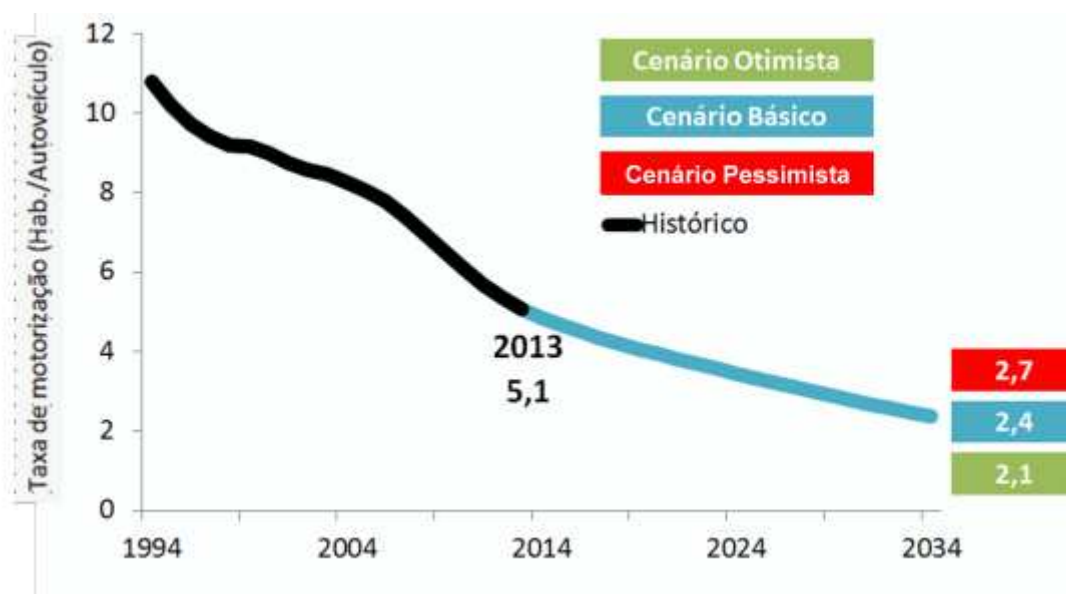
Fonte: CETESB, 2013

Como os veículos elétricos considerados no estudo estão abaixo dos 20 anos de idade, o valor de 14 mil quilômetros por ano foi utilizado como uma estimativa de uso dos VEs, o que resulta em cerca de 38,36 km/dia.

7.2. TAMANHO DA FROTA NACIONAL EM 2040

Segundo estudo da ANFAVEA, a taxa de motorização no Brasil em 2034 será de 2,4 habitantes por veículo, como mostra o gráfico 15. Levando em consideração a taxa de motorização em 2034 e a taxa de 2013, que era de 5,1, é possível extrapolar este valor para 2040 seguindo a tendência de queda anual da taxa, que é de aproximadamente 0,129. Desta forma, a estimativa para 2040 é de que haja um carro para cada 1,63 habitante no Brasil.

Gráfico 15: Taxa da motorização no Brasil, histórico e previsão.



Fonte: ANFAVEA, 2014

Como em 2040 o IBGE estima que a população brasileira será de pouco mais de 228 milhões de pessoas, a frota de veículos deve ficar em cerca de 139,88 milhões de carros.

O relatório anual da Bloomberg sobre veículos elétricos, conhecido como *Electric Vehicle Outlook*, em sua edição de 2019, estima que no ano de 2040 33% da frota global de veículos será elétrica, sendo a maior parte desta fatia formada por veículos puramente elétricos e uma pequena parcela formada por veículos elétricos híbridos *plug-in*, porém o estudo não especifica qual será esta proporção, sendo assim, este estudo considera uma participação de 10% de veículos híbridos *plug-in* na frota de elétricos para todos os cenários.

Esta projeção da Bloomberg, obviamente, é uma média entre países desenvolvidos e menos desenvolvidos. Por questões de deficiência de infraestrutura e investimento para o setor, o Brasil deverá ficar abaixo desta média, porém este valor estimado pela Bloomberg será considerado em um dos cenários como base de estudo.

7.3. DADOS TÉCNICOS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS CONSIDERADOS

Por se tratar de uma análise futura, não se sabe qual será a tecnologia das baterias dos VEs do futuro, por isso são utilizados os dados de desempenho dos VEs disponíveis atualmente no mercado.

