

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GIAN LUCAS MARTINS
MAILSON GONÇALVES MORAIS**

**ANÁLISE DE INFRAESTRUTURA E DEMANDA ENERGÉTICA COM
INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL**

**VOLTA REDONDA
2018**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DE INFRAESTRUTURA E DEMANDA ENERGÉTICA COM
INSERÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Alunos:

Gian Lucas Martins

Mailson Gonçalves Morais

Orientador:

Prof. D.Sc. Vagner Silva Guilherme

VOLTA REDONDA

2018



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

Curso: Engenharia Elétrica

Acadêmico: Matrícula: Gian Lucas Martins 201320098; Mailson Gonçalves Morais 201311080

Título do TCC: Análise de Infraestrutura e Demanda Energética com Inserção de Veículos Elétricos No Brasil

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Elétrica.

Aprovada em 24 de novembro de 2018

Banca Avaliadora:

Professor Orientador
Vagner Silva Guilherme, Doutor, UniFOA

Professor Avaliador
Edson de Paula Carvalho, Mestre, UniFOA

Professor Avaliador
Bruno Moreira da Silva, Especialista, UniFOA

Dedicamos esta pesquisa a nossos pais, que sempre nos apoiaram, não nos deixando desanimar durante os momentos de incerteza e dificuldade, e com palavras de incentivo nos inspiraram a continuar buscando nosso objetivo, acreditando que este sonho poderia ser concretizado.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus, aos nossos familiares e amigos, que de alguma forma contribuíram durante toda esta caminhada, e ao nosso orientador Vagner Silva Guilherme que esteve sempre disposto a colaborar com todo o auxílio necessário para que este trabalho pudesse ser concluído com êxito.

RESUMO

Nos dias atuais, existe uma grande responsabilidade para com a preservação ambiental fazendo com que Países e Empresas adotem práticas cada vez mais sustentáveis para amenizar os efeitos negativos causados ao meio ambiente. No centro deste debate está a necessidade da redução de emissão de poluentes na atmosfera, que em grande parte é proveniente da queima de combustíveis fósseis. O setor de transportes, um dos que mais contribui para a emissão de gases poluentes, é essencial para o progresso econômico, sendo o maior consumidor de petróleo do mundo. Em resposta a esse contexto, empresas fabricantes de veículos automotores, tem direcionado esforços em pesquisas para encontrar através da difusão da mobilidade elétrica o desejado desenvolvimento sustentável. Esta pesquisa busca realizar uma análise técnica capaz de compreender as adversidades que terão de ser enfrentadas para esta adequação, com foco em apresentar um estudo de infraestrutura necessária para recarga das baterias, bem como, averiguar o acréscimo na demanda de energia solicitada ao sistema diante do crescimento da frota veículos elétricos plug-in, por meio de uma simulação baseada em dados consolidados. Como também, exibir as principais características das tecnologias embarcadas que envolvem conhecimentos da Engenharia Elétrica. A análise busca demonstrar iniciativas relevantes tomadas pelo país durante os últimos anos, se preparando para recebimento dessa inovação, além de obter como resultado a convicção de que o país possui grande potencial energético e encontra nas fontes de energias renováveis uma excelente alternativa de suporte ao Sistema Interligado Nacional, como também a necessidade de elaboração de políticas normativas que exemplifiquem todas as questões associadas a esta nova realidade.

Palavras chave: Veículos Elétricos. Infraestrutura. Demanda Energética.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	O Problema Abordado.....	15
1.2	Objetivos Gerais.....	18
1.3	Objetivos Específicos	18
1.4	Justificativa.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA	20
2.1	Máquinas Térmicas	20
2.1.1	Motor a Combustão interna (MCI)	21
2.2	Máquinas Elétricas	22
2.2.1	Motores Elétricos.....	23
2.2.2	Motores de Indução.....	24
2.2.3	Motor de Imã Permanente	25
3	VEICULOS AUTOMOTORES	27
3.1	Veículos motor à Combustão Interna (MCI).....	27
3.2.	Veículos Totalmente Elétricos	30
3.2.1	Configurações dos Veículos Elétricos (VE)	31
3.3	Veículos Híbridos (HEV).....	35
3.4	Tecnologias para Recuperação e Armazenamento de Energia.....	37
3.4.1	Frenagem Regenerativa.....	37
3.4.2	Células de Combustível.....	38
3.4.3	Supercapacitores	39
3.4.4	Bateria.....	40
3.5	Infraestrutura de Recarga.....	43
3.5.1	Tipos de Carregamento.....	44
3.5.2	Tipos de Plugs	45
3.5.2.1	Tipo 1- SAE J1772	45
3.5.2.2	Tipo 2 – Mennekes.....	48
3.5.2.3	CHAdEMO – Recarga rápida CC.....	49
3.5.2.4	Combo CCS – Tipo 1 ou Tipo 2.....	51
4	METODOLOGIA.....	53
4.1	Cenário Brasileiro de mobilidade elétrica	53
4.2	Infraestrutura de Recarga.....	57

4.3	Demanda Energética Nacional	59
4.3.1	Impacto Energético com a Inserção de Veículo Elétrico na Frota Nacional .	60
4.4	Alternativas	71
4.4.1	Utilização das energias renováveis	72
4.4.2	Smart Grids (Redes Inteligentes)	75
4.5	Desafios e Incentivos	78
5	DISCUSSÕES E RESULTADOS OBTIDOS.....	80
6	CONCLUSÕES E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	83
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conversão de calor em trabalho realizado por uma máquina térmica	21
Figura 2 - Circuito equivalente monofásico de um motor de indução	24
Figura 3 - Torque X velocidade do motor de indução	25
Figura 4 - Torque X velocidade do Motor Síncrono de Ímã permanente	26
Figura 5 - Processo ciclo Otto	28
Figura 6 - Veículo a combustão interna (VCI)	29
Figura 7 - Estrutura básica de um Veículo Elétrico	31
Figura 8 – Esquema básico de VE com autonomia estendida (E-REV ou REX)	32
Figura 9 - Esquema básico VE à bateria (BEV)	33
Figura 10 - Esquema Básico VE à célula de combustível (FCEV)	34
Figura 11 - Esquema de funcionamento básico de um HEV plug-in	35
Figura 12 - Esquema Básico de VE (plug-in) híbrido PHEV	36
Figura 13 - Célula de Combustível	38
Figura 14 - Bateria de lítio.	41
Figura 15 - Curvas de Ragone	43
Figura 16 - Carregamento doméstico e em local público	45
Figura 17 - Plug tipo 1 - SAE J1772	46
Figura 18 - Pinagem do padrão SAE J1772	47
Figura 19 - Plug tipo 2 – Mennekes	48
Figura 20 - Pinagem do padrão Tipo 2	49
Figura 21 - Plug CHAdeMO – Recarga rápida CC	50
Figura 22 - Pinagem do padrão CHAdeMO	51
Figura 23 - Combo do tipo 1 e 2	52
Figura 24 - Onibus 100% elétrico	54
Figura 25 - Nissan LEAF 2018	62
Figura 26 - Perfil de Utilização e Recarga dos VEs nos E.U.A	64
Figura 27 - Eletroposto Solar	72
Figura 28 - Curva de pato geração e consumo	73
Figura 29 - Curva de Pato de um dia típico de geração	74
Figura 30 - Disposição básica de um sistema Smart Grid	76
Figura 31 - IPVA por Estado para VE	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metas de estoque de VEs de alguns Países	16
Tabela 2 - Formas de Carregamento	44
Tabela 3 - Comparação Nissan LEAF e Nissan SENTRA.....	55
Tabela 4 - Comparação de consumo	56
Tabela 5 - Consumo total de energia elétrica Brasil em 2017	61
Tabela 6 - Consumo de Energia anual dos VEs.....	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Licenciamento de Veículos Híbridos e Elétricos por ano no Brasil.....	57
Gráfico 2 - Curva de Carga Média do Brasil em 2017	60
Gráfico 3 - Perfil de recarga dos VEs adaptado para o Brasil.....	65
Gráfico 4 - Curva de Carga diária dos VEs	66
Gráfico 5 - Curva de carga anual dos VEs	67
Gráfico 6 - Comparativo de carga do SIN com carga dos VEs	67
Gráfico 7 - Somatório carga do SIN com carga dos VEs.....	68
Gráfico 8 - Perfil de carregamento mais adequado dos VEs para o Brasil	69
Gráfico 9 - Curva de carga dos VEs fora do horário de ponta	70
Gráfico 10 - Curva de carga com carregamento dos VEs em horário adequado	71

LISTA DE SIGLAS

ABVE	Associação Brasileira do Veículos Elétricos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
BEV	Battery Electric Vehicle (Veículo Elétrico a Bateria)
CO ₂	Dióxido de Carbono
CAN	Controller Area Network (Rede da Área do Controlador)
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente contínua
E-REV/REX	Extended-Range Electric Vehicle/ Range Extender (Veículo Elétrico com Autonomia Estendida)
EP	Eletroposto
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Veículo Elétrico Célula de Combustível)
GEE	Gases de Efeito Estufa
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Veículo Híbrido Elétrico)
IEA	International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)
IEC	International Electrotechnical Commission (A Comissão Eletrotécnica Internacional)
MCI	Motor à Combustão Interna
MME	Ministério de Minas e Energia
ME	Motor Elétrico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PbA	Bateria de Chumbo-Ácido
PEV	Plug-in Electric Vehicle (Veículo Elétrico Plug-in)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Veículo Elétrico Híbrido Plug-in)
SIN	Sistema Interligado Nacional
SOFC	Célula de Combustível de Etanol de Óxido Sólido

SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedade de engenheiros automotivos)
VCI	Veículo à Combustão Interna
VE	Veículo Elétrico

1 INTRODUÇÃO

Durante a Revolução Industrial surgiram diversas tecnologias e uma das mais representativas foi o Motor à Combustão Interna (MCI) de quatro tempos. A invenção foi construída pelo Engenheiro Alemão Conde Nikolaus Otto, que em 1878 se destacou por apresentar seu motor na Feira Internacional de Paris, anos depois, em sociedade com o Engenheiro Eugen Logen, fundou a N.A Otto e Cia, que foi a primeira indústria destinada à fabricação de motores à combustão interna do mundo (OLIVEIRA, 2010).

Seguindo a evolução desta tecnologia, em 1885 o Engenheiro Alemão Karl Friedrich Benz construiu o primeiro automóvel com motor de combustão interna quatro tempos propulsionado a gasolina e a partir deste instante, muitos outros fabricantes, de diversos países diferentes começaram a surgir, como: Ford, Fiat, Peugeot, Cadillac, Renault, Buick, Rolls Royce, todas até 1910. (OLIVEIRA, 2010)

No início do século XX, os Veículos Elétricos (VEs) se sobressaíam no mercado norte americano e tinham como principais vantagens os reduzidos níveis de ruídos, a inexistência de vibrações e a ausência de marchas. Nesta época, a autonomia não era um atributo muito relevante devido a uma malha rodoviária inconsistente, tendo as melhores vias centralizadas nos perímetros urbanos. Com o passar dos anos, o fácil acesso a derivados do petróleo a baixo custo e a legislação ambiental leniente, associadas a um período mais primitivo das baterias, a descoberta da partida elétrica e a melhoria das vias de rodagem foram determinantes para o fracasso dos veículos elétricos, que apesar do maior conforto proporcionado aos usuários, foram superados, desde a década de 1910, ficando limitados a aplicações especiais. Em virtude desta situação, veículos equipados com motores à combustão interna sobressaíram-se aos demais, dando início a uma concorrência mercadológica entre fornecedores de combustíveis, que se polarizou entre gasolina, diesel e etanol (FERREIRA e CASTRO, 2010).

Ao final do século XX, diversas discussões relacionadas à crescente da poluição do ar e das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) passaram a destacar a incineração de combustíveis fósseis provenientes do setor de transportes como uma das principais causas, isso levou grande parte dos países a adotar leis que impõe restrições as emissões e a elaborar sistemas de fiscalização veicular. Apreensivos

com o aquecimento global e com as mudanças climáticas no planeta, diversos países aderiram ao Acordo de Paris (COP – 21) aprovado em 12 de dezembro de 2015.

A proposta que traz o Acordo de Paris é: apresentar que o mundo está apto a modificar sua forma de geração e consumo de energia. Sendo fundamental a utilização da tecnologia disponível para buscar novas soluções capazes de trazer esta melhoria pretendida para a humanidade, investindo em fontes renováveis, gerando e consumindo de forma mais sustentável, colaborando com o meio ambiente. Com este intuito, a descarbonização do setor de transportes se faz extremamente importante para se atingir esse objetivo (BARASSA, 2015).

Entre as 195 assinaturas do acordo, estão os maiores poluidores do mundo: China (incluindo Hong Kong e Macau), Rússia, Índia, Japão, Alemanha, Brasil, Canadá, Coreia do Sul e México. Somente os EUA, responsáveis por 17,9% das emissões no globo, ficaram de fora, após decisão do atual Presidente Donald Trump. Diversas nações já pensam em proibição de fabricação e venda de automóveis que possuam motores à combustão interna, devido à grande emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, com a finalidade de que não se intensifique a poluição atmosférica mundial. Segundo Costa, 2015, reduzir a dependência de combustíveis fósseis é de suma importância, pois o setor dos transportes contribui com 20% de todas as emissões de CO₂, com crescimento de emissões de cerca de 1,7 % ao ano. Com isso, os veículos elétricos despontam como grande alternativa por todas as suas vantagens do ponto de vista ambiental, tecnológico e de segurança energética. Diante desta possível restrição, a corrida pelo desenvolvimento de um motor elétrico eficiente e a popularização destes automóveis se faz necessário, motivando montadoras à direcionarem esforços em pesquisa e desenvolvimento de novos recursos e tecnologias, tornando esse processo menos oneroso para a população mundial (DEURSEN, 2017).

No Brasil, atualmente a frota é composta em sua maioria, por veículos convencionais que utilizam como combustíveis o Etanol, a Gasolina, o Diesel e o Gás Natural, entretanto já se encontram em circulação pequenos veículos elétricos urbanos, ônibus e veículos utilitários. Diversas montadoras estão se aperfeiçoando e estudando novas possibilidades de motores elétricos, bem como tornar os já existentes mais eficientes e com desempenho elevado. Porém para a realidade brasileira atual, se torna mais viável por exemplo, a fabricação de Veículos Híbridos (HEV), ou seja, um motor a combustão interna que auxilia o motor elétrico, uma vez

que o Brasil oferece pouca infraestrutura para uma frota de veículos elétricos com poucos eletropostos destinados a recarga das baterias, e sendo um país de dimensões continentais, a possibilidade de um motorista vir a sofrer pane seca devido a falta de energia da bateria é alta (BARASSA, 2015).

1.1 O Problema Abordado

O setor de transportes é de essencial importância para desenvolvimento econômico mundial, pois reduz distâncias de áreas isoladas, expande fronteiras do trabalho e do comércio. Aumenta a qualidade de vida da população que utiliza os meios de transporte para se locomover seja a trabalho ou mesmo a lazer, com isso se torna o setor da economia com maior consumo de petróleo em todo o mundo, cerca de 61,7% em 2009, lançando cerca 23% de CO₂ à atmosfera nesse mesmo ano (BARAN, 2012).

A grande dependência das potências mundiais em relação ao petróleo acompanhadas das consequências geopolíticas, vem trazendo nos últimos anos especial atenção em discussões relacionadas as consequências ambientais, alto consumo, alta variação de preço praticados pelo mercado internacional e investimentos em manutenção da segurança do abastecimento. Fatos agravados por se tratar de um recurso finito e pela instabilidade política dos grandes e principais produtores. Devido a isto, vem surgindo buscas por alternativas para o ramo dos transportes que tem apresentado nos últimos anos forte crescimento no consumo de energia. Com isso, encontra-se dentre as alternativas disponíveis a bem intrigante e desafiadora, a eletrificação do transporte, dada a quebra do paradigma do convencional automóvel movido a combustão que está amplamente disseminado na cultura do homem moderno. Diversas fabricantes de veículos lançaram-se na corrida da eletrificação dos automóveis, a fabricante japonesa Toyota lançou em 1997 no mercado japonês o híbrido Prius. Onde teve boa aceitação, chegando ao mercado americano em 2000 obtendo um sucesso muito superior ao esperado pela montadora, efeito repetido mais tarde quando lançando no mercado europeu. A Honda, foi a primeira empresa a entrar no mercado americano com um veículo híbrido, o Insight lançado em 1999, obtendo também sucesso imediato, em 2003 lançou Civic híbrido,

com características como dirigibilidade e aparência semelhantes ao Civic Convencional. A Ford se lançou no ramo dos híbridos em 2004 com o Escape, um veículo utilitário esportivo na versão híbrida. Com o passar dos anos, os híbridos foram conquistando seu espaço no mercado e houve um aumento bastante significativo nas vendas chegando a atingir nos E.U.A 268.755 unidades em 2011 (BARAN, 2012).

Alguns países estão traçando estratégias para reformulação das suas frotas de veículos e definindo prazos para abolir carros movidos a combustíveis fósseis:

- Noruega (meta de vender apenas Veículos Elétricos (VEs) após 2025);
- Alemanha (banir Veículos à Combustão Interna (VCIs) após 2030);
- Índia (também banir VCIs após 2030) e estabeleceram metas de estoque de carros elétricos até 2020. A tabela 1 ilustra metas desses países.