Os valores de base de capacidade energética e consumo de energia dos VEBs a serem considerados é uma média dos valores apresentados no quadro 8, conforme quadro 12:

Quadro 12 – Consumo e capacidade de carga dos VEBs

Veículo	Consumo por 100 km	Capacidade da bateria
VEB médio	12,46 kWh	22,93 kWh

Fonte: Os autores

Já os valores de base de capacidade energética e consumo de energia dos VHEPs a serem considerados é uma média dos valores apresentados no quadro 9, conforme quadro 13:

Quadro 13 - Consumo e capacidade de carga dos VHEPs

Veículo	Consumo por 100 km	Capacidade da bateria
VHEP médio	15,91 kWh	13,85 kWh

Fonte: Os autores

7.4. TIPOS DE RECARGA

No item 5.5 foram apresentados diversos tipos de recarga possíveis para as baterias de VEs plugáveis, com várias tensões e potências disponíveis.

Para a elaboração de cenários, são considerados apenas dois tipos de recarga para a análise dos impactos à rede. Serão consideradas as recargas de 2kW em 127V e 10kW em 220V, ambas com perdas de 10%. A escolha destas configurações de recarga é devido a estas serem as mais comuns e plausíveis de estarem nas casas de todos os futuros proprietários de veículos elétricos.

7.5. CENÁRIOS

A análise dos cenários acontecerá da seguinte forma:

- i) O quadro 14, que foi utilizado em todos os cenários, apresenta os dados de distância média percorrida por dia por veículo e a média de consumo de cada veículo. Com tais dados, é feito o cálculo de energia que cada VE demanda diariamente. No quadro também é apresentado o tempo que cada tipo de recarga levaria para fornecer a quantidade de energia gasta pelo veículo por dia, considerando uma perda de 10% na recarga;

Quadro 14 – Dados para criação de cenários.

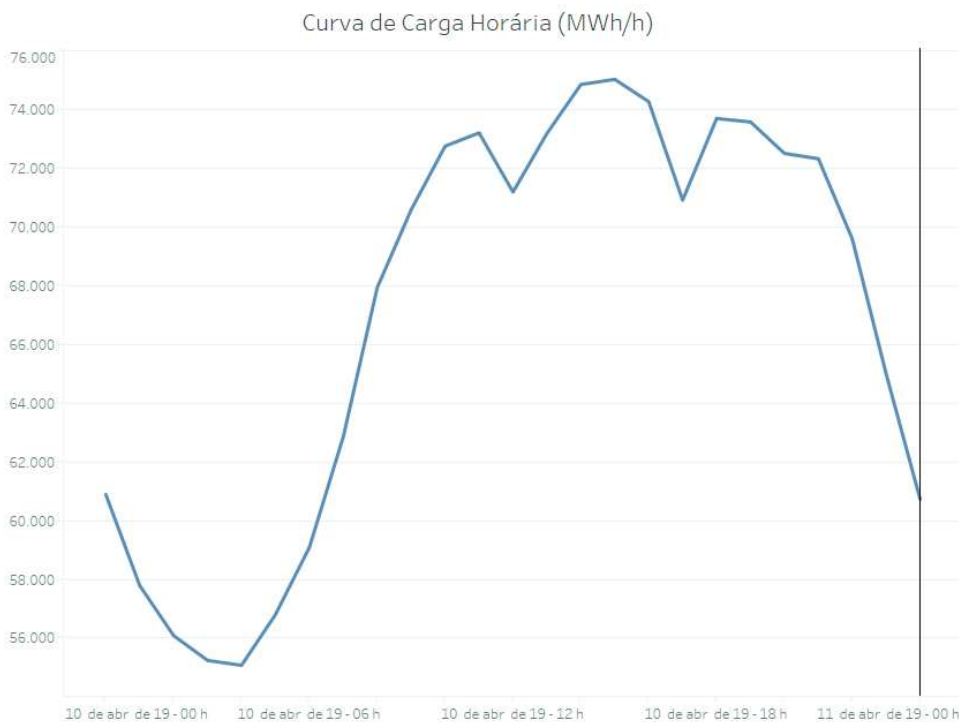
Tipo de VE	km/dia	kWh/100km	Demanda diária por veículo em kWh	Tempo de recarga em horas	
				2kW - 10% de perdas	10kW - 10% de perdas
VEB	38,36	12,46	4,78	2,66	0,53
VHEP	38,36	15,91	6,10	3,39	0,68

Fonte: Os autores

- ii) Cada cenário apresentará um quadro com:
- As quantidades estimadas de VEBs e VHEPs na frota nacional, com base no percentual de VEs escolhido para o cenário, tomando como base a estimativa total da frota de 139,88 milhões de veículos;
 - Quantidade de energia total demandada diariamente pela frota em MWh, considerando a perda de 10% para recarga das baterias;
 - Pico de potência demandada do sistema em um pior cenário possível, em que todos os veículos seriam plugados ao mesmo tempo à rede, considerando as duas formas de recarga;
 - Elevação na demanda de potência caso as recargas aconteçam de forma distribuída ao longo do dia.
- iii) Os dados obtidos serão comentados para cada situação. O perfil da curva de carga horária do dia 10 de abril de 2019, mostrada no gráfico 16, será utilizado como base para os comentários, pois, mesmo sabendo

que haverá um aumento de demanda até 2040, esta curva é válida para demonstrar as variações de demanda ao longo de um dia.

Gráfico 16 - Curva de carga horária do dia 10 de abril de 2019.



Fonte: ONS, 2019

7.5.1. CENÁRIO 1

Este primeiro cenário considera uma parcela de 20% da frota como sendo de veículos elétricos. É o cenário mais conservador apresentado neste estudo

O quadro 15 apresenta os dados pertinentes a este cenário. Pelos dados apresentados no quadro 15 e no quadro 14, as seguintes análises podem ser feitas:

Quadro 15 – Cálculos para o cenário 1.

Cenário 20%		Número de veículos	Demanda diária total em MWh	Pico em MW		Aumento de demanda ao longo do dia em MW
				Recarga 2kW	Recarga 10kW	
VEBs	0,18	25.178.400	133.715,66	50.356,80	251.784,00	5.571,49
VHEPs	0,02	2.797.600	18.971,07	5.595,20	27.976,00	790,46
Total		27.976.000	152.686,73	55.952,00	279.760,00	6.361,95

Fonte: Os autores

- 1) Caso todos os veículos sejam plugados à rede ao mesmo tempo, no método de recarga de 2 kW, um pico de demanda de quase 56 GW ocorreria no sistema por cerca de 2 horas e 40 minutos. De todos os cenários a serem analisados, este é o caso onde a coincidência de recarga de toda a frota em um mesmo instante geraria o menor pico de demanda, e mesmo assim este valor já se mostra extremamente elevado, pois, analisando a curva horária do gráfico 17, mesmo que este pico ocorresse no momento de menor demanda a potência exigida do sistema ultrapassaria os 110 GW, valor que hoje corresponde à aproximadamente 65% da potência instalada na matriz elétrica nacional.
- 2) Caso seja empregado o método de recarga de 10 kW, a coincidência de recarga de toda a frota em um mesmo instante geraria um pico de demanda de praticamente 280 GW durante pouco mais de 30 minutos, o que, sozinho, se aproximaria muito de toda a capacidade instalada estimada para 2040, que é de 295.304 MW.
- 3) A utilização de redes inteligentes para controlar o momento de recarga dos VEs no sistema faria com que a demanda fosse diluída no sistema ao longo do dia, gerando um aumento de 6.361,95 MW ao longo de todo o dia, algo que até mesmo a matriz atual poderia suportar.

7.5.2. CENÁRIO 2

O cenário 2 é baseado no relatório de 2019 da Bloomberg que estima uma participação de 33% de VEs na frota de veículos mundial. Apesar deste estudo ser uma média global, esta proporção será utilizada para demonstrar os efeitos que este tamanho de frota teria sobre a matriz nacional.

O quadro 16 apresenta os dados pertinentes a este cenário. Analogamente à análise feita no cenário 1, as seguintes análises podem ser feitas:

Quadro 16 – Cálculos para o cenário 2.