Tabela 1 - Metas de estoque de VEs de alguns Países

Países que anunciaram metas até 2020 ou mais	Estoque de VEs em 2015 (mil veículos)	Metas do estoque de VEs em 2020	Participação dos VEs na venda de carros entre 2016 e 2020	Participação dos VEs no estoque total em 2020
China*	312.3	4.5	6%	3%
Japão	126.4	1.0	4%	2%
E.U.A**	101.0	1.2	6%	2%
França	54.3	2.0	20%	6%
Reino Unido	49.7	1.5	14%	5%
Alemanha	49.2	1.0	6%	2%
Espanha	6.0	0.2	3%	1%
Índia	6.0	0.3	2%	1%
Coreia do Sul	4.3	0.2	4%	1%
Portugal	2.0	0.2	22%	5%

*Essa meta inclui 4,3 milhões de carros e 0,3 milhões de taxis e faz parte de uma meta geral de 5 milhões de carros, taxis, ônibus e veículos especiais em 2020.

**Estimativa baseada no alcance da meta de 3,3 milhões de VEs até 2025 anunciada em oito estados americanos (Califórnia, Connecticut, Maryland, Massachusetts, New York, Oregon, Rhode Island e Vermont). Todos os indicadores nessa tabela referem-se a esses oito estados americanos; assume-se que participação de mercado e participação no estoque somem 25% da participação e estoque totais de veículos nos EUA.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de cadernos FGV energia - carros elétricos.

O processo de inserção dos VEs no Brasil será longo, devido principalmente às dificuldades iniciais a serem superadas e por se tratar de uma realidade em que poucos se arriscam a adotar essa nova tecnologia, principalmente quando se há pouco incentivo e estão envolvidos custos elevados. Os carros elétricos plug-in necessitam de infraestrutura adequada para recarga das baterias e quando conectados à sistemas inteligentes como os Smart Grids podem trazer menos impactos ao sistema elétrico, embora o Sistema Interligado Nacional (SIN) tenha capacidade de suportar a entrada gradativa dos VEs sem Smart Grids. Contudo a eletrificação de veículos no setor de transportes fomentaria maior diversificação de fontes energéticas, incentivando a utilização de energia gerada por fontes renováveis como a solar e a eólica (BORBA, 2012).

1.2 Objetivos Gerais

O objetivo do trabalho é efetuar uma análise técnica, que possibilite compreender os desafios que serão enfrentados pelo Brasil para se adequar perante a modernização do setor automobilístico com a inserção dos VEs.

1.3 Objetivos Específicos

O desígnio deste Trabalho é realizar um estudo que nos possibilite entender o notável crescimento dos VEs no setor automobilístico, e a partir disso, mostrar que para que seja viável sua implantação no Brasil, é necessário que haja incentivos e recursos que favoreçam e convençam os consumidores a obterem essa nova tecnologia. Visando explicar o funcionamento dos sistemas de propulsão elétrico e a combustão, à luz das referências bibliográficas disponíveis no meio acadêmico, trazendo dados e informações relevantes para se examinar o seguintes tópicos:

- Estudo de infraestrutura necessária para recarga das baterias;

- Estudo de demanda energética diante do crescimento da frota de VEs.

1.4 Justificativa

Ponderando o crescimento da demanda de utilização de tecnologias alternativas, realiza-se um estudo com a proposta de analisar a ascensão dos veículos elétricos dentro do mercado automobilístico brasileiro, aduzindo também de forma periférica o crescimento deste mercado em outros países do mundo, através de dados e informações relevantes. Busca-se contribuir para diminuição das emissões dos gases de efeito estufa inerentes ao setor de transportes.

A implementação do carro elétrico em grande escala transformaria intensamente a estrutura da indústria automobilística, de transporte e do setor energético, visto que:

A aquisição desses automóveis trariam benefícios significativos para os consumidores, por concederem economia de combustível e manutenção;

O convencional motor à combustão interna seria substituído pela eletroquímica (baterias) e pela eletrônica de potência (motores elétricos);

No setor ecológico, intensificaria a geração de energia elétrica através de recursos renováveis, visto que a frota dos VEs cresceria com o passar dos anos, reduzindo a utilização dos motores à combustão, que são grandes emissores de GEE.

Para a implantação dessa nova tecnologia em larga escala no país, torna-se necessária a adequação de eletropostos e carece determinada preparação do SIN para sustentar de forma segura e eficiente determinada demanda de energia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos básicos de componentes automotivos e processos eletrônicos veiculares fundamentais para a compreensão dos sistemas de propulsão apresentados no trabalho.

2.1 Máquinas Térmicas

De acordo com os princípios da termodinâmica, as máquinas térmicas são sistemas capazes de realizar a conversão de energia térmica ou calor em trabalho mecânico. O trabalho se realiza a partir da diferença de temperatura entre uma fonte quente e uma fonte fria. Em sua grande maioria, essas máquinas, removem o calor da fonte quente, onde parte desse calor é destinado a realizar trabalho e a outra parte é dispensada para a fonte fria, definindo assim a eficiência da máquina. Geralmente, máquinas térmicas assim como outros dispositivos cíclicos fazem uso de um fluido para troca de calor enquanto realizam um ciclo, denominado fluido de trabalho. O termo máquina térmica é utilizado com frequência em um modo mais amplo, onde incluem-se dispositivos que produzem trabalho, mas não operam em um ciclo termodinâmico, nessa categoria estão inclusas as máquinas que envolvem combustão interna, como as turbinas a gás e os motores de automóveis, esses dispositivos operam em um ciclo mecânico, e não em um ciclo termodinâmico, uma vez que o fluido de trabalho (os gases de combustão) não passam por um ciclo completo. Em vez de serem resfriados até a temperatura inicial, os gases de exaustão são descarregados e substituídos pela mistura de ar e combustível ao final do ciclo. (ÇENGEL e BOLES, 2013).

Uma parcela do calor coletado por uma máquina térmica é transformado em trabalho, enquanto o restante é dispensado para uma fonte fria. Conforme ilustra a figura 1.

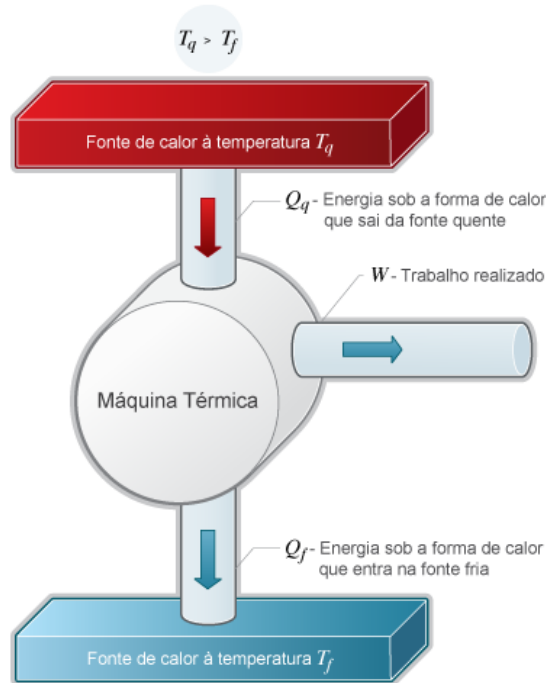


Figura 1 - Conversão de calor em trabalho realizado por uma máquina térmica

Fonte: e-escola (2009)

2.1.1 Motor a Combustão Interna (MCI)

O motor a combustão interna é uma máquina baseada nos princípios da termodinâmica, que a partir da compressão e expansão de fluidos gasosos são capazes de gerar força e movimento rotativo (BARASSA, 2015).

No século XIX houve o surgimento dos primeiros motores a combustão interna. Nesses tipos de motores, o combustível é queimado no interior do próprio motor, e sua aparição ocasionou um rápido desenvolvimento dos projetos e pesquisas relacionados à mecânica. Estes motores tiveram vantagem sobre as máquinas a vapor, devido a sua eficiência, versatilidade, menor peso por cavalo vapor, rapidez em seu funcionamento inicial e viabilidade de adaptação a vários tipos de máquinas. O mecânico alemão Lenoir, em 1860, foi o responsável por construir o primeiro motor a combustão interna, que tinha a potência de 1 cv, operando com gás de iluminação. Em 1861, Otto e Langen, baseando-se na máquina de Lenoir, construíram um motor que comprimia a mistura de ar e gás de iluminação, com ignição feita por uma centelha

elétrica. Em 1862, o engenheiro francês Beau de Rochas popularizou estudos teóricos e estabeleceu alguns princípios termodinâmicos baseado na aprimoração realizada por Otto. Este, por sua vez, baseado no estudo realizado por Rochas, desenvolveu um novo motor: o motor de ciclo Otto. Estes motores utilizavam como combustível o gás de carvão ou o gasogênio, com ignição através de centelha elétrica. Posteriormente, ocorreu a primeira aplicação do motor de ciclo Otto em veículos, com a utilização da gasolina como combustível. Em 1893, o engenheiro alemão Rudolf Diesel desenvolveu um novo motor, neste, a ignição da mistura ar e combustível era feita por compressão. Este motor, que denominado por Diesel de “motor térmico racional”, e posteriormente ficou conhecido como motor Diesel (PALMA, 2016).

Os motores convencionais utilizados atualmente, são derivados dos motores construídos por Otto e Diesel, possuindo as seguintes características básicas:

- a) Motores de ciclo Otto: Operam a partir da aplicação de combustível de baixa volatilidade, como a gasolina e o álcool. Para a ignição precisam de centelha provocada pelo sistema elétrico.
- b) Motores de ciclo Diesel: Operam com a utilização do óleo diesel como combustível. A queima do combustível injetado sob pressão na câmara de combustão ocorre pela compressão de ar e consecutivo aumento da temperatura.

2.2 Máquinas Elétricas

O conceito de máquina elétrica, segundo Chapman:

Uma máquina elétrica é um dispositivo que pode converter tanto a energia mecânica em energia elétrica como a energia elétrica em energia mecânica. Quando tal dispositivo é usado para converter energia mecânica em energia elétrica, ele é denominado gerador. Quando converte energia elétrica em energia mecânica, ele é denominado motor. Como qualquer máquina elétrica é capaz de fazer a conversão da energia em ambos os sentidos, então qualquer máquina pode ser usada como gerador ou como motor. Na prática, quase todos os motores fazem a conversão da energia de uma forma em outra pela ação de um campo magnético (CHAPMAN, 2013).

As máquinas de corrente alternada tradicionais são classificadas em duas categorias: síncronas e de indução. Nas máquinas síncronas, as correntes resultantes

dos enrolamento do rotor são provenientes na parte do estacionária do motor através de contatos rotativos. Nas máquinas de indução, as correntes são induzidas nos enrolamentos do rotor por meio da combinação da variação, no tempo, das correntes de estator e do movimento do rotor em relação ao estator (UMANS, 2014).

2.2.1 Motores Elétricos

São tipos de motores amplamente utilizados e possuem diversas vantagens como: custo baixo, simplicidade no controle, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos, facilidade de transporte, além de apresentar alto rendimento.

As máquinas elétricas estão presentes em nosso cotidiano a mais de um século. Tradicionalmente, os motores elétricos operavam sem nenhum controle, funcionavam de forma contínua a uma velocidade constante, inclusive em aplicações onde poderia ser muito mais vantajoso um controle eficiente sobre a velocidade. Todos nós estamos bastante familiarizados com as funções básicas dos motores elétricos, que consiste principalmente em acionar cargas mecânicas através da conversão de energia elétrica. (MOHAN, 2015).

Os motores elétricos são equipamentos capazes de converter a energia elétrica em energia mecânica e também podem ser utilizados para a propulsão de um veículo. Diferente dos requisitos dos motores elétricos industriais convencionais, os motores utilizados nos VEs necessitam de uma faixa alargada de velocidades de operação, frequentes paradas e arranques, altas taxas de aceleração e desaceleração e elevado torque em baixas velocidades assim como baixos torques em altas velocidades. Dessa forma, para acionamento dos motores elétricos de forma eficiente e controlada é necessário um conversor, o qual tem a função de converter o valor de tensão, corrente ou frequência para um valor adequado para a aplicação nos motores, assim realizando o controle de velocidade. Alguns exemplos típicos utilizados em VEs são os recortadores (CC-CC), os inversores (CC-CA), os retificadores (CA-CC) e os ciclo conversores (CA-CA) (RUEDA, 2014).

2.2.2 Motores de Indução

Segundo Chapman (2013), uma máquina de indução pode ser definida como uma máquina com apenas um conjunto contínuo de enrolamentos amortecedores. Essas máquinas são chamadas de máquinas de indução pois a tensão do estator (que produz a corrente do rotor e o campo magnético do rotor) é induzida nos enrolamentos do rotor ao invés de ser fornecida por meio de uma conexão física de cabos. A característica que diferencia um motor de indução dos demais é que não há necessidade de uma corrente de campo CC para fazer a máquina funcionar. Embora seja possível utilizar uma máquina de indução como motor ou como gerador, ela apresenta inúmeras desvantagens como gerador e, por isso, ela é usada como gerador somente em aplicações especiais. Por esse motivo, as máquinas de indução são geralmente referidas como motores de indução (CHAPMAN, 2013).

O motor de indução é considerado um forte candidato para a propulsão dos veículos elétricos à bateria (BEV) e os veículos híbridos elétricos (HEV) devido a sua confiabilidade, robustez, baixa manutenção, baixo custo e sua habilidade para trabalhar em ambientes hostis (ZERAOULIA, BENBOUZID e DIALLO, 2006).

A Figura 2 representa o circuito equivalente monofásico de um Motor de Indução.

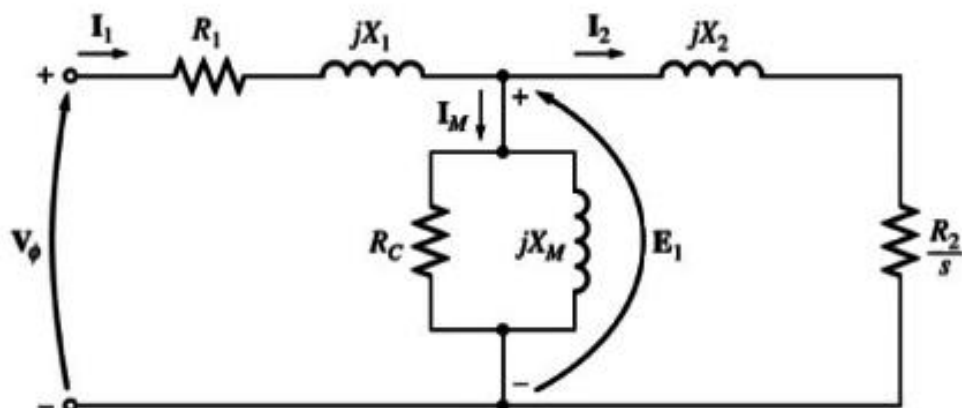


Figura 2 - Circuito equivalente monofásico de um motor de indução

Fonte: Chapman (2013)

Outra característica importante na aplicação veicular é seu torque instantâneo. O comportamento das especificações deste motor pode ser observado na figura 3.

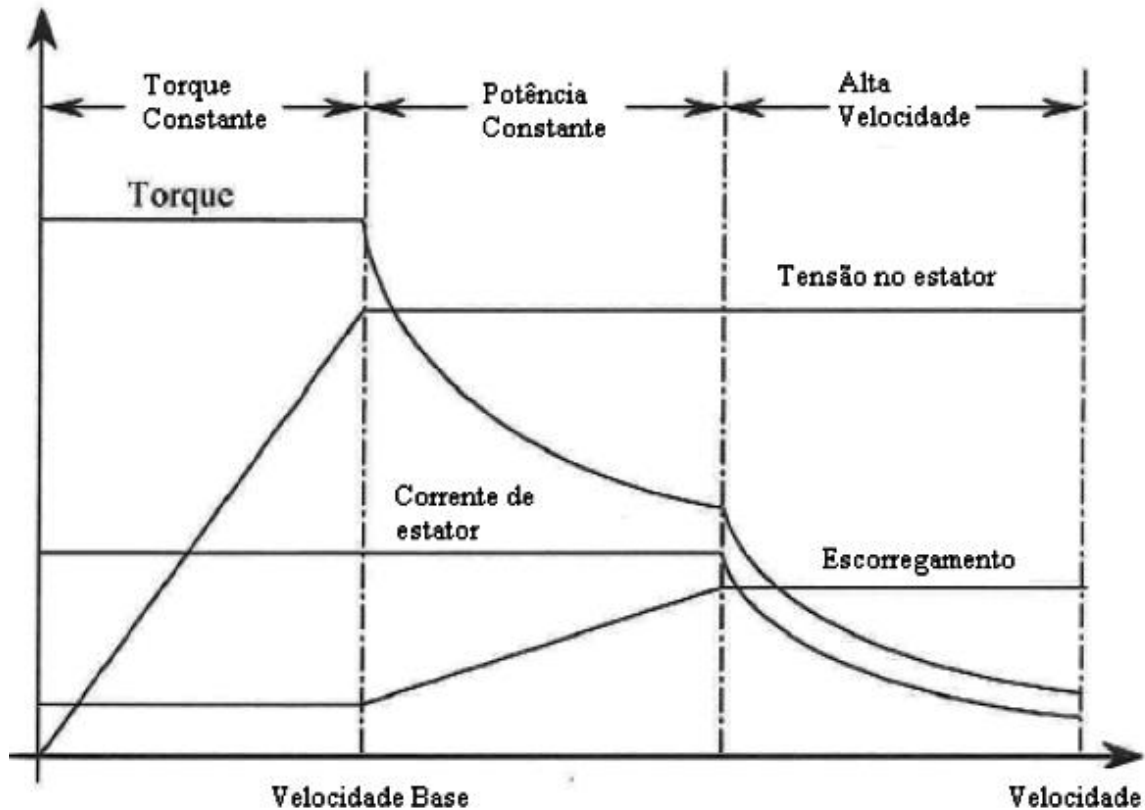


Figura 3 - Torque X velocidade do motor de indução

Fonte: Zeraoulia (2006), Coelho (2017)

2.2.3 Motor de Imã Permanente

Motor síncrono que não possui escovas. Suas principais características são o baixo peso e volume (motor relativamente pequeno), dentre os motores elétricos aplicáveis no setor automotivo apresenta maior eficiência, além de dissipar muito bem o calor em seus arredores. Motor elétrico de maior potencial no setor automotivo (ZERAOUZIA, BENBOUZID e DIALLO, 2006).