Cenário 33%		Número de veículos	Demanda diária total em MWh	Pico em MW		Aumento de demanda ao longo do dia em MW
				Recarga 2kW	Recarga 10kW	
VEBs	0,30	41.964.000	222.859,43	83.928,00	419.640,00	9.285,81
VHEPs	0,03	4.196.400	28.456,61	8.392,80	41.964,00	1.185,69
Total		46.160.400	251.316,04	92.320,80	461.604,00	10.471,50

Fonte: Os autores

- 1) No caso de uma frota nacional com 33% de veículos eletrificados, haveria aproximadamente 42 milhões de veículos elétricos a bateria e 4 milhões de veículos híbridos *plug-in*. A demanda total diária neste caso seria de pouco mais de 250 GWh, o que corresponderia a menos de uma hora de geração da matriz projetada para 2040, já o pico de demanda causado pela recarga de toda a frota no mesmo instante, considerando o método de recarga de 2 kW, ultrapassaria os 90 GW, valor que é superior ao pico de demanda total do sistema observado no gráfico 17.
- 2) O pico de demanda causado por toda a frota conectada ao mesmo instante na rede, no formato de recarga de 10 kW, seria de cerca de 460 GW por cerca de 32 minutos. Este valor é totalmente incompatível com a matriz projetada para 2040.
- 3) O uso de um sistema inteligente para controlar o momento de recarga destes veículos poderia transformar toda essa demanda em um acréscimo de pouco mais de 10 GW constantes na matriz, o que corresponderia a apenas 3,5% da capacidade instalada.

7.5.3. CENÁRIO 3

O cenário 3 é baseado em uma frota 100% elétrica. Por mais improvável que esta proporção pareça, seu estudo é relevante pois o PLS N°304/2017 sugere que todos os veículos movidos a combustíveis fósseis sejam proibidos de circularem em

território nacional. Apesar de o projeto de lei ainda permitir a circulação de veículos movidos a biocombustíveis é interessante entender qual seria o impacto de uma frota de tal proporção.

Para o estudo deste cenário, os dados de demanda estão apresentados no quadro 17. Seguindo as análises dos cenários anteriores, é possível verificar que:

Quadro 17 – Cálculos para o cenário 3.

Cenário 100%		Número de veículos	Demanda diária total em MWh	Pico em MW		Aumento de demanda ao longo do dia em MW
				Recarga 2kW	Recarga 10kW	
VEBs	0,90	125.892.000	668.578,28	251.784,00	1.258.920,00	27.857,43
VHEPs	0,10	13.988.000	94.855,36	27.976,00	139.880,00	3.952,31
Total		139.880.000	763.433,64	279.760,00	1.398.800,00	31.809,74

Fonte: Os autores

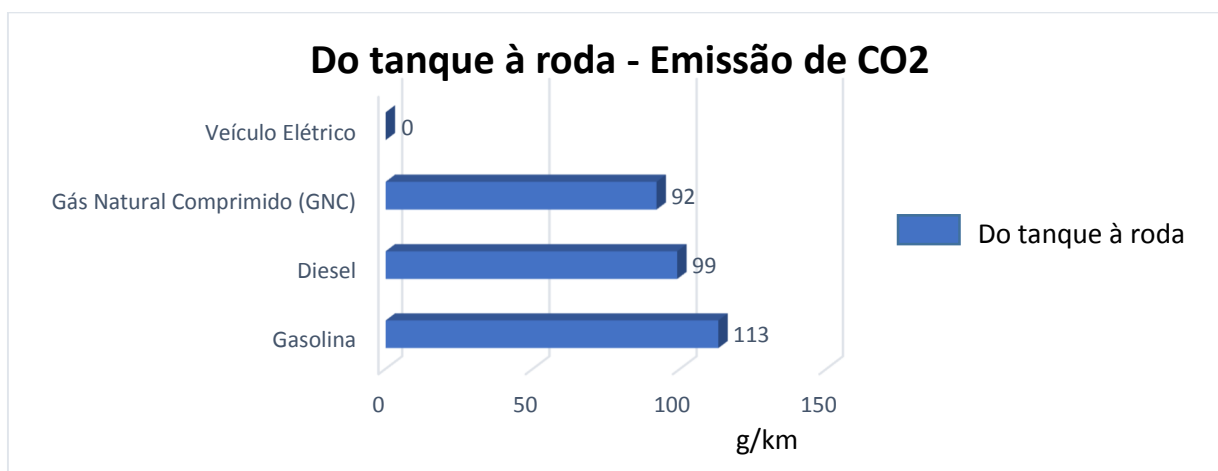
- 1) A demanda total de energia diária neste caso chegaria a mais de 763 GWh, algo em torno de duas horas e meia da produção máxima da matriz.
- 2) Com um total de aproximadamente 140 milhões de VEs, o pico de demanda para a recarga de toda a frota, em potência de 2 kW, se aproximaria muito do total da potência instalada da matriz elétrica nacional. Já no caso de recarga em potência de 10 kW o pico de demanda ultrapassaria mais de quatro vezes toda a capacidade de geração de energia da rede.
- 3) Apesar da enorme quantidade de veículos elétricos neste cenário, este ainda seria viável caso houvesse um controle para recarga da frota de forma distribuída ao longo do dia, gerando um aumento de demanda constante de 31,8 GW, algo em torno de 11% da capacidade de geração projetada para a matriz de 2040.

8. IMPACTOS AMBIENTAIS

Os veículos elétricos são impulsionados no mercado como ecologicamente corretos, denominados como modelos de “emissão zero”. Em uma análise superficial, a tendência é que isso seja verdade devido a uma menor utilização de combustíveis fósseis nos modelos híbridos e nenhuma utilização nos modelos totalmente elétricos. Porém, os índices de emissão são contabilizados nas fontes de energia elétrica que são utilizadas no sistema de geração. (FREIRE JÚNIOR, 2015).

O gráfico 17 foi elaborado com dados da AVL e demonstra a quantidade de emissão de CO₂ considerada a partir do “tanque de energia” até a roda, por diferentes combustíveis aplicados no veículo VW Golf com uma vida útil estimada em 200.00 km.

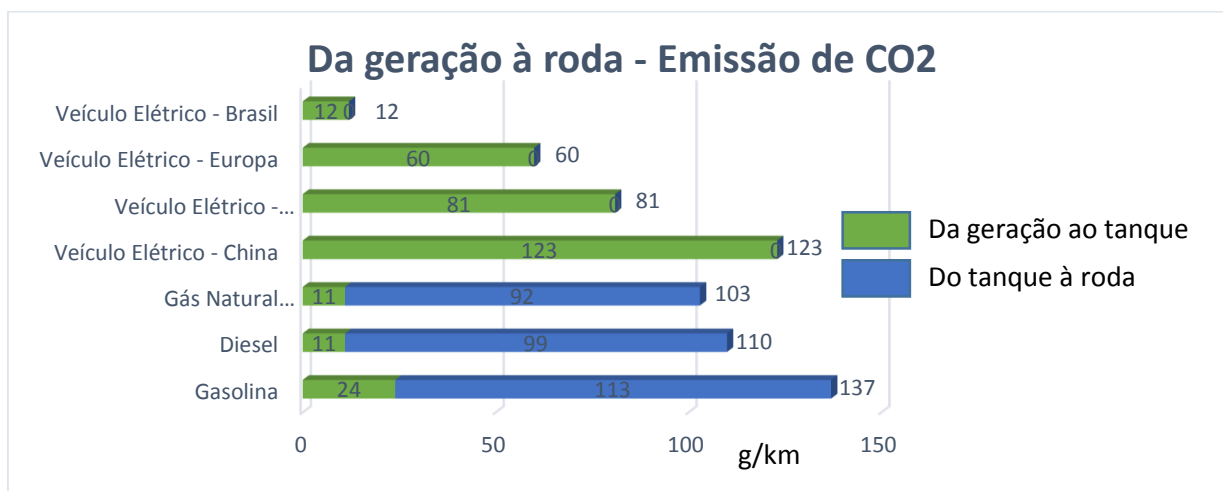
Gráfico 17: Do tanque à roda – Emissão de CO₂



Fonte: AVL, 2019

De fato, comprova-se a análise inicial em que a emissão é zero para veículos elétricos, porém o gráfico 18 complementa o gráfico 17 com a emissão referente à fonte geradora do combustível. É possível notar que na produção de energia elétrica, o Brasil tem menor emissão de CO₂ devido a pequena participação de geração de energia provida da queima do carvão e grande participação de fontes renováveis de energia, ao contrário da China e dos Estados Unidos, que tem grande participação do carvão mineral.

Gráfico 18: Da geração à roda – Emissão de CO2



Fonte: AVL, 2019

Os gases resultantes da queima de combustíveis fósseis são responsáveis por prejuízos ambientais e também são causadores de prejuízos à saúde. Segundo Peres (2011), a cidade de São Paulo arca com cerca de R\$ 2,3 bilhões com doenças ou mortes causadas direta ou indiretamente pelos efeitos da poluição do ar.