Na figura 4 pode-se verificar o comportamento de torque em função da velocidade deste motor.

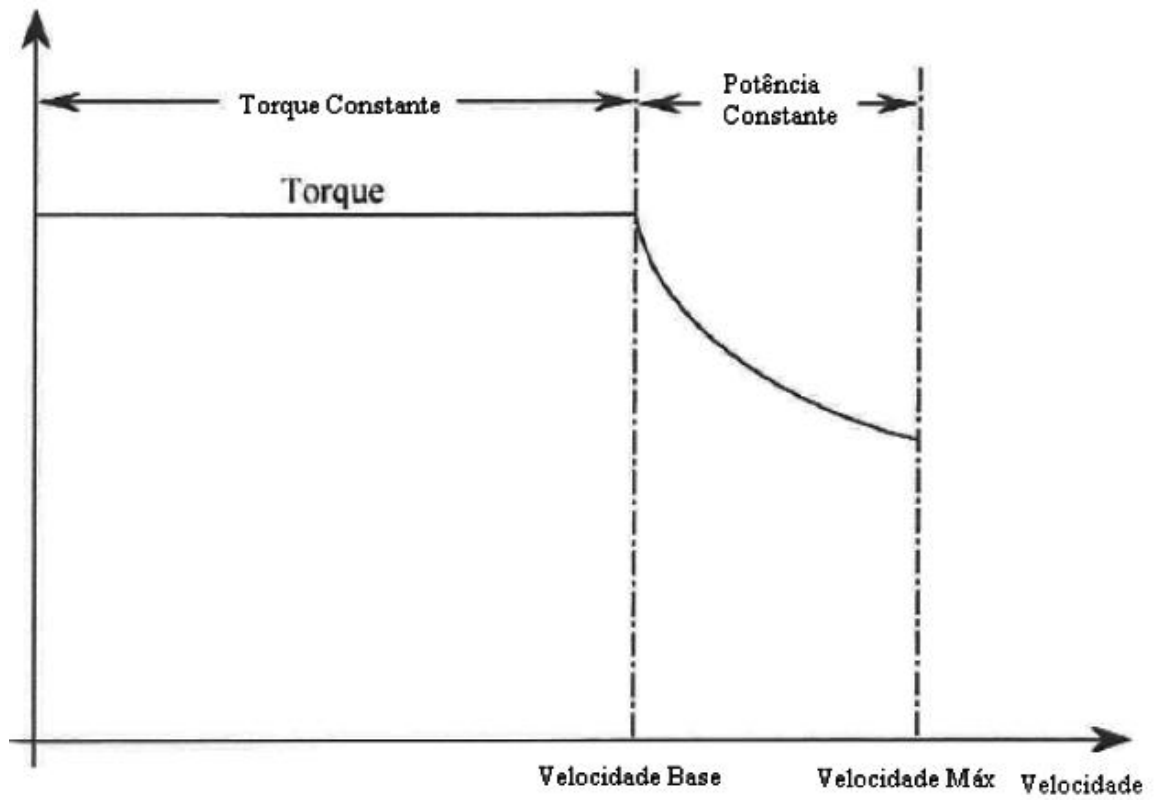


Figura 4 - Torque X velocidade do Motor Síncrono de Ímã permanente

Fonte: Zeraoulia (2006), Coelho (2017)

3 VEICULOS AUTOMOTORES

Os veículos automotores são essenciais para locomoção de pessoas tanto a trabalho quanto a lazer e estar amplamente disseminado ao meio da sociedade moderna. São veículos capazes de se locomover com motor próprio e se diferenciam quanto força e fonte de propulsão gerada.

3.1 Veículos Motor à Combustão Interna (MCI)

Os MCI's são amplamente utilizados para propulsão de veículos. Estes motores possuem cilindros, onde uma mistura entre combustível, oxigênio e centelhas provocam explosões no interior do bloco do motor. A pressão causada pelo deslocamento de ar dentro da câmara de combustão fazem os pistões se movimentarem, em seguida entram em ação os componentes de transmissão, que conectados às rodas, fazem o veículo andar. Esses motores utilizam como princípio de funcionamento o ciclo de Otto ou Diesel, que ocorre em quatro tempos, que são: Admissão, Compressão, Explosão e Expulsão. Que serão explicados a seguir:

Admissão - A admissão é a etapa onde ocorre a entrada de ar e combustível na câmara de combustão. Neste momento, a válvula de admissão se encontra aberta e a válvula de escape fechada, o sistema de carburação ou injeção insere o combustível através dos bicos injetores, à medida que a válvula é aberta, possibilitando a entrada de ar dosada pelo coletor, ajustando a estequiometria de acordo com o regime de funcionamento da unidade, definido pelos mapas de calibração. Em seguida, os pistões se deslocam do ponto morto superior para o ponto morto inferior, aspirando a mistura para dentro da câmara, pelo movimento de descida, devido à pressão atmosférica.

Compressão – Nesta etapa, as válvulas de admissão se fecham e os pistões se deslocam do Ponto Morto Inferior (PMI) ao Ponto Morto Superior (PMS) fazendo o processo de compressão da mistura.

Explosão - Quando atingido o ponto máximo pelo pistão, a vela de ignição emite uma faísca elétrica que em contato com a mistura de ar e combustível causa uma explosão, empurrando o pistão para baixo. A energia cinética proveniente da expansão dos gases é transmitida para o pistão, que por sua vez movimenta o eixo do virabrequim, fazendo com que o carro venha a se movimentar. É nessa parte que a energia química proveniente da combustão é convertida em energia mecânica.

Expulsão - O pistão volta ao ponto morto superior e a válvula de expulsão é aberta, permitindo com que os gases provenientes da combustão sejam liberados. Quando essa válvula se fecha, a válvula de admissão é aberta novamente recomeçando o processo. A figura 5 apresenta o funcionamento de um motor 4 tempos.

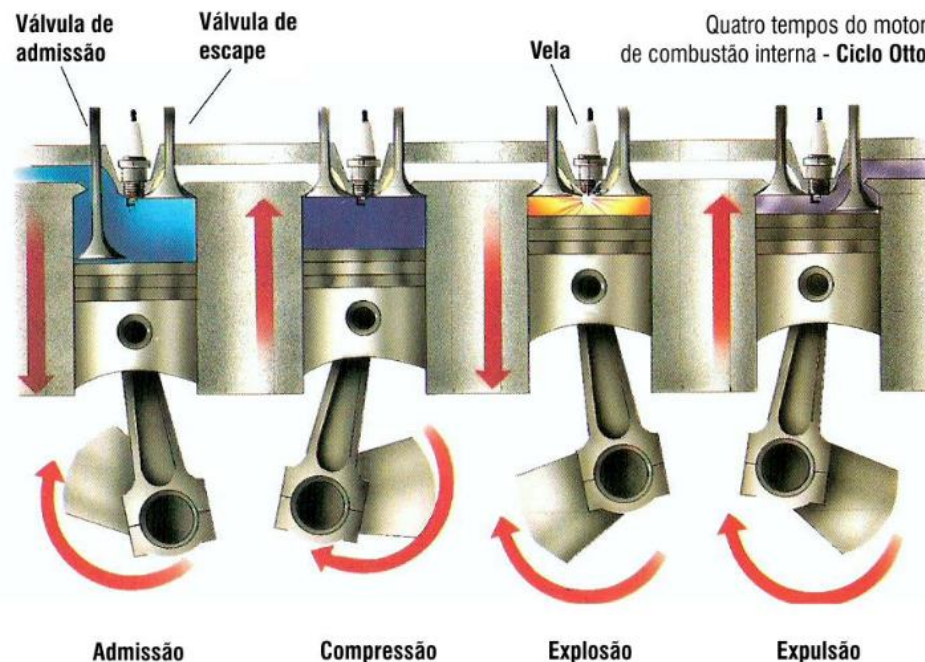


Figura 5 - Processo ciclo Otto

Fonte: MultiPetro (2018)

Os veículos com propulsão MCI são de grande confiabilidade e vêm sendo utilizados a décadas pela sociedade. O esquema básico é representado na figura 6.

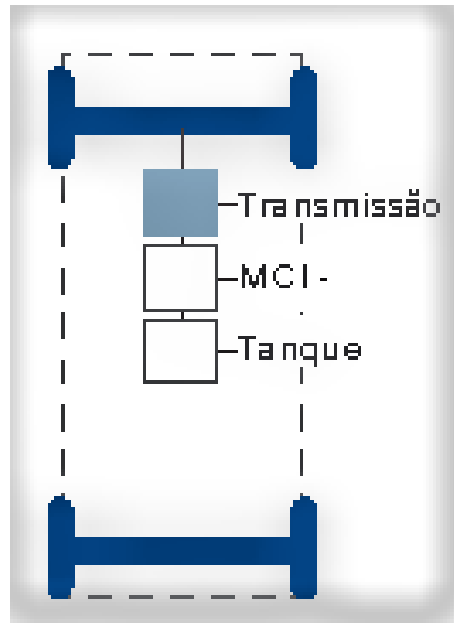


Figura 6 - Veículo a combustão interna (VCI)

Fonte: Cadernos FGV energia - carros elétricos

As principais características de um VCI estão descritas a seguir:

- Tipo de Motor: Motor à combustão interna.
- Tipo de Combustível: Fóssil ou biocombustível. Alto consumo de combustíveis e emissões de escape.
- Tipo de Armazenamento Elétrico: Bateria que não necessita de infraestrutura elétrica.
- Autonomia: Grande autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/biocombustível.
- Emissões: 0,23 kg CO₂/Km.

3.2 Veículos Totalmente Elétricos

Um veículo elétrico é determinado como “aquele cuja propulsão de pelo menos uma de suas rodas ocorre por meio de um motor elétrico” (CHAN, 2007 apud BARASSA, 2015).

Os veículos elétricos (VEs) revelam-se como uma alternativa capaz de complementar as opções já disponíveis no setor automobilístico e numa concepção inteligente, uma boa saída ao aumento do preço do petróleo.

Os VEs utilizam eletricidade como combustível que pode ser adquirida de diferentes formas: conectando-se diretamente à fonte externa de eletricidade, por meio de plugs ou utilizando cabos aéreos, dispendo também de sistemas de indução eletromagnética ou por meio da energia mecânica de frenagem (frenagem regenerativa, ao se frear o veículo) armazenando a eletricidade em baterias e alimentando o motor do veículo (QUINTELLA, MAGALHÃES, *et al.*, 2017). A figura 7 ilustra a estrutura básica de um Veículo Totalmente Elétrico plug-in:

1 – Baterias: O conjunto de baterias, posicionadas no assoalho do veículo, armazenam energia proveniente da rede elétrica ou da frenagem regenerativa e assim alimentam o motor elétrico do veículo.

2 – Módulo de Controle: Responsável por gerenciar o consumo da energia que está contida na bateria e alimenta o motor elétrico.

3 – Motor Elétrico: Tem a função de converter a energia das baterias em movimento.

4 – Freio Regenerativo: Transforma a energia cinética do veículo durante a frenagem, em energia elétrica que reabastece as baterias.

Ponto de Carregamento – Tomada por onde o veículo recebe alimentação da rede para carregamento da bateria.

Na figura 7 podemos exemplificar a estrutura básica interna de um veículo totalmente elétrico:

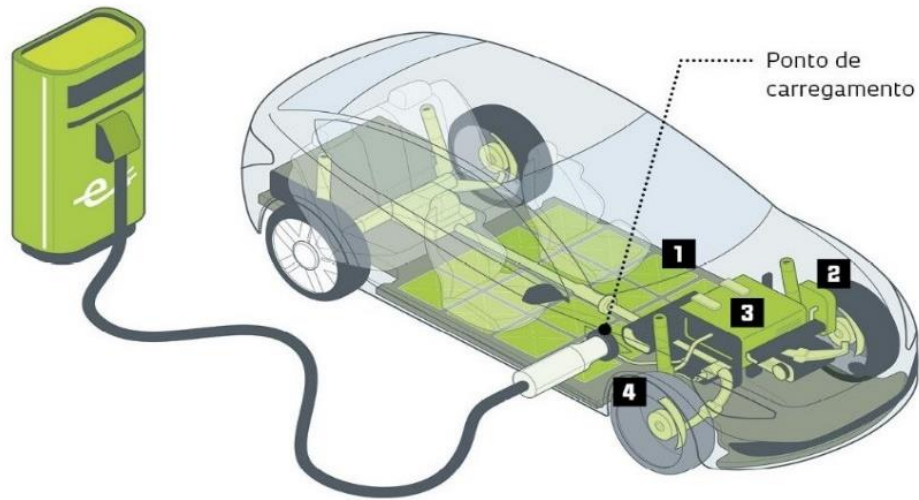


Figura 7 - Estrutura básica de um Veículo Elétrico

Fonte: Fapesp (2017)

3.2.1 Configurações dos Veículos Elétricos (VE)

Os VEs possuem diversas tecnologias e aparecem em diferentes configurações. As principais serão relacionadas a seguir:

O esquema básico da configuração com autonomia estendida (E-REV ou REX) está representado na figura 8.

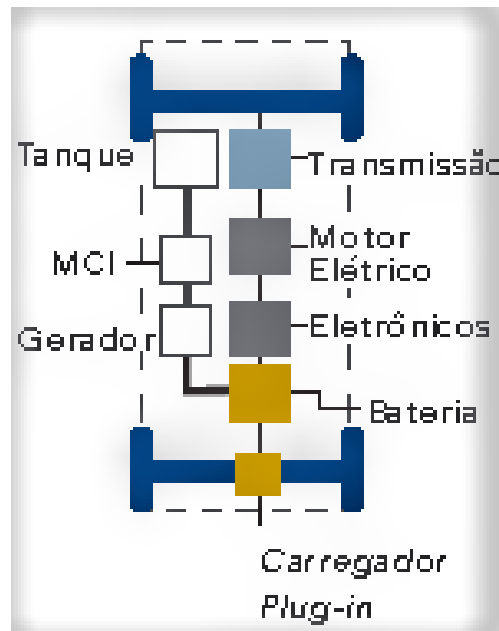


Figura 8 – Esquema básico de VE com autonomia estendida (E-REV ou REX)

Fonte: Cadernos FGV energia - carros elétricos (2017)

As principais características de um VE com autonomia estendida estão descritas a seguir:

- Tipo de Motor: Motores à combustão interna e elétrico **dispostos em série**. Motor elétrico é o principal para mover o veículo, com o motor à combustão interna gerando eletricidade para o elétrico.
- Tipo de Combustível: Eletricidade.
- Tipo de Armazenamento Elétrico: Bateria é recarregada como no híbrido. Além disso, costuma ter uma bateria com menor capacidade do que o (BEV) Veículo Elétrico a Bateria.
- Autonomia: Autonomia elétrica média, complementada pela autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/ biocombustível.
- Emissões: 0,060 kg CO₂/km.

O esquema básico da configuração à bateria (BEV) está representado na figura 9.

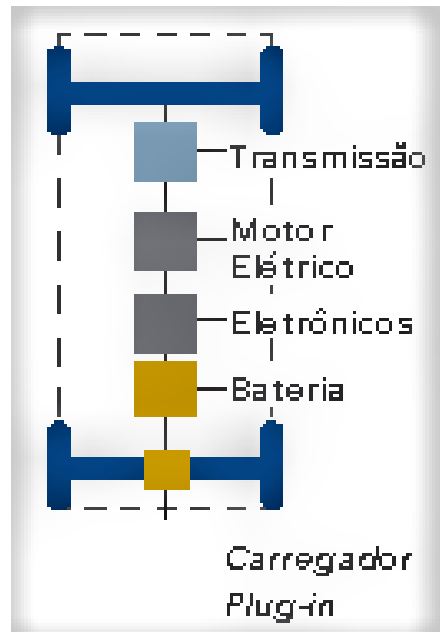


Figura 9 - Esquema básico VE à bateria (BEV)

Fonte: Cadernos FGV energia - carros elétricos (2017)

As principais características de um VE à bateria estão descritas a seguir:

- Tipo de Motor: 100% elétrico.
- Tipo de Combustível: Eletricidade.
- Tipo de Armazenamento Elétrico: Bateria de íons de lítio com grande capacidade, recarregada por fonte externa elétrica.
- Autonomia: Autonomia elétrica de pequena a média (comparada aos VCI).
- Emissões: Zero.

O esquema básico da configuração à célula de combustível (FCEV) está representado na figura 10.

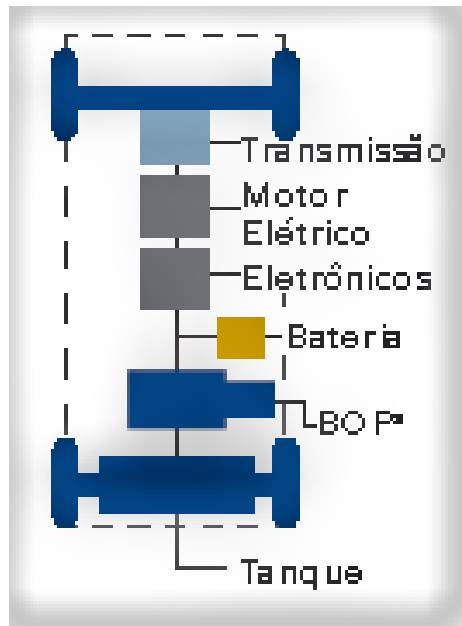


Figura 10 - Esquema Básico VE à célula de combustível (FCEV)

Fonte: Cadernos FGV energia - carros elétricos (2017)

As principais características de um Veículo Elétrico à Célula de Combustível (FCEV) estão descritas a seguir:

- Tipo de Motor: Sistema de célula de combustível e motor elétrico, que propulsiona o veículo, **dispostos em série**.
- Tipo de Combustível: Hidrogênio ou etanol.
- Tipo de Armazenamento Elétrico: Célula de combustível de hidrogênio baseada na tecnologia PEM19 (Proton Exchange Membrane); Célula de Combustível de Etanol de Óxido Sólido (SOFC).
- Autonomia: Autonomia elétrica de média a alta.
- Emissões: Zero.