Rodrigues (2013) estima a redução de CO2 por meio da substituição do veículo convencional pelo modelo elétrico. Foram estudados três cenários considerando a proporção de veículos elétricos em 10 anos e com o crescimento da frota de 0,5%, assim os cenários e seus respectivos resultados são:

- 1- Substituição de 10% dos veículos convencionais por combustão interna pelo veículo elétrico evitaria a emissão de 383.400.000 toneladas de CO2;
- 2- Substituição de 20% dos veículos convencionais por combustão interna pelo veículo elétrico evitaria a emissão de 761.400.000 toneladas de CO2;
- 3- Substituição de 30% dos veículos convencionais por combustão interna pelo veículo elétrico evitaria a emissão de 1.142.100.000 toneladas de CO2;
- 4- Substituição de 10% dos veículos convencionais por combustão interna pelo veículo elétrico evitaria a emissão de 3.807.000.000 toneladas de CO2;

Os resultados obtidos reforçaram a ideia de utilização do veículo elétrico como aliado no combate ao efeito estufa.

Estas toneladas de CO2 não emitidas pela inserção de carros elétricos e híbridos na frota nacional podem ser convertidas em créditos de carbono, em formato

de certificados eletrônicos. Os detentores destes créditos podem comercializá-los no mercado financeiro em forma de commodities (mercadoria com preço estabelecido pelo mercado internacional).

Os créditos de carbono podem ser comercializados por empresas, países ou outras instituições formais. Cada tonelada de dióxido de carbono que deixa de ser emitida equivale a um crédito de carbono. Desta maneira, dado a grande quantidade de CO₂ que pode ser evitada pelos veículos elétricos e híbridos, a inserção destes na frota brasileira poderia gerar grandes receitas para economia. Como exemplo dessa receita que pode ser gerada pelos créditos de carbono (MENEGUIN, 2011).

Segundo Meneguín (2011) pode-se citar o caso do Aterro dos Bandeirantes, na região metropolitana de São Paulo, que em 2004 iniciou a captação do biogás e sua transformação em energia elétrica através de uma usina termelétrica a biogás. Com capacidade de gerar até 170 mil MWh de energia elétrica por ano, possibilitando a comercialização pela Prefeitura de São Paulo de até 1.262.793 créditos de carbono.

8.1. BATERIAS

Considerada a parte mais importante e mais cara de um carro elétrico, a bateria também carrega um papel importante após chegar ao fim da sua vida útil: o seu correto descarte. Com uma duração entre 8 e 10 anos estas baterias são compostas por materiais químicos pesados, geralmente de lítion-íon (NISSAN, 2018).

Por estarem em desenvolvimento, ainda não existe um processo padronizado de produção destas baterias. Este fato, dificulta o processo de reciclagem destes equipamentos, agregando ainda mais valor no preço de venda.

A Nissan Motors, pensando no momento em que a primeira geração dos veículos elétricos necessitarem trocar suas baterias, e que isto pode criar o primeiro impacto negativo para o meio ambiente, anunciou em março de 2018 a abertura da primeira fábrica especializada em reutilização e reciclagem de baterias de íons de lítio, localizada em Namie, no Japão.

Como uma solução alternativa à reciclagem das baterias a Renault anunciou em julho de 2017 uma parceria com a Powervault. A reutilização das peças em fonte

de armazenamento de energia para sistemas residenciais. É estimado por este projeto que a partir dessa reutilização os custos dos sistemas residenciais podem diminuir em 30%, tornando o preço do sistema em cerca de 3 mil libras esterlinas, além de prolongar a utilização destas baterias por mais 10 anos. (POWERSVAULT, 2017).

9. CONCLUSÃO

Inicialmente motivado pela crescente presença dos veículos elétricos no cenário global e pelo projeto de lei do senado N°304/2017, este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo a apresentação dos possíveis impactos da inclusão dos VEs na matriz elétrica nacional.

A perspectiva da redução do uso de veículos movidos a combustíveis fósseis e o aumento do uso dos veículos elétricos cresceram nos últimos anos devido à aproximação das datas estabelecidas nas metas de acordos climáticos impostas pelos governos. Assim, foram criados diversos incentivos pelos governos para o desenvolvimento e a utilização destes veículos, tais como, os incentivos fiscais para empresas e a isenção de taxas de licenciamento para os proprietários.

Como embasamento teórico, este trabalho levou em consideração a situação atual da matriz elétrica do Brasil, estudos de projeção do crescimento da geração de energia no Brasil, estudos sobre crescimento da frota de veículos, e até mesmo dados de aumento populacional do IBGE, além, é claro, das tecnologias disponíveis atualmente para veículos elétricos e suas baterias.

Após todos os dados pertinentes ao presente estudo terem sido apresentados foi possível a elaboração de cenários para que as análises de impactos pudessem ser feitas.

Os três cenários apresentados cobriram desde a possibilidade de uma frota pouco eletrificada, com apenas 20% da frota composta por VEs, até um caso onde 100% dos veículos fossem movidos a energia elétrica.

Pela análise crítica dos cenários formulados foi possível entender o tamanho do impacto que cada caso teria sobre a matriz elétrica nacional. Na matriz atual, sem a presença de *Smart Grids*, até mesmo o mais brando dos cenários seria capaz de deixar o sistema muito próximo do colapso.

Porém, os dados apresentados em todos os cenários permitiram concluir que a matriz poderá sim suportar até mesmo uma frota com 100% de veículos elétricos, desde que a inserção destes seja acompanhada de investimentos em redes

inteligentes para a recarga dos VEs, evitando que haja um carregamento simultâneo de um grande percentual da frota.

Quanto à questão ambiental, foi possível concluir que, apesar de os veículos elétricos serem popularmente conhecidos como não nocivos ao meio ambiente, ao analisar criticamente a cadeia de produção do veículo e o tipo de geração de energia elétrica que será utilizada para abastecer estes veículos é possível concluir que não são efetivamente “emissão zero”.

REFERÊNCIAS

ANFAVEA. 2018. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018.

ANFAVEA. 2014. “2034 – Uma Visão do Futuro”.

ANDERSON, Curtis D. e ANDERSON, Judy: Electric and Hybrid Cars, 2.Ed. McFarland & Company, Inc. EUA, 2010.

AVL, 2019. Planejamento Energético no Brasil.

CEBDS, 2017, Quais são as metas do Brasil para o Acordo de Paris? Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento sustentável.

BARAN, Renato. 2012. “A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade”

BLOOMBERG, 2019. “Electric Vehicle Outlook 2019”.

BRADLEY, Thomas H, e Andrew A. Frank. 2009. “Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in electric vehicles.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.13, pp. 115-128.

BRAJTERMAN, Olivia. 2016. “Introdução de veículos elétricos e impactos sobre o setor energético brasileiro”.

BRASIL 2016 a. Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica 2016: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 06 de julho de 2018.

BRASIL 2016 b. Empresa de Pesquisa Energética. Plano de Expansão da Geração <http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/planejamento-da-expans%C3%A3o>. Acesso em 30 de setembro de 2018.

BRASIL 2016 c. Senado Federal. Glossário Legislativo: <https://www12.senado.leg.br/noticias/glossario-legislativo>. Acesso em 03 de novembro de 2018.

BRASIL 2017 a. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>. Acesso em 06 de julho de 2018.

BRASIL 2017 b. Ministério de Minas e Energia. Notícias: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias//assetpublisher/32hLrOzMKwWb/contente/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2026-e-aprovado>. Acesso em 15 de setembro de 2018.

BRASIL 2017 c. Ministério de Minas e Energia. PDE2026

BRASIL 2017 d. Senado Federal. Projeto de Lei do Senado nº 304 de 2017.

BRASIL 2017 e. Senado Federal. Projeto de Lei do Senado nº 454 de 2017.

BRASIL 2018 a. Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informação de Geração: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em 03 de agosto de 2018.

BRASIL 2018 b. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2018

BRASIL 2018 c. Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira 2018

BORBA, B.S.M.C. 2012. “Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no Sistema Energético Brasileiro.” Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético - COPPE - UFRJ.

CETESB. 2013. Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo

CEBDS. 2017. Quais são as metas do Brasil para o acordo de Paris?

COWAN, R., HULTÉN, S., 1996, “Escaping Lock-in: The Case of Electric Vehicle”. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 53, pp. 61-79.

DOLLE, Camilla Rodrigues. A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA: EVOLUÇÃO HISTÓRICA E PERSPECTIVAS, São Paulo 2013, USP.

EIA, 2009, History of Electric Vehicles. U. S. Department of State. Disponível em: http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/light_duty/fsev/printable_versions/fsev_history.html. Acesso em 04 de abril de 2018.

ENGQUIMICASANTOSSP, 2018, GASTON PLANTÉ - O INVENTOR DA BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO. <https://www.engquimicasantosp.com.br/2018/09/gaston-plante-inventor-bateria-chumbo-acido.html>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

EV-VOLUMES, 2018, GLOBAL PLUG-IN SALES FOR THE 1ST HALF OF 2018. <http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

FREIRE JÚNIOR, Letivan Cambraia. PROJEÇÃO DO IMPACTO DA INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS NA FROTA BRASILEIRA, FORMIGA 2015, IFMG.