3.3 Veículos Híbridos (HEV)

Para ultrapassar as barreiras técnico-econômicas dos BEV bem como as desvantagens ecossistêmicas dos veículos com MCI, foram desenvolvidos os HEV. Neles são reunidas duas fontes de energia (combustíveis de origem fóssil e energia elétrica) e dois ou mais motores (MCI e motores elétricos), para obter um sistema de melhor rendimento, resposta rápida, baixas emissões, alta economia de combustível e elevada autonomia (RUEDA, 2014). A figura 11 ilustra o esquema de funcionamento básico de um HEV plug-in.

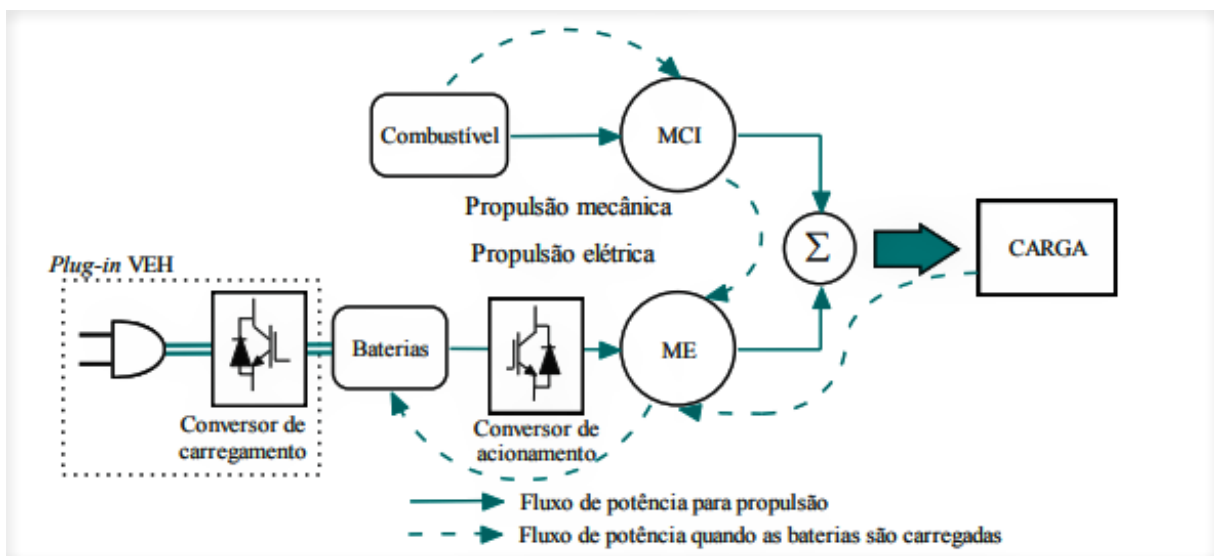


Figura 11 - Esquema de funcionamento básico de um HEV plug-in

Fonte: Rueda (2014)

O esquema básico da configuração Veículo Elétrico Híbrido plug-in PHEV está representado na figura 12.

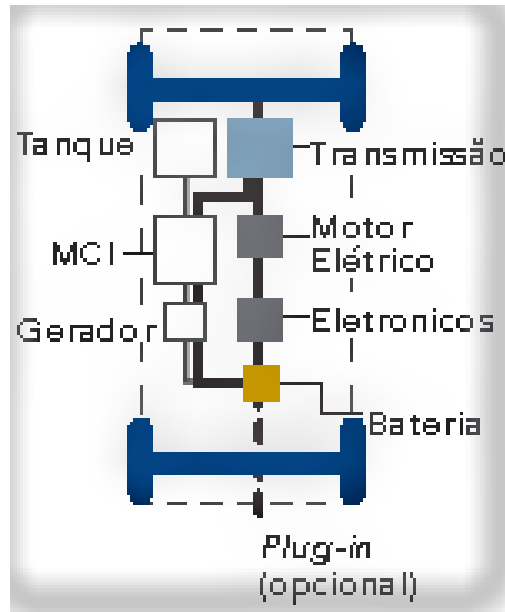


Figura 12 - Esquema Básico de VE (plug-in) híbrido PHEV

Fonte: Cadernos FGV energia - carros elétricos (2017)

As principais características de um VE (plug in) híbrido (P) HEV estão descritas a seguir:

- Tipo de Motor: Motores à combustão interna e elétrico **dispostos em paralelo**; sistema plug-in opcional. Motor à combustão é o principal para mover o veículo, com auxílio de um pequeno motor elétrico.
- Tipo de Combustível: Fóssil, biocombustível ou eletricidade. Melhor economia de combustível se comparado a um modelo similar à combustão interna.
- Tipo de Armazenamento Elétrico: Bateria carregada através do motor à Combustão interna ou por eletricidade (para híbridos plug-in).
- Autonomia: Pouca autonomia elétrica, que é complementada pela autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/ biocombustível.
- Emissões: 0,062 kg CO₂/km.

3.4 Tecnologias para Recuperação e Armazenamento de Energia

Armazenar significa: manter ou conservar, conter em depósito, acumular, fazer provisões. Desde o descobrimento da eletricidade, tem-se buscado procedimentos efetivos para armazenar energia elétrica de forma eficiente. A indústria do armazenamento tem progredido consideravelmente, com o objetivo de se adequar aos requisitos e avanços da tecnologia. Nos dias atuais, os sistemas de armazenamento de energia oferecem uma grande variedade de abordagens tecnológicas para gerenciar o fornecimento de energia e estabelecer uma infraestrutura energética mais resistente. As principais características dos dispositivos de armazenamento de energia que são determinantes para os VEs são a capacidade de potência (kW) e a energia armazenada (kWh). Durante o ciclo de condução, a demanda de potência e energia variam, pois baseiam-se pelos processos de aceleração e frenagem (CALÇADO, 2015). Serão apresentadas, algumas das tecnologias mais expressivas para geração e armazenamento de energia em VEs.

3.4.1 Frenagem Regenerativa

Nos modelos híbridos e também nos completamente elétricos, o motor elétrico viabiliza recuperação de parte da energia cinética durante os eventos de frenagem. Em veículos convencionais, esta energia é essencialmente dissipada por atrito nos sistemas de frenagem usuais. Em um sistema de frenagem regenerativa o motor elétrico passa a funcionar como um gerador, oferecendo torque de frenagem enquanto converte a energia cinética em energia elétrica, alimentando a bateria à medida que o veículo é desacelerado. O potencial de regeneração alcançável depende principalmente do modo que o veículo é operado e da capacidade dos componentes do sistema de propulsão. Estudos atribuem à regeneração a possibilidade de reciclar de 10 a 15% da energia gasta. A principal vantagem dos veículos que utilizam este sistema está na redução do consumo de eletricidade, promovendo maior economia de combustível (HEV, PHEV) e prolongamento da autonomia elétrica (PHEV, BEV) (SAMÚ, 2018).

3.4.2 Células de Combustível

As Células de Combustível chegam como uma nova tecnologia de geração limpa de energia elétrica e devem ganhar espaço para utilização em veículos elétricos. Este dispositivo é capaz de converter energia química em energia elétrica por meio de reações de oxirredução. Elas possuem como princípio de funcionamento a combustão eletroquímica a frio de combustíveis, que geralmente são Oxigênio e Hidrogênio, sendo capaz de fornecer energia enquanto estes combustíveis forem injetados. Para a obtenção de níveis de potência desejados, como por exemplo nos VEs, torna-se necessário a associação de várias Células de Combustível, formando a denominada Pilha de Células de Combustível (LENZ, 2013). A figura 13 apresenta o modelo de uma Célula de Combustível.

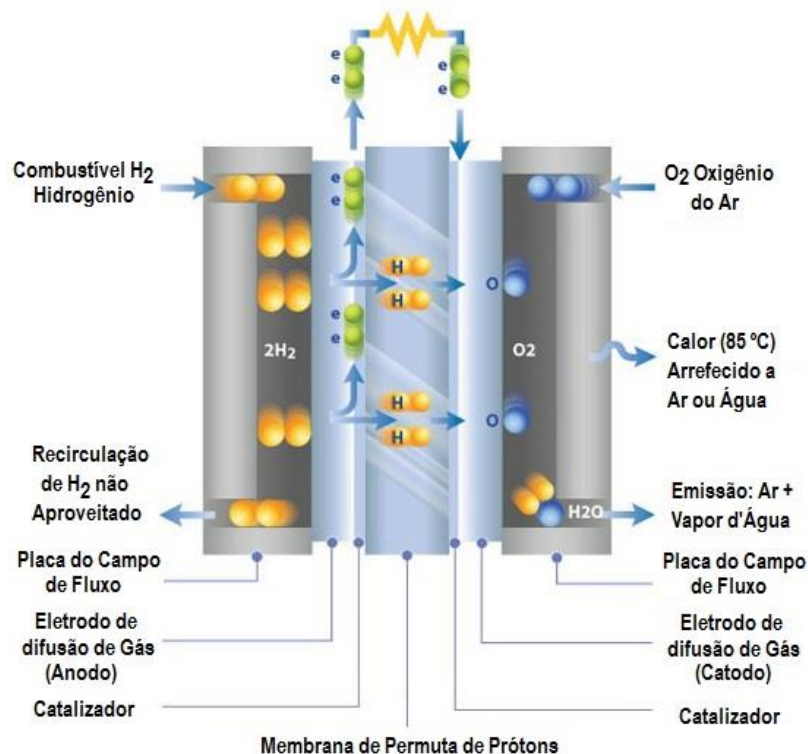
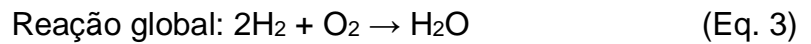
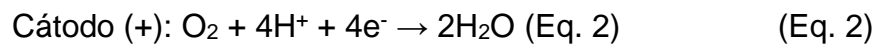


Figura 13 - Célula de Combustível

Fonte: Automoveis elétricos (2013).

A figura 13 apresentada, explica que o gás hidrogênio (H_2), que é utilizado como combustível, é bombeado para dentro da célula, no ânodo. Após atravessar o ânodo, o hidrogênio passa para o eletrólito, se dissolve e reage, formando H^+ e liberando elétrons. Então, os elétrons são conduzidos até o cátodo pelo circuito externo, onde, com o auxílio de um catalisador, reduz o oxigênio (geralmente proveniente do bombeamento de ar) (LENZ, 2013). Sendo assim, as reações que ocorrem em uma célula de combustível estão representadas nas equações 1, 2 e 3.



3.4.3 Supercapacitores

Os capacitores, componentes elétricos que estão disponibilizados no mercado há anos, são responsáveis pelo armazenamento de energia em baixa quantidade e podem ser carregados e descarregados milhares de vezes. O avanço da nanotecnologia, possibilitou a chegada de capacitores que armazenam centenas de vezes mais energia do que os capacitores tradicionais. Essa nova tecnologia de armazenamento de energia, nomeada de supercapacitores, é uma versão de elevada energia dos capacitores convencionais, ou seja, são dispositivos armazenadores de energia elétrica capazes de oferecer alta potência e alta energia quando comparados aos capacitores comuns e às baterias. Os supercapacitores recebem este nome por apresentarem capacitâncias da ordem de milhares de Faradays, algo impossível para capacitores convencionais. Quando comparados com baterias, supercapacitores possuem ciclo de vida consideravelmente alto, como também maior densidade de potência. Dessa forma, se fazem ideais para aplicações que envolvem sistemas de armazenamento de alta potência durante curtos intervalos de tempo. Essa tecnologia está sendo inserida ao mercado, porém um grande obstáculo de sua implementação

ainda é seu elevado custo. Um banco de baterias pode ser utilizado como fonte principal de energia para suprir a demanda do veículo elétrico. Entretanto, variações bruscas de potência nos momentos de aceleração e desaceleração do veículo podem resultar em uma rápida perda de desempenho e conseqüentemente diminuição da vida útil de baterias. Como fonte de transferência rápida de energia, módulos supercapacitores podem ser associados à baterias formando um sistema híbrido de suprimento de energia com características de maior durabilidade e desempenho dinâmico (MELO, 2014).

3.4.4 Bateria

Uma bateria possui a função de um acumulador, transformando energia química em energia elétrica, reciprocamente, normalmente essa conversão ocorre através de uma reação de oxirredução. A oxidação ocorre no pólo negativo, denominado ânodo, enquanto a redução ocorre no polo positivo, o cátodo. Os elétrons se deslocam do anodo em direção ao catodo, gerando energia elétrica (CASTRO, BARROS e VEIGA, 2013).

Segundo Borba (2012), as três principais características de uma bateria são a energia específica mássica, a potência específica mássica e a estimativa do tempo de vida útil. A energia específica mássica consiste na quantidade de energia armazenada pela bateria por unidade de massa, a potência específica mássica é a potência fornecida por unidade de massa, o tempo de vida útil corresponde ao número de ciclos de carga/descarga a que pode ser sujeita (BORBA, 2012).

Dentre as tecnologias de armazenamento apresentadas, são as baterias as mais utilizadas em VEs. Figura 14 ilustra o funcionamento básico de uma bateria de lítio.

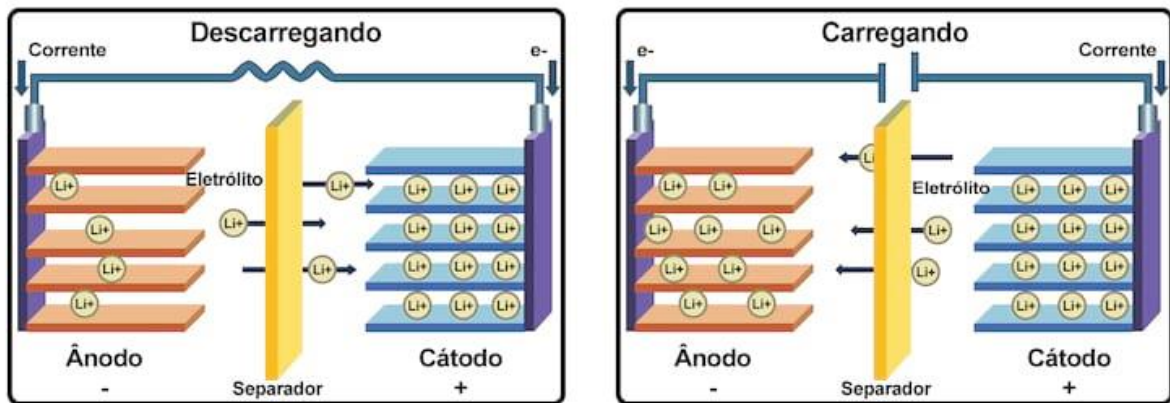


Figura 14 - Bateria de lítio.

Fonte: Oficina net (2018)

Os tipos de baterias mais empregados nos modelos existentes são:

- Chumbo-ácido $PbSO_4$: As baterias de chumbo-ácido são utilizadas nos carros convencionais e caminhões usadas para o arranque, ignição, iluminação e demais funções elétricas. Elas são relativamente mais baratas e possuem uma elevada densidade de potência e uma densidade de energia relativamente baixa (CALÇADO, 2015).
- Hidretos de Níquel (NiMH): São de uso frequente em veículos híbridos. Com custo moderado, elas possuem uma densidade de energia aproximadamente duas vezes maior que as baterias de chumbo-ácido, mesmo com densidade de potência menor em termos de volume (espaço necessário). Elas também dispõem de uma taxa de auto descarga mais elevada que consiste na tendência de descarregar-se quando não estiver sendo utilizada, ainda que sejam capazes de fornecer um elevado pico de energia. Descargas rápidas repetitivas com altas cargas diminuem o ciclo de vida da bateria. Com isso, são mais adequadas para fins de aplicações híbridas do que em BEVs, que normalmente trabalham em ciclos de descarga profunda (CALÇADO, 2015).

- **Íon-Lítio (LI-ION):** As baterias de íon-lítio são habitualmente usadas nos PHEVs e BEVs, assim como em alguns híbridos convencionais. As suas densidades de energia e de potência são ambas especificamente maiores do que as baterias NiMH e as de chumbo-ácido, com eficiência de carga e descarga também maior. São mais caras e na sua forma mais comum faz-se necessária um controle bem elaborado do sistema de resfriamento da bateria. As baterias de lítio-íon são preferencialmente escolhidas para aplicação em muitos PHEVs e atualmente nos modelos BEVs, por causa de sua alta densidade de energia (CALÇADO, 2015).
- **Polímero de Lítio (Li-poli):** A bateria de polímero de lítio se assemelha a outras baterias de íon-lítio, se diferenciam por um eletrólito sólido de plástico (polímero), onde a sua forma de células não se limita à forma cilíndrica convencionais da maioria dos outros. Isso significa que a sua forma pode ser modificada em conformidade com espaços específicos dentro de um veículo, melhorando assim a utilização do espaço. Suas demais características são similares às de outras baterias de íon-lítio. As baterias Li-poli já vêm sendo aplicadas em alguns veículos híbridos (CALÇADO, 2015).
- **Fosfato de Ferro Lítio (LFP):** As baterias de íon-lítio possuem diversas variações, de acordo com sua química interna, principalmente o material usado no cátodo da bateria sendo os mais comuns os óxidos de cobalto e os óxidos de manganês. A bateria de fosfato de ferro lítio usa química de íons de lítio, porém utiliza um cátodo de fosfato de ferro. Comparado com outras baterias de íon-lítio, suporta níveis de temperaturas mais altas e possui maior estabilidade química, eliminando o risco de incêndio em caso de curto-circuito ou sobrecarga. Sua classificação de potência de pico é maior e sua densidade de energia é significativamente menor do que em outras baterias a base de lítio. Baterias de fosfato de ferro lítio estão sendo utilizadas por algumas montadoras em híbridos e BEVs, pois, consideram que as suas vantagens de segurança compensam até mesmo a menor densidade de energia. Vem sendo realizada uma grande análise sobre os coeficientes de descarga e tipos de material a

serem usados nas células das baterias. Com isso, pode-se afirmar que nos próximos anos a densidade energética das células de baterias de íons de lítio irão mais que dobrar com a adição de outros materiais como o Manganês e o Cobalto (CALÇADO, 2015).

A figura 15 apresenta a Curva de Poder Específico x Energia Específica dos modelos de baterias mais usuais.

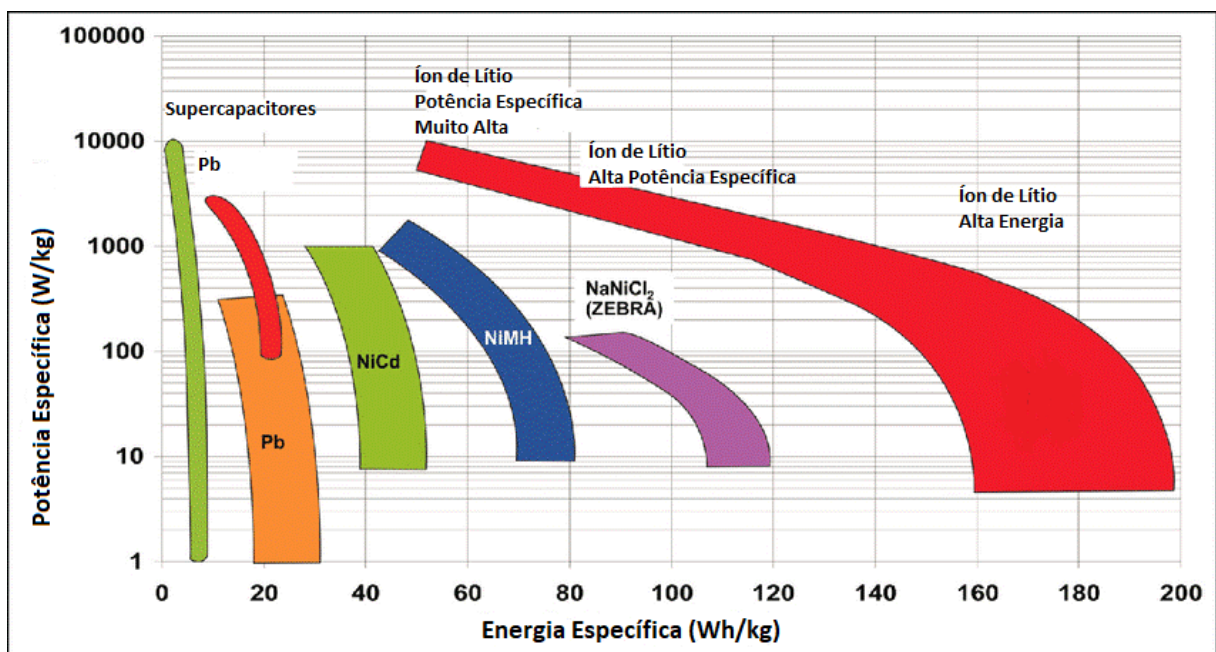


Figura 15 - Curvas de Ragone

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Campbell (2011)

3.5 Infraestrutura de Recarga

Com o intuito de que os VEs possam ganhar espaço no setor automobilístico nacional, torna-se necessária a implementação de uma infraestrutura capaz de suprir a necessidade de recarga das baterias, que são a interface entre o setor de transportes e o setor elétrico. Pois para o consumidor seria inviável adquirir um VE sem ter um local onde possa carregar seu automóvel. Os eletropostos são estações

de recarga conectadas a rede elétrica e assim conseguem alimentar as baterias dos VEs. As construções dos eletropostos devem ser feitas em locais públicos e privados, e deverão acompanhar a proporcionalidade de VEs existentes nas ruas. No caso das residências, não é aconselhável que as baterias dos veículos elétricos sejam carregadas em tomadas convencionais, devido ao grande risco de superaquecimento e avarias ao carregador veicular, outro obstáculo seria o padrão dos plugues, que são de modelos diferentes dos eletrodomésticos. Para solucionar tal situação, torna-se necessária a instalação de uma estação de recarga, com tomada dedicada a esta operação, que contenha as devidas proteções e padronizações, realizando a carga da melhor forma possível, mantendo a vida útil das baterias (CALÇADO, 2015).

3.5.1 Tipos de Carregamento

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), normatizou em 2017 a classificação das formas de carregamento de veículos elétricos no Brasil, que são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Formas de Carregamento

Potência Nominal	Conexão	Potência (KW)	Corrente (A)	Recarga (alcance/hora)	Instalação
Normal	Monofásica	<3,7	10-16	<20km (8h carga total)	Doméstica
Média	Mono/Trifásica	3,7 - 22	16-32	20 – 110km (2-8h carga total)	Locais Públicos
Alta	Trifásica	>22	32	>110km (2h carga total)	Locais Públicos
Alta	Corrente Contínua	>22	32	>110km (2h carga total)	Locais Públicos

Fonte: Adaptada pelos autores a partir de ANEEL (2017)

O carregamento do tipo normal (lento) tem aplicação recomendada para residências e empresas, o tipo média (semi-rápido) para locais públicos, vias públicas, centros comerciais, shopping centers, estacionamento, etc. E o tipo alta (rápido) possui aplicação recomendada para rodovias, pontos de táxi e pontos públicos em geral. A figura 16 ilustra exemplo de carregamento doméstico e pontos públicos.

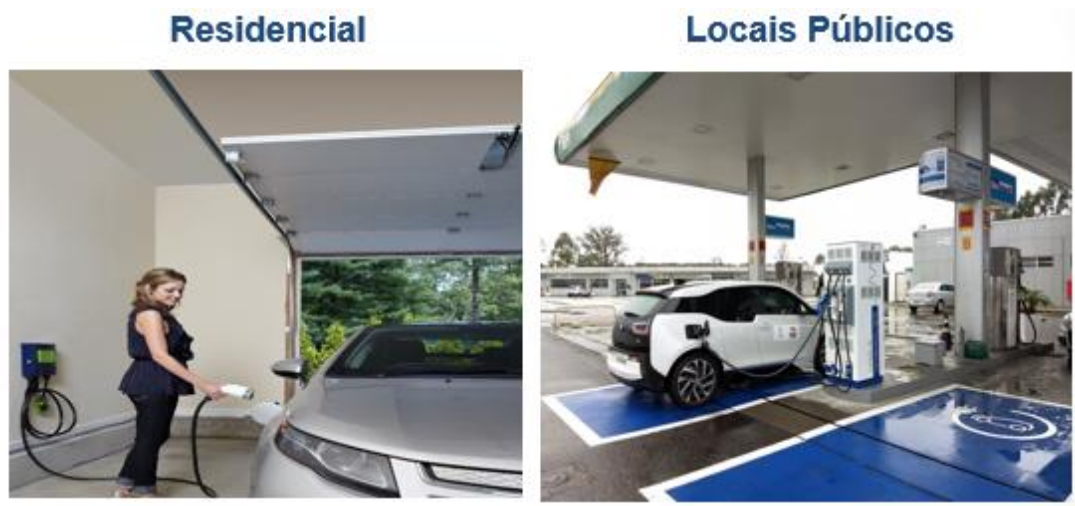


Figura 16 - Carregamento doméstico e em local público

Fonte: Jornal do comércio (2018)

3.5.2 Tipos de Plugs

Para o carregamento dos VEs utilizam-se plugs que conectam o veículo a estação de recarga, dessa forma existem diferentes tipos, baseados em normas americanas e europeias, que serão apresentadas a seguir.

3.5.2.1 Tipo 1- SAE J1772

A SAE J1772 é uma norma norte-americana, responsável por padronizar conexões elétricas para VEs nos EUA, contemplando conexões elétricas, protocolos

de comunicação, especificações de desempenho dos sistemas de recarga condutivos de VEs e acopladores (Mobilidade Elétrica, 2017).

O plugue da SAE J1772 é do tipo Tipo 1, conforme a norma IEC 62196-2, pois é utilizado somente com entrada monofásica. A figura 17 ilustra o plug.



Figura 17 - Plug tipo 1 - SAE J1772

Fonte: CPFL Energia (2017)

A SAE J1772 especifica o diâmetro da circunferência do conector em 43 mm, e este possui 5 pinos, com 3 diferentes bitolas, conforme a figura 18 que apresenta as funções e atribuições da pinagem do padrão SAE J1772.

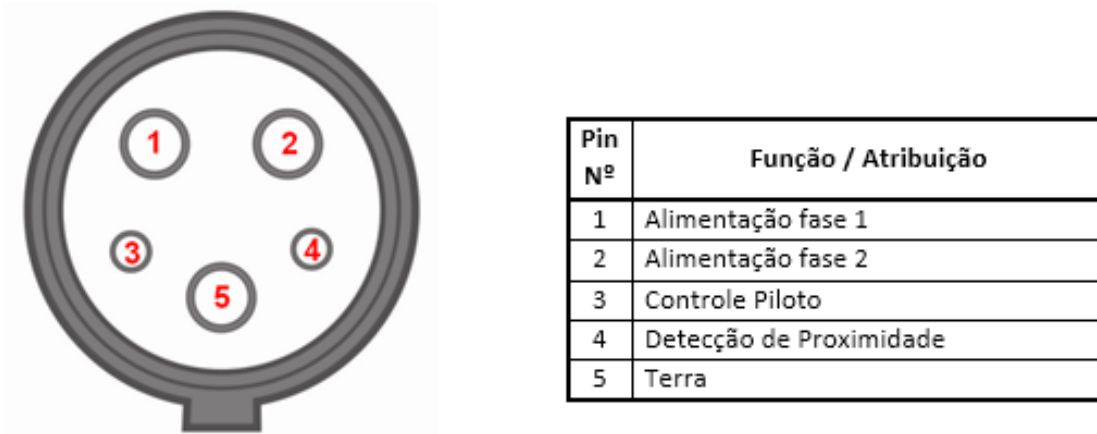


Figura 18 - Pinagem do padrão SAE J1772

Fonte: CPFL Energia (2017)

O pino de detecção de proximidade previne que o VE se movimente enquanto estiver conectado ao eletroposto. Já o pino de controle piloto realiza a comunicação com o VE, gerando uma onda quadrada (1 kHz / ± 12 V) que é utilizada para detectar a conexão do VE ao EP, informar a máxima corrente de recarga permitida e controlar a recarga.

O plugue é projetado para suportar 10.000 conexões / desconexões (Mobilidade Elétrica, 2017).

O plugue e conector Tipo 1 (padrão SAE J1772) é compatível com os VEs que são comercializados principalmente na América do Norte (EUA e Canadá), por exemplo:

- Nissan Leaf;
- Chevrolet Volt;
- Toyota Prius Plug-in Hybrid;
- Mitsubishi i-MiEV;
- Honda Fit EV;
- Kia Soul EV;
- Tesla Model S (via adaptador portátil fornecido pela Tesla).

3.5.2.2 TIPO 2 – MENNEKES

Mennekes é um fabricante alemão de plugues e conectores industriais. O padrão para VE é conhecido como Mennekes Tipo 2, pois é o padrão Tipo 2 da norma IEC 62196-2. Este padrão foi o adotado pela ACEA (Associação dos Fabricantes Europeus de Automóveis), sendo assim é usado em VEs e estações de recargas projetadas na Europa. O plug é demonstrado na figura 19.



Figura 19 - Plug tipo 2 – Mennekes

Fonte: CPFL Energia (2017)

Esta conexão exibe em um único dispositivo a capacidade de atender os três métodos existentes de recarregamento, todos em corrente alternada (CA): normal, semirrápido e rápido. Esse padrão é apropriado para conexões monofásicas e trifásicas.

Assim como o padrão Tipo 1, utiliza os pinos de "controle piloto" e "terra" para realizar a comunicação entre o VE e o eletroposto, contemplando sistemas de proteção e segurança, tais como: verificação do aterramento da estação de recarga,

comunicação com o VE e intertravamento elétrico e mecânico (Mobilidade Elétrica, 2017). A Figura 20 representa a pinagem do padrão Tipo 2.

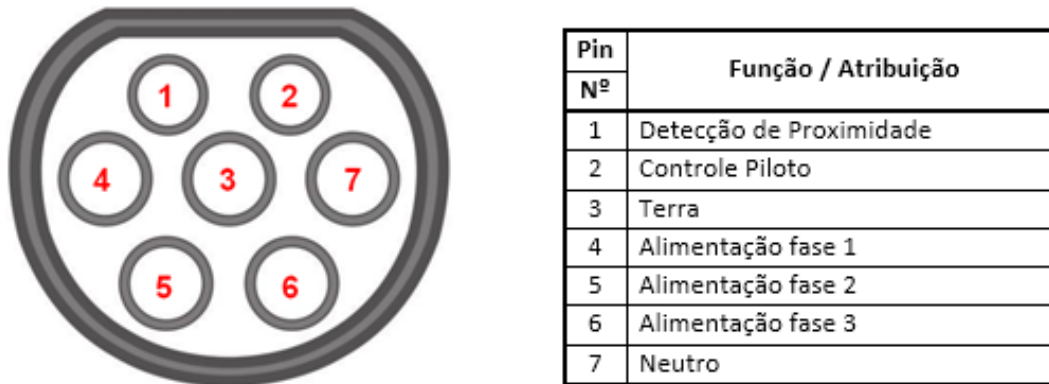


Figura 20 - Pinagem do padrão Tipo 2

Fonte: CPFL Energia (2017)

Os VEs comercializados que utilizam este padrão são:

- Renault Kangoo Z.E;
- Renault ZOE;
- Renault Fluence Z.E;
- BYD e6;
- BMW i3;
- Volkswagen e-Up!;
- Volkswagen e-Golf.

3.5.2.3 CHADEMO – Recarga Rápida CC

O padrão CHAdeMO (“Charge de Move” – recarregue para o movimento) foi implementado por uma associação formada no Japão, constituída pelas empresas

Tokyo Electric Power Company, Nissan, Mitsubishi, Toyota e Fujy Heavy Industries, com o objetivo de atender o método de recarga rápida de VEs (Mobilidade Elétrica, 2017). O plug é demonstrado na figura 21.



Figura 21 - Plug CHAdeMO – Recarga rápida CC

Fonte: CPFL Energia (2017)

Sua recarga pode ocorrer em potências de até 62,5 kW e a alimentação é em corrente contínua (CC), ao invés da alimentação CA dos outros métodos. Este padrão de conexão realiza a comunicação entre a estação de carga e o VE via protocolo CAN (Controller Area Network).

As funções e atribuições da pinagem do padrão CHAdeMO estão representadas na figura 22.

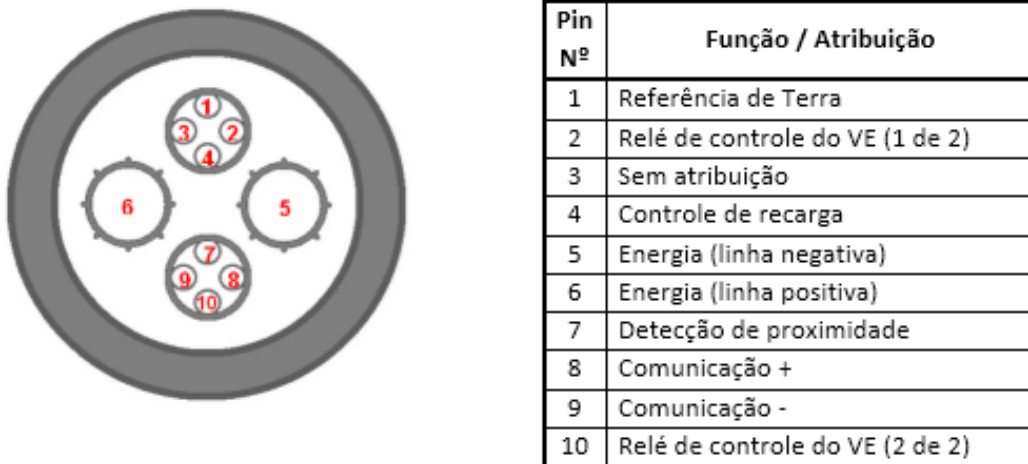


Figura 22 - Pinagem do padrão CHAdeMO

Fonte: CPFL Energia (2017)

Este padrão é frequentemente usado no Japão e EUA, principalmente pelo fato de ser um padrão pioneiro para recargas rápidas em CC. Os VEs compatíveis com este padrão utilizam uma tomada separada dos outros métodos de recarga (Tipo 1 ou 2), sendo eles:

- Nissan Leaf;
- Mitsubishi i-MiEV;
- Kia Soul EV;
- Citroen C-Zero;
- Peugeot iOn;
- Fiat 500.

3.5.2.4 Combo CCS – Tipo 1 ou Tipo 2

O Sistema de Recarga Combinado (Combined Charging System - CCS), chamado de Combo, foi oficialmente difundido em 2012. A SAE, em conjunto com a IEC, criou um padrão que permite a recarga rápida em CC como também a recarga

(lenta ou rápida) em CA. Oito montadoras aderiram a este novo padrão, sendo eles: Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ford, General Motors, Porsche e Volkswagen. O objetivo desse padrão é que os usuários de VEs tenham a possibilidade de utilizar a maioria dos eletropostos atuais, permitindo a implantação de uma infraestrutura comum aos diversos VEs. Esta conexão apresenta em um único dispositivo a capacidade de utilizar todos os métodos existentes de recarregamento: monofásico CA, trifásico CA e rápido CC. Porém, devido a existência de diversos padrões de recarga, sendo principalmente adotado o Tipo 1 (nos EUA) e o Tipo 2 (na Europa), este novo padrão acompanhou essa divergência entre regiões, e também está disponível em dois modelos: o Combo Tipo 1 e o Combo Tipo 2. Apesar do objetivo de corrigir a existência de diferentes padrões, há dois tipos de combo (Mobilidade Elétrica, 2017). Os combos estão ilustrados na figura 23.



Figura 23 - Combo do tipo 1 e 2

Fonte: CPFL Energia (2017)

Por ser um padrão lançado recentemente, poucos VEs possuem o padrão CCS. Alguns dos modelos de VEs que possuem são:

- GM Chevy Spark EV (Tipo 1);
- BMW i3 (Tipo 1 nos EUA e Tipo 2 na Europa);
- Volkswagen e-Up! (Tipo 2);
- Volkswagen e-Golf (Tipo 2).

4 METODOLOGIA

As informações contidas na monografia dão-se através de pesquisas relacionadas ao atual cenário de mobilidade elétrica no Brasil, abordando expectativas para o futuro. Será abordado um breve comparativo de consumo dos motores a combustão interna convencionais e os motores elétricos, um estudo dos sistema de infraestrutura de recarga, consumo e demanda energética nacional, de forma a analisar-se o impacto no Sistema Interligado Nacional com a inserção de veículos elétricos no setor de transportes. A metodologia aplicada baseia-se em uma revisão bibliográfica.

4.1 Cenário Brasileiro de Mobilidade Elétrica

Atualmente há cerca de 2 milhões de VEs circulando em todo o mundo e segundo a IEA, e estima-se que esse número subirá para 125 milhões até 2030, isso empurrando principalmente por países da Ásia, Europa e América do Norte onde inclusive já existem metas para banir de vez os MCIs como visto na tabela 1 (IEA, 2018).

No Brasil essa realidade está bem mais distante uma vez que faz-se necessários diversos esforços e investimentos para preparação para se absorver de forma adequada esses veículos, porém, aos poucos o Brasil vem entrando na nova tendência mundial de eletrificação das frotas de veículos, já é possível encontrar alguns VEs circulando por cidades brasileiras de fato grande parte são híbridos, o que já sinaliza um possível crescimento na utilização desses veículos no futuro assim também como os totalmente elétricos. Isso se dá principalmente a investimento por empresas público privadas que vem direcionando esforços na implantação de infraestrutura de recarga, um dos principais fatores para disseminação dos VEs (ABVE, 2018).

O estado de São Paulo vem saindo na frente em mobilidade elétrica e tem projetos para a redução pela metade da emissão de GEE nos próximos 10 anos com foco nos ônibus e caminhões de lixo. É comum encontrar ônibus elétricos circulando

pelas cidades do estado, a expectativa é que nos próximos 6 anos suceda um aumento de 40% desta frota (ABVE, 2018).

A cidade de Volta Redonda, situada no sul do Estado do Rio de Janeiro, implantou o projeto “Tarifa Comercial Zero”, funcionando definitivamente desde junho de 2018, com a circulação de um novo ônibus 100% elétrico com chassi BYD, montado em Campinas, interior de São Paulo, e com carroceria nacional Caio, feita em Botucatu. Desde outubro de 2017 que este projeto vem operando experimentalmente, sendo a cidade de Volta Redonda, a primeira do país a ter um ônibus elétrico circulando sem cobrar tarifa da população. O projeto, que agora opera efetivamente, atua nos maiores centros comerciais da cidade, percorrendo os bairros Vila Santa Cecília, Aterrado e Retiro (PELEGI, 2018). A figura 24 ilustra ônibus elétrico utilizado no projeto.



Figura 24 - Ônibus 100% elétrico

Fonte: Diário do transporte (2018)

Empresas do ramo automotivo vem se preparando para investir no seguimento dos elétricos no Brasil, não apenas em veículos leves, mas em veículos de maior porte também. Segundo informações do jornal Folha de São Paulo, a Volkswagen anunciou recentemente que irá produzir caminhões elétricos leves na fábrica da MAN no Rio de Janeiro a partir de 2020 e segundo a marca, os custos de manutenção em relação ao caminhão semelhante a combustão interna será cerca de 30% mais barata.

A maior geradora de energia elétrica do país, a Usina de Itaipú é referência em pesquisas sobre veículos elétricos no Brasil e possui em suas dependências diversos veículos em teste como carros, ônibus, caminhões e até avião.

Além do âmbito ambiental outro fator relevante é a proposta de economia dos VEs em relação aos custos de abastecimento e manutenção quando comparados aos VCIs. Para melhor exemplificação será demonstrado um breve comparativo de consumo entre VCI e VE. Para a devida comparação adotou-se dados dos fabricantes do VE mais vendido do mundo atualmente, o Nissan LEAF, e do Nissan SENTRA, um veículo com valores de peso e potência aproximados que utiliza motor a combustão interna convencional, conforme visto na tabela 3.

Tabela 3 - Comparação Nissan LEAF e Nissan SENTRA.

Modelo	Nissan LEAF	Nissan SENTRA 2.0
Valor comercial (R\$)	200.000	82.900
Potencia(cv)	150	140
Peso (kg)	1.557	1.337
Velocidade Max (km/h)	144	196
Emissão de CO₂ (g/km)	0	197,8
Consumo	6,75 (km/kWh)	10,1 (Km/l)
Capacidade	40 (kWh)	52 (litros)
Autonomia	270 (Km)	525,2 (Km)

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do fabricante

Considerando uma média de preço da gasolina e do KW/h praticados no estado do Rio de Janeiro em setembro de 2018 e estipulando uma distancia percorrida de 100Km chega-se ao valores comparativos conforme tabela 4 que ilustra o percentual de economia com o uso de um carro elétrico.

Tabela 4 - Comparação de consumo

Dados atuais		unidade
Peço do litro de Gasolina	5,00	R\$/l
Preço do KWh	0,98	R\$/kW
Média de Consumo		
Nissan LEAF	6,75	Km/kWh
Nissan SENTRA 2.0	10,1	Km/l
Consumo de Combustível Percorrendo 100Km		
Nissan LEAF	14,81	kWh
Nissan SENTRA 2.0	9,9	Litros
Gasto financeiro em uma distancia de 100Km		
Nissan LEAF	14,57	R\$
Nissan SENTRA 2.0	49,50	R\$

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados dos fabricantes.

Segundo dados disponibilizados pelo anuário 2018 da ANFAVEA, a frota de veículos híbridos e totalmente elétricos no Brasil vem apresentando um crescimento considerável, a partir do ano de 2006 houveram os primeiros licenciamentos de veículos novos no país, e desde então, obteve um aumento significativo, e ao final do ano de 2017 alcançou um total de 6962 veículos. O gráfico 1 apresenta o número de licenciamentos por ano, de 2006 a 2017:

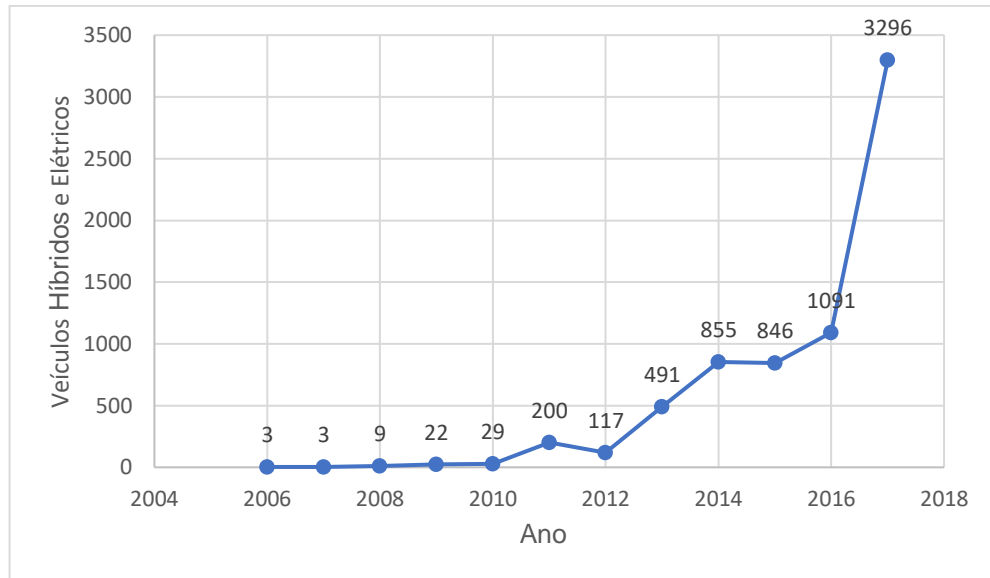


Gráfico 1 - Licenciamento de Veículos Híbridos e Elétricos por ano no Brasil

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de ANFAVEA (2017)

A evolução apresentada pelo gráfico 1 indica que o número de licenciamentos desses veículos apresentou um crescimento médio de 81,4% ao ano, durante os últimos cinco anos. Se hipoteticamente este percentual médio de crescimento se mantivesse até 2031, chegaríamos incrivelmente a uma frota de 28.935.859 veículos híbridos e totalmente elétricos.

4.2 Infraestrutura de Recarga

Atualmente no Brasil ainda há poucos eletropostos disponíveis e para o efetivo sucesso da inserção dos veículos elétricos no país será necessária um grande investimento para aumentar e distribuir por todos os estados e regiões pontos de recarga, o que levará o consumidor a ficar mais confiante em adquirir um VE, pois, ninguém pretende ficar pelo caminho em uma viagem por falta de carga das baterias.

Podemos citar como principais investimentos existentes no país 10 eletropostos distribuídos ao longo da rodovia dos bandeirantes em São Paulo, primeira rede intermunicipal de recarga, instalados em parceria com CPFL energia, empresa privada do ramo de mobilidade elétrica e os eletropostos recém inaugurados em 18 de julho

de 2018 na Rodovia Presidente Dutra (BR 116) entre São Paulo e Rio de Janeiro, sendo distribuídos 3 em cada sentido e com intervalo médio de 100Km entre cada eletroposto, com isso torna-se possível transpor os 434 Km que separam os dois estados com um veículo totalmente elétrico.

A instalação dos eletropostos ao longo da Dutra se deu a partir de um projeto com investimento da empresa EDP e da BMW, em parceria com a Electric Mobility Brasil. Os equipamentos do modelo Efacec QC45 fornecidos pela Electric Mobility Brasil estão disponíveis com os três tipos de conectores (plugs) existentes no mundo:

O Plug CCS é o usado pelos principais fabricantes europeus de veículos elétricos, como, Volvo, Mercedes-Benz, BMW, Volkswagen, Jaguar e Audi. O Plug ChADEMO é utilizado pelos fabricantes asiáticos, como a Hyundai, Mitsubishi, Nissan e Kia. Os dois oferecem carga em corrente contínua (DC) de 50 kW. Já o Plug AC de 43 kVA permite a recarga de alguns veículos elétricos que não operam em corrente contínua (DC) e de veículos híbridos, que só aceitam corrente alternada (AC). Portanto os eletropostos da Electric Mobility Brasil, buscam assegurar o abastecimento de todos os modelos de veículos elétricos emplacados no Brasil e veem com a proposta de recarregar 80% das baterias de todos os tipos de veículos elétricos comercializado no Brasil entre 20 e 30 minutos e 1 hora para carga total. A localização dos eletropostos estão descritas a seguir:

Os eletropostos sentido SP -RJ estão situados em:

- Posto Clube dos 500: Marginal direita da Via Dutra, km 60,3. Guaratinguetá (SP);
- Posto AM-PM São Jorge do Paratei: Via Dutra, km 179. Guararema (SP);
- Posto Mamão: Via Dutra, km 237. Piraí (RJ).

E os eletropostos sentido RJ - SP estão situados em:

- Posto Nacional: Via Dutra, km 237. Piraí (RJ);
- Posto Estrela da Dutra: Via Dutra, km 06. Queluz (SP);
- Posto GAP: Avenida Juscelino Kubitschek, 9.500. Vila Industrial, São José dos Campos (SP).

Inicialmente nesses eletropostos ainda não está sendo cobrado pelo carregamento, pois, ainda estão em fase de testes.

A ANEEL aprovou no dia 19 de junho de 2018 uma regulamentação para recarga dos VEs para quem tenha interesse na prestação desse serviço como distribuidoras, empreendedores, shoppings centers e postos de combustíveis. Optou-se por uma regulamentação mínima, evitando a interferência nos processos tarifários dos consumidores de energia elétrica, quando o serviço for prestado por distribuidora (ANEEL, 2018).

Em relação as recargas domésticas, normalmente ao adquirir um veículo totalmente elétrico ou híbrido plug-in os mesmos costumam vir de fábrica com um carregador incluso, do tipo lento o demandaria cerca de oito horas conectado a rede elétrica para carga total das baterias. Uma nova alternativa para otimizar e diminuir o tempo de recarga é a instalação de uma estação de recarga residencial semi-rápida, o que acarretaria em um custo adicional ao consumidor. Empresas do ramo cobram entre R\$ 7.000,00 a R\$ 8.500,00 com custos de instalação inclusos, porém, esse valor pode aumentar dependendo da necessidade de modificação da estrutura da instalação elétrica das residências que utilizam apenas tensão de 110V, uma vez que os carregadores semi-rápidos geralmente são para tensão de 220V. O consumidor pode optar também por carregadores mais sofisticados que além de carregarem as baterias fornecem relatórios de gerenciamento de energia, podendo a chegar ao valor de R\$ 22.000,00 (REIS, 2018).

4.3 Demanda Energética Nacional

Segundo ANEEL (2000) definimos demanda como a “média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado” (ANEEL N° 456, 2000, p. 2).

Ao decorrer dos últimos anos observou-se diversas mudanças significativas nos segmentos do setor elétrico, na parte de geração de energia elétrica, no rearranjo das parcelas de mercado, na implementação de novas tecnologias de rede e na reestruturação da regulamentação. Aos olhos do cenário brasileiro, essa evolução se

deu a partir do aumento da demanda de energia, através de inúmeras formas no emprego da eletricidade, principalmente em função do desenvolvimento econômico fomentado pelo consumo familiar, decorrente da maior distribuição de renda ocorrida ao longo da última década. (CALÇADO, 2015).

Durante as diferentes horas do dia a demanda de energia sofre variações, alcançando os maiores valores entre as 18 e 21 horas o que chamado de horário de ponta (três horas consecutivas de maior demanda). Por outro lado durante a madrugada, o consumo de energia é mínimo, neste horário uma grande parcela dessa energia gerada não é consumida e não é possível armazená-la em grandes quantidades. O gráfico 2 mostra a curva de carga média do Brasil obtida no ano de 2017 através de dados do ONS, levando em consideração o valor médio de demanda solicitada ao sistema por todas as unidades consumidoras durante as horas do dia.

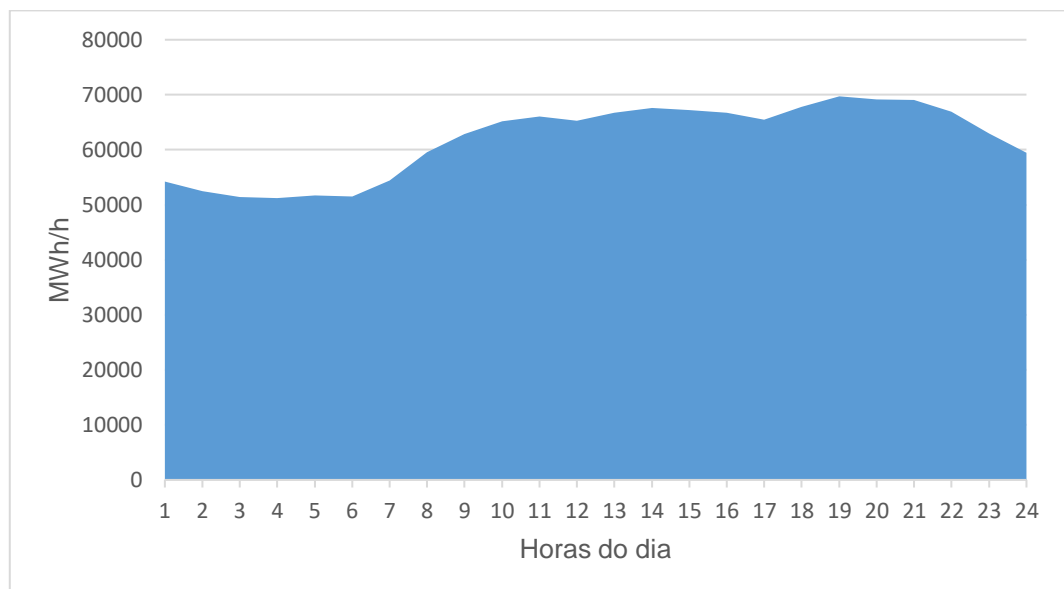


Gráfico 2 - Curva de Carga Média do Brasil em 2017

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de ONS (2018)

4.3.1 Impacto Energético com a Inserção de Veículo Elétrico na Frota Nacional

Com a tendência mundial de incentivo ao desenvolvimento da mobilidade elétrica, paralelo a isso estão sendo desenvolvidos estudos a fim de melhor

compreender e preparar a rede elétrica para o impacto que será causado pela recarga dos VEs.

Segundo informações do boletim de monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro do mês de dezembro fornecido pelo Ministério de Minas e Energia, o consumo de energia elétrica total no Brasil acumulado durante os 12 meses do ano de 2017 foi de 577,9TWh, conforme apresenta a tabela 5.

Tabela 5 - Consumo total de energia elétrica Brasil em 2017

	Acumulado Durante 12 meses		
	Jan/16 – Dez/16 (GWh)	Jan/17 – Dez/17 (GWh)	Evolução
Residencial	132.893	133.904	0,8%
Industrial	164.253	165.883	1,0%
Comercial	88.185	88.129	-0,1%
Rural	26.795	27.903	4,1%
Demais Classes	48.253	48.128	-0,3%
Perdas e Diferenças	111.251	114.019	2,5%
Total	571.630	577.968	1,1%

Fonte: Adapata pelos autores à partir de MME (2018)

Sendo assim, torna-se possível o desenvolvimento de um modelo capaz de estimar em quantos por cento o consumo de energia do país irá aumentar, mediante o crescimento da frota de carros elétricos plug-in.

De acordo com dados obtidos do Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018 fornecido pela ANFAVEA, a frota de carros circulantes no Brasil no ano de 2017 era de 36.189.608. Sendo assim, faremos uma exemplificação capaz de ilustrar o

quanto aproximadamente a penetração dos VEs irá impactar no consumo de energia do país.

Para fins de simulação, foram adotados os dados disponibilizados pela montadora do Nissan LEAF, atualmente o VE mais vendido do mundo. A figura 25 ilustra o LEAF modelo 2018.



Figura 25 - Nissan LEAF 2018

Fonte: Nissan (2018)

Considerando que esses automóveis percorram 10.000 km por ano, baseado em intervalos de revisão adotado pela Montadora Nissan, com desempenho médio de 6,75 Km/KWh, obtêm-se os seguintes valores de consumo de energia elétrica apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Consumo de Energia anual dos VEs

Frota Atual (%)	Frota Automoveis (10 ³)	Distância Média Anual Percorrida (Km)	Desempenho Médio (Km/KWh)	Energia (GWh)	Brasil (%)
10	3.619	10.000	6,75	5,36	0,00093
20	7.238	10.000	6,75	10,72	0,00187
30	10.856	10.000	6,75	16,08	0,00278
50	18.095	10.000	6,75	26,81	0,00464
70	25.332	10.000	6,75	37,53	0,00649
100	36.189	10.000	6,75	53,61	0,00928

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Borba (2012)

A tabela 6 acima pode ser compreendida pela equação 4.

$$C=(F .D)/ DE \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

- C - Representa o consumo final total da frota de veículos durante o ano;
- F - É a frota de automóveis de acordo com cada porcentagem adotada;
- D - É a distância média percorrida pelos veículos durante o ano de 2017;
- DE - É o desempenho energético médio da frota em km/Kwh no ano de 2017.

Conforme os resultados obtidos nesta exemplificação, podemos observar que uma frota composta de 100% de seus automóveis sendo elétricos do tipo plug-in, haverá um aumento de 0,00928% anual no consumo de energia elétrica do país,

equivalente a menos de 1%. Ressaltando que para esta análise foi incluída apenas a frota de carros, para que fosse possível padronizar um desempenho médio. O aumento do consumo de energia elétrica refletirá diretamente na demanda nacional de acordo com os horários de carregamento das baterias dos VEs.

Um Teste-piloto realizado pelo Laboratório Nacional de Idaho (*Idaho National Laboratory – INL*) confirma, em grande parte, a noção de que, na ausência de infraestrutura pública para recarga, o proprietário do veículo tende a carregá-lo após a última viagem realizada, evidenciando que enquanto a condução se concentra ao longo do dia, a carga é realizada no período da noite, sendo assim, realizada nas residências.

A figura 26, exibe o padrão de direção e recarga para uma frota de veículos elétricos em cinco estados americanos no período de janeiro e fevereiro de 2008.

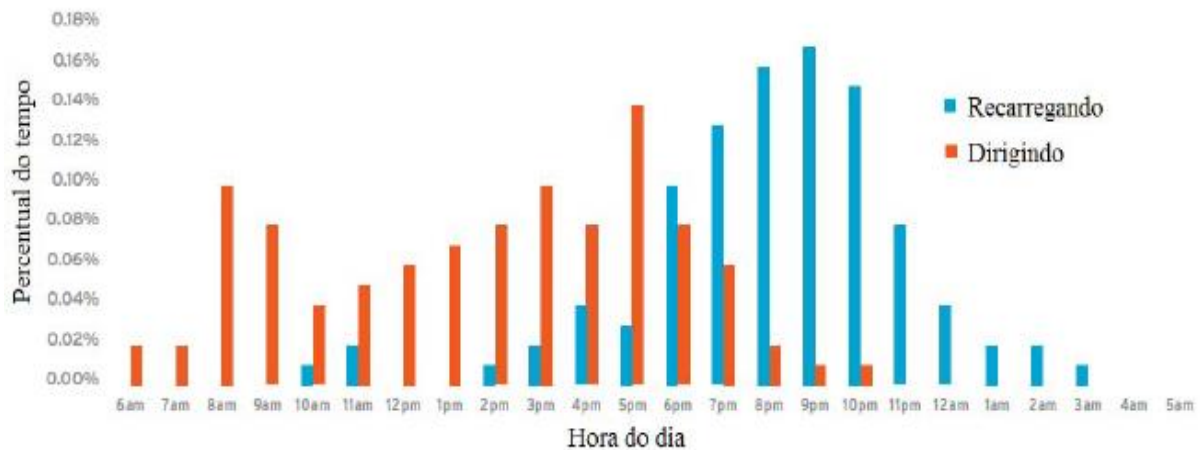


Figura 26 - Perfil de Utilização e Recarga dos VEs nos E.U.A

Fonte: Borba (2012), INL (2008)

Com base no Perfil de Recarga e Utilização obtido no Teste-Piloto realizado, adotamos para fins de exemplificação um percentual de veículos que possivelmente estariam em momento de recarga durante as diferentes horas do dia, seguindo justamente os horários de recarga que a pesquisa adotou. Dessa forma, por suposição, foi adotado um perfil de recarga para o Brasil, conforme demonstrado no gráfico 3.



Gráfico 3 - Perfil de recarga dos VEs adaptado para o Brasil

Fonte: Autores (2018)

No gráfico 3, foi atribuído que no horário das 21h estariam cerca de 95% dos veículos em carregamento, bem como, nos horários de ponta se concentram os maiores percentuais destes veículos em recarga.

Baseado nas metas internacionais de banir os VCI, considerando uma frota de veículos nacional de 36.189.608 carros, com autonomia de 6,75Km/KWh, sendo 100% elétrica, e percorrendo uma distância média anual de 10000 km, em média percorreriam 27,39 km por dia durante este mesmo ano, tendo um consumo diário de 146,8MWh. Sendo justificada pela equação 5.

$$CED = (FT \cdot D) / DM \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

CED – Consumo de Energia Elétrica Diário (KWh)

FT – Frota Total de Veículos do ano de 2017

D – Distância Média Percorrida por dia (Km)

DM – Desempenho Médio do Veículo (Km/KWh)

Então, obtendo um consumo diário de 146,8MWh proveniente da recarga das baterias da frota total, atribui-se que em cada hora do dia, dividindo-se igualmente entre as 24 horas, têm-se uma demanda de potência de 6,116 MW, que através do perfil de carregamento adotado anteriormente, agregado aos dados considerados dos VEs, torna-se possível a obtenção de estimativas das demandas de energia durante as diferentes horas do dia, que podemos evidenciar com o gráfico 4.



Gráfico 4 - Curva de Carga diária dos VEs

Fonte: Autores (2018)

Através do consumo de energia elétrica anual encontrado inerente da recarga das baterias dos VEs no valor de 53,61 GWh, conforme estudo representado pela tabela 6, considerando uma frota de automóveis 100% elétrica, é possível estimar a curva de carga anual do carregamento das baterias dos VEs representada no período do dia, conforme será apresentado pelo gráfico 5.

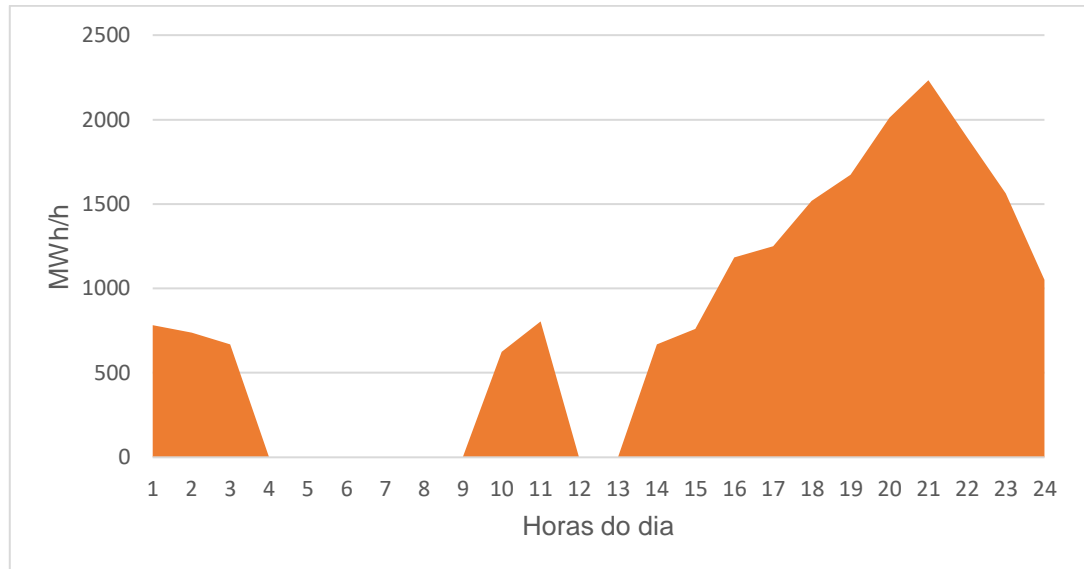


Gráfico 5 - Curva de carga anual dos VEs

Fonte: Autores (2018)

Para continuidade desta análise, utilizou-se a curva de carga média do Brasil no ano de 2017 representada anteriormente pelo gráfico 2. Com isso, para fins comparativos exemplifica-se com o gráfico 6 a diferença entre a curva de carga média anual do SIN, e a curva de carga pertencente do carregamento das baterias, considerando uma frota 100% elétrica também representada no período de um ano.

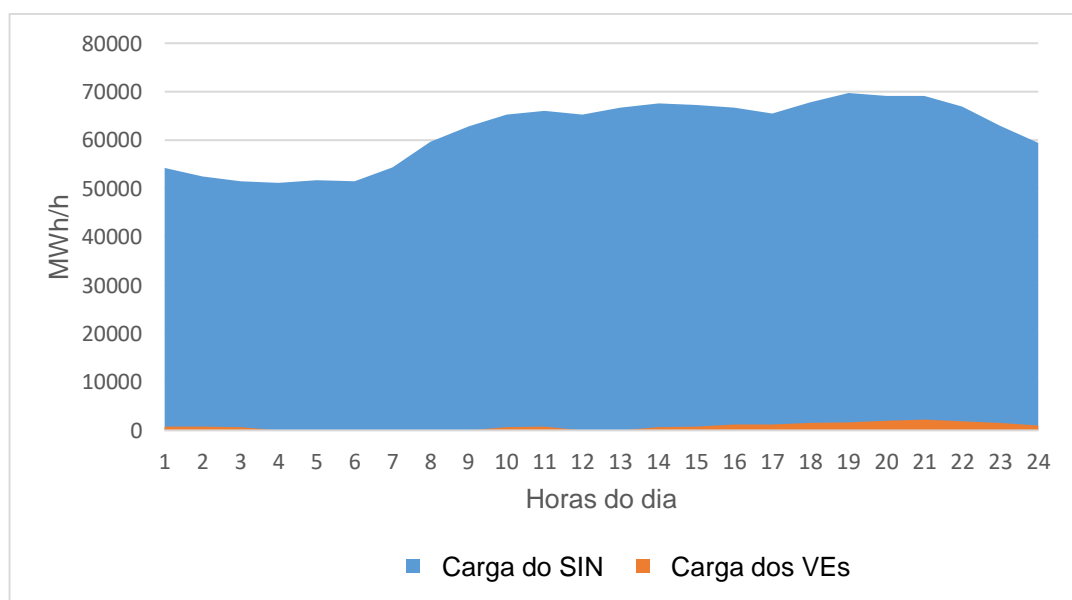


Gráfico 6 - Comparativo de carga do SIN com carga dos VEs

Fonte: Autores (2018)

O gráfico 7, tem por finalidade apresentar o somatório das duas curvas (curva de carga média do ano de 2017 com a curva de carga de carregamento das baterias), com o objetivo de mostrar o acréscimo na demanda de energia durante os horários de ponta.

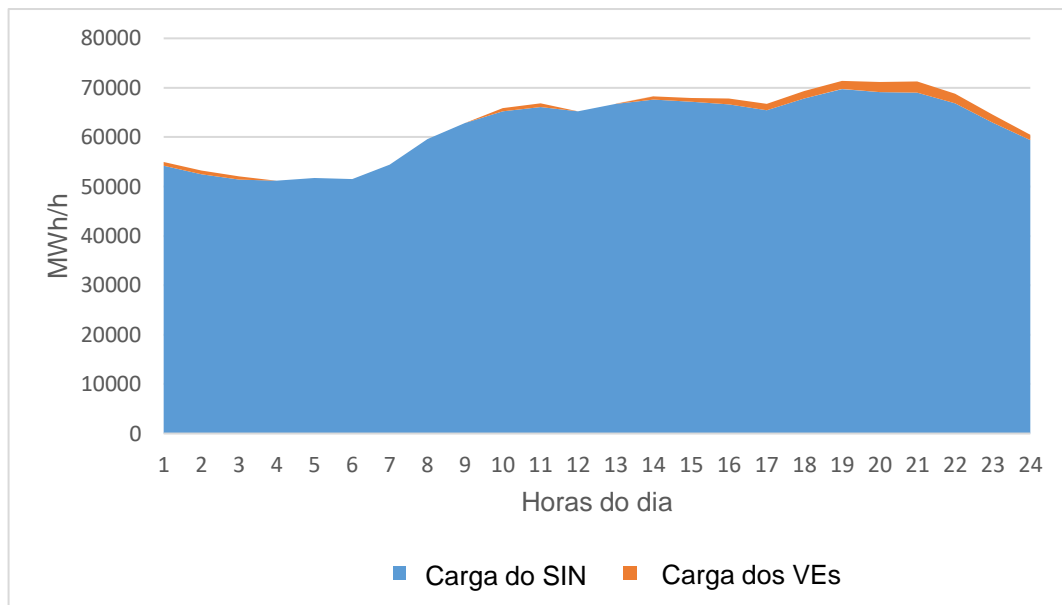


Gráfico 7 - Somatório carga do SIN com carga dos VEs

Fonte: Autores (2018)

Como observado no gráfico 7, houve um acréscimo na demanda exatamente nos horários de ponta devido ao perfil de recarga brasileiro, sobrecarregando ainda mais o sistema energético.

Partindo da ideia de que se a maior parte da recarga dos veículos elétricos for realizada fora do horário de ponta (madrugada - período de menor demanda), os consumidores estariam ajudando o sistema e aproveitando esta energia de forma mais econômica e consciente. É aqui que surge a importância dos modos de recarga inteligentes que podem ser aprimorados com os sistemas de gerenciamento de energia.

Elaborando um perfil de carregamento que seja mais adequado para o SIN, foi adotado que o carregamento da maior parte dos veículos seja realizado fora do horário

de ponta, dessa forma evitando sobrecarregar o sistema. Conforme apresentado pelo gráfico 8.



Gráfico 8 - Perfil de carregamento mais adequado dos VEs para o Brasil

Fonte: Autores (2018)

Estabelecido o novo perfil de recarga das baterias, os valores de potência solicitados ao sistema, sofrem um deslocamento para o período da madrugada, horários em que a demanda de energia nacional sofre uma queda, sendo ideal para o início da recarga dessas baterias. A curva de carga dos VEs deslocada para fora do horário de ponta e ilustrada no gráfico 9.

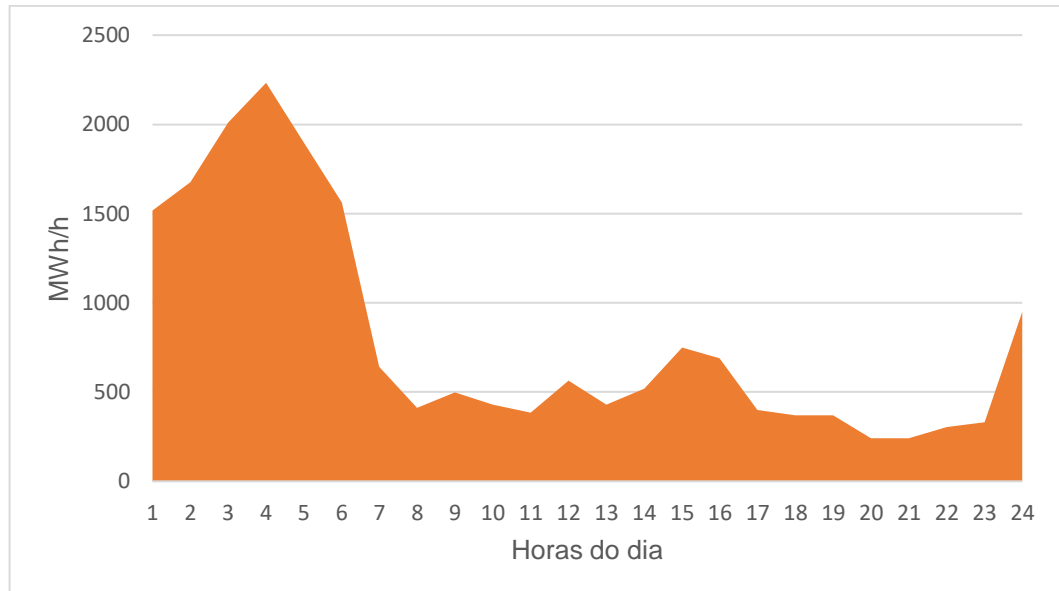


Gráfico 9 - Curva de carga dos VEs fora do horário de ponta

Fonte: Autores (2018)

Para conclusão desta análise, foi elaborado um gráfico capaz de apresentar como o sistema se comportaria diante do acréscimo das potências de recarga fora dos horários de ponta, devido a nova caracterização do perfil de carregamento das baterias, exemplificando como seria essa distribuição de carga mais adequada durante as diferentes horas do dia. O novo comportamento da curva de carga do sistema é ilustrado no gráfico 10.

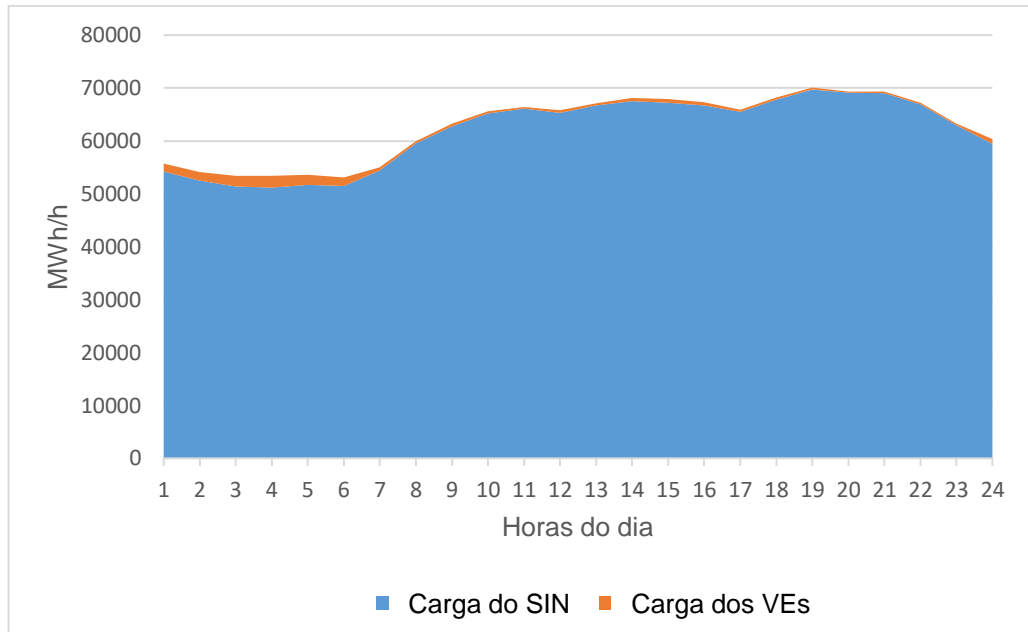


Gráfico 10 - Curva de carga com carregamento dos VEs em horário adequado

Fonte: Autores (2018)

Ressaltando que as estações de recarga semi-rápidas, com duração de recarga total das baterias entre duas e oito horas aparecem como uma excelente alternativa, sendo necessária a utilização de um medidor que atenda às suas especificações, dessa forma reduzindo o tempo de recarga das baterias nas residências.

4.4 Alternativas

Novas possibilidades para se administrar o impacto causado na rede elétrica devem surgir, entre elas, a utilização da tarifação horária que torna possível o deslocamento do consumo para horários fora de ponta, e também a utilização de sistemas inteligentes (smart-grids) que detalharemos no capítulo seguinte.

Acredita-se que o comportamento dos consumidores será mais racional, dessa forma, devem receber orientações referentes a essa nova tecnologia, participando melhor do gerenciamento da ação de recarga, optando por horários mais baratos, que tragam menor impacto ao sistema elétrico. Outra possibilidade interessante, seria o

apoio das micro e minigeração de energia elétrica, como suporte para o sistema elétrico, uma vez que permitem ao usuário atuar como consumidor e gerador distribuído.

Os painéis fotovoltaicos despontam como boa alternativa, para a geração de energia elétrica destinada ao carregamento das baterias e já estão sendo utilizados tanto em residências quanto em locais públicos, como em estacionamentos de shoppings. A figura 27 ilustra um eletroposto alimentado por energia solar.



Figura 27 - Eletroposto Solar

Fonte: Verde sobre rodas (2018)

4.4.1 Utilização das Energias Renováveis

A título de exemplo, no estado da Califórnia, propõe-se utilizar as baterias dos VEs para armazenar parte da eletricidade em excesso que é produzida pela geração solar ao longo do dia, podendo ser utilizada no final da tarde, quando o sol se põe e a carga diária de eletricidade experimenta a rampa íngreme que é característica da “curva do pato”. Dessa forma, as baterias dos VEs, em conjunto com outras baterias de maior capacidade, podem colaborar tanto para a estabilidade da rede elétrica em

um momento crítico do dia quanto para reduzir desperdícios da sobregeração de energia solar.

Com o auxílio de redes inteligentes e armazenamento de energia (incluindo baterias de carros elétricos) a sobreoferta de energia solar gerada ao longo do dia seria armazenada para utilização no momento da rampa. Resposta da demanda também seria um recurso a ser utilizado, que sinalizaria ao prosumer (termo em inglês utilizado para definir o usuário que se comporta como consumidor e gerador de energia) quando armazenar ou consumir a energia gerada pela sua geração distribuída (ou quando carregar ou armazenar energia da rede na bateria do seu carro elétrico, por exemplo). A figura 28 apresenta uma exemplificação da geração de energia elétrica através de placas solares, representada pela linha cinza do gráfico, a linha azul do gráfico representa a curva de carga solicitada ao sistema, e a linha laranja caracteriza a curva de carga líquida, resultante da carga solicitada subtraída da geração de energia alcançada.

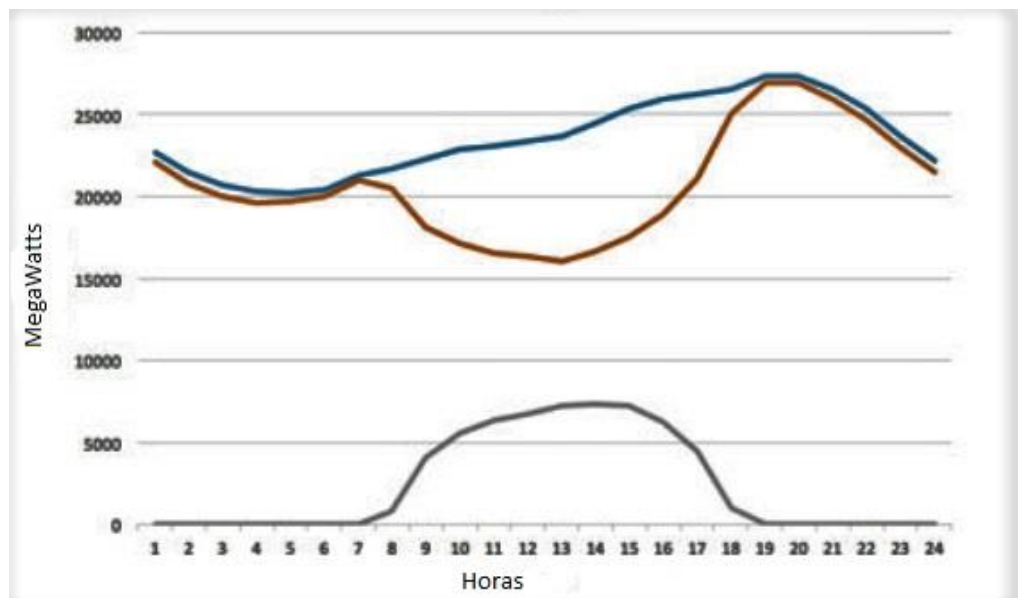


Figura 28 - Curva de geração e consumo

Fonte: Transição Energética - FGV Energia (2018)

A figura 29 representa a curva de carga líquida e a evolução da geração de energia a cada ano, pois este formato é resultante da curva de carga solicitada ao sistema, subtraída da curva de geração de energia durante o dia, então este caimento

na curva identificado de 7 da manhã até as 18h da tarde, é proveniente da produção de energia, que é logo consumida, pois ainda são poucos os sistemas de armazenamento.

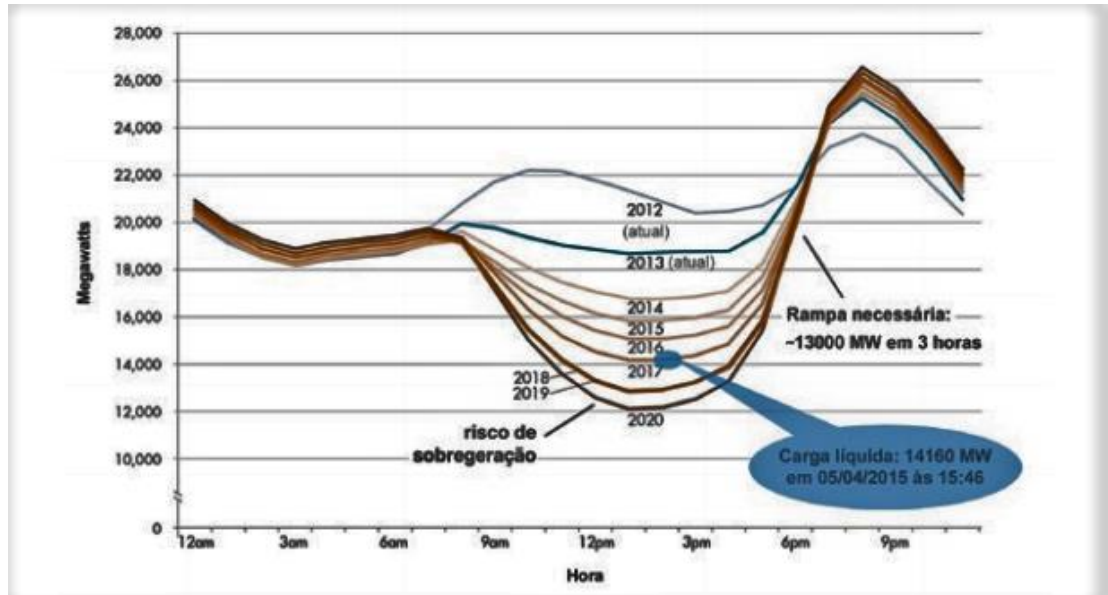


Figura 29 - Curva de Pato de um dia típico de geração

Fonte: Transição Energica - FGV Energia (2018)

Pesquisas que incluem o uso da Energia Eólica também estão sendo realizadas, conforme proposto por Borba (2012), onde foi realizado um estudo capaz de considerar um cenário com elevada penetração de Usinas Eólicas no Nordeste do País, em que o excesso de energia produzida no período da madrugada, se bem coordenado, poderia ser utilizado para abastecer uma frota de VEs no Brasil.

Aqui no Brasil, determinações para maior inclusão das fontes renováveis de energia ao Grid já estão sendo abordadas, possibilitando a micro e minigeração de energia, este obstáculo já vem sendo superado, através da aprovação da Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012 e da Resolução Normativa nº 517, de 11 de Dezembro de 2012, estabelecendo os requisitos gerais para acesso da mini e microgeração distribuída, sendo que a última altera a Resolução nº 482 e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição (ANEEL Nº 482, 2012) (ANEEL Nº 517, 2012).

Denomina-se microgeração distribuída como:

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL Nº 482, 2012, p. 1).

Algumas das fontes de energia regularizadas pela ANEEL para serem utilizadas pelos consumidores detêm caráter intermitente, isto é, possuem estágios de geração e de não geração. Assim como no caso da energia solar que encerra seu fornecimento no período da noite, e da energia eólica que depende da velocidade dos ventos para a produção de energia. Em função disso, a energia necessária para alimentar a residência do usuário continua sendo fornecida regularmente pela distribuidora, possibilitando que os geradores atuem em conjunto com a rede. Contudo, em determinado mês que a energia produzida for maior que a consumida, será transformada em forma de créditos que podem ser utilizados para abatimento das faturas dos meses seguintes.

4.4.2 Smart Grids (Redes Inteligentes)

Smart grids são redes de distribuição de energia elétrica que aplicam a tecnologia da informação para monitorar e operar na geração, transmissão, armazenamento e consumo de eletricidade, de forma a gerir a oferta e a demanda por energia da forma mais eficiente possível, reduzir custos e impactos ambientais e aumentar a confiabilidade e estabilidade do sistema. Na prática, três fatores são envolvidos, que são: a instalação de sensores nos pontos de consumo energético, a determinação de um sistema de comunicação de duas vias com vasta cobertura entre os diversos dispositivos e agentes conectados à rede, e a automação da infraestrutura (COSTA, 2014). A figura 30 ilustra um esquema de um sistema Smart Grid.

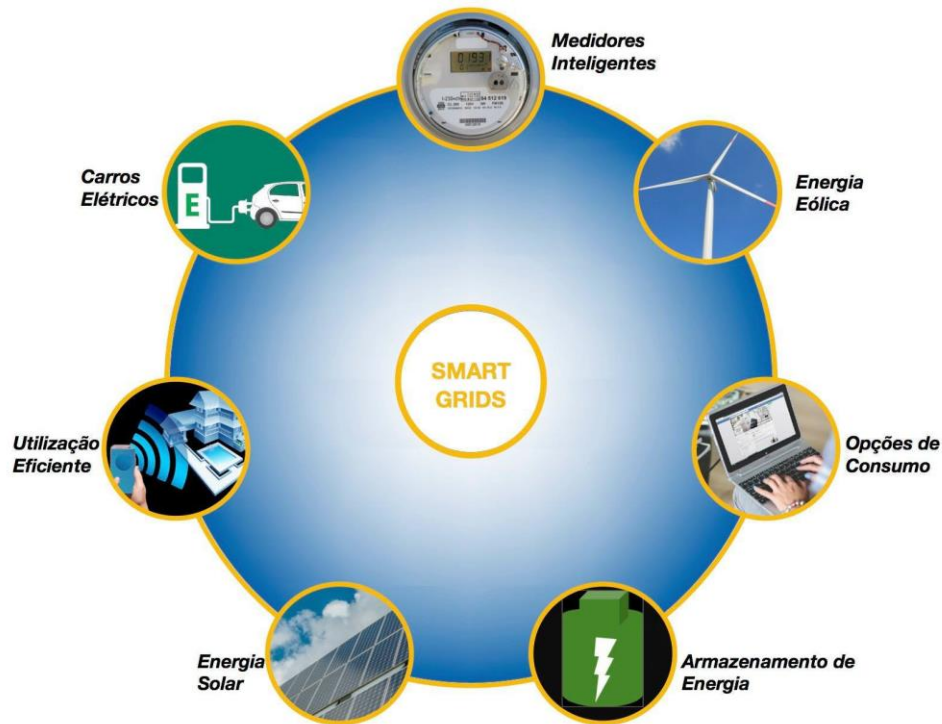


Figura 30 - Disposição básica de um sistema Smart Grid

Fonte: SEL – EESC - USP (2018)

Benefícios que as Smart-Grids podem trazer:

- As Smart Grids irão oportunizar a microgeração (eólica, solar, biomassa, etc.) nas proximidades das cargas, incentivando a geração distribuída, sendo necessária formas para balancear carga e geração, permitindo também o armazenamento de energia;
- Eficiência energética. Com a redução do pico de carga nos horários de maior consumo, o que proporcionará a diminuição dos custos tanto para as centrais de geração quanto para os clientes;
- Uso de novas tecnologias para aprimorar a rede, como medidores inteligentes, sistemas de controle e de telecomunicações;
- Monitoramento eficiente dos consumidores, com objetivo de evitar furtos de energia;
- Softwares inteligentes capazes de programar eletrodomésticos para que funcionem de forma mais eficiente;

- Evitar apagões. O sistema energético atual é vulnerável em relação aos blackouts e, este problema aumenta à medida que a demanda por energia cresce, sobrecarregando a rede;
- Contribuirá para a redução da poluição, em virtude do aumento da microgeração, baseada em fontes alternativas de energia;
- As redes inteligentes de energia tornarão o sistema elétrico mais protegido no que diz respeito às falhas da rede e bem preparado para enfrentar problemas de causas naturais, além de conseguir se restabelecer rapidamente;
- Controle do sistema em tempo real e gerenciamento da demanda, possibilitando maior confiabilidade do sistema
- Sensores, atuadores e controladores que permitirão um número maior de processamento de dados;
- Chaveamento eletrônico de potência, menor custo operacional, uso otimizado dos ativos de rede com menores investimentos;
- Melhor relação custo-benefício para as concessionárias e clientes finais;
- Sistema de controle com vários níveis de decisão e hierarquia bem definida;
- Utilização de medidores inteligentes;
- Possibilidade de operação da rede de modo isolado;
- Integração de novos sistemas de comunicações;
- Tolerância a ataques externos, sendo capaz de atenuar e resistir a ataques físicos e virtuais.

4.4.3 Vehicle To Grid (V2G)

O conceito do sistema *Vehicle to Grid* (V2G) tem como principal característica que o usuário do veículo não será mais somente um consumidor de energia, mas sim um possível gerador de energia elétrica para o sistema, através da energia que está armazenada nas baterias dos veículos. Esta interação entre veículo e rede elétrica pode trazer alguns benefícios para o sistema energético. O principal benefício do

sistema V2G é a possibilidade de o veículo operar como gerador distribuído. A propagação da tecnologia V2G tem por finalidade permitir o melhor gerenciamento dos recursos energéticos, sendo também uma forma de gerar uma possível receita aos proprietários de automóveis ou mesmo reduzir seu