FREYSSNET, M. Three possible scenarios for cleaner automobiles, *International Journal of Automobile Technology and Management*, issue nº4, 2011.

GOV.UK, 2014. “Plug-in car and van grants”. Disponível em: <https://www.gov.uk/plug-in-car-van-grants>. Acesso em 14 de maio de 2019.

HANNISDAHL, O. H.; Malvik, H. V.; Wensaas, G. B. The future is electric! The EV revolution in Norway. Disponível em: . Acesso em: 16 de abril de 2019.

IBGE, 2010. “Censo Demográfico 2010”.

IEA. 2011. Technology Roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles. Paris: International Energy Agency.

IEA. 2012. World Energy Outlook 2012. Paris: International Energy Agency.

IEA. 2013. Global EV Outlook: Understanding the electric vehicle landscape to 2020. Paris: International Energy Agency.

MELLO, A.M, MARX, R., SOUZA, A. Exploring scenarios for the possibility of developing design and production competencies of electrical vehicles in Brazil, International Journal of Automotive Technology and Management, 13(3), pp. 289-314.2013.

MENEGUIN, Fernando B. 2012. O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil? Disponível em: <http://www.brasil-economia-governo.org.br/wp-content/uploads/2012/08/o-que-e-o-mercado-de-carbono-e-como-ele-opera-no-brasil.pdf>. Acesso em 18 de maio de 2019.

NISSAN, 2018. Nissan inaugura fábrica para reciclar baterias de carros elétricos. Disponível em: <https://nissannews.com/pt/nissan/brasil/releases/nissan-inaugura-fabrica-para-reciclar-baterias-de-carros-el-tricos>. Acesso em 03 de maio de 2019.

NISSAN, 2018. Nissan LEAF batteries to light up Japanese town. Disponível em: <https://newsroom.nissan-global.com/releases/release-487297034c80023008bd9722aa000f93>. Acesso em 15 de maio de 2019.

NOVAIS, Celso Ribeiro Barbosa MOBILIDADE ELÉTRICA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. 2016

ONS, 2019. Histórico da operação. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>. Acesso em 19 de maio de 2019.

OSÓRIO, Victor Alberto Garcia. 2013. “Carregamento ótimo de veículos elétricos considerando as restrições das redes de distribuição de média tensão”.

PERES, L. A. P. et al. Analysis of the use of electric vehicles by electric utility companies fleet in Brazil. Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina), v. 9, n. 7, p. 1032-1039, 2011.

POLLET, Bruno G., Iain Staffell, e Jin Lei Shang. 2012. "Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects." *Electrochimica Acta*, 12 de abril: 235-249.

POWERSVAULT, 2017. Powervault and Renault give EV batteries a "second-life" in smart energy deal. Disponível em: <https://www.powervault.co.uk/article/powervault-and-renault-give-ev-batteries-a-second-life-in-smart-energy-deal/>. Acessado em 10 de maio de 2019.

RODRIGUES, F. Frederico. Impactos dos carros elétricos no sistema de energia elétrica com os princípios em Smart Grids, Santo André, 2013, UFABC.

SILVA, Jardel Eugenio, Fabianna Tonin, Jair Urbanetz Junior, 2016. "Veículos elétricos e a geração distribuída a partir de sistemas fotovoltaicos".

SZUCKO, Angelica Saraiva. 2018. "Governança Climática Européia: Pacotes 2020 e 2030 e o Acordo de Paris".

TESLA MOTORS. Electric vehicle incentives around the world. 2014.

VAZ, Luiz Felipe Hupsel, Daniel Chiari Barros, Bernardo Hauch Ribeiro de Castro. 2015. "Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento".

VERGIS, S. et al. Plug-in electric vehicles: a case study of seven markets. Davis: Institute of Transportation Studies – University of California, 2014.

VLIET, Oscar Van, Anne Sjoerd Brouwer, Takeshi Kuramochi, Machteld van den Broek, e André Faaij. "Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars." *Journal of Power Sources*, 2010.

VOLTIMUM, 2014, Veículos híbridos e elétricos | Estruturas e características - 1ª Parte. <https://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/veiculos-hibridos-e>. Acesso em 10 de novembro de 2018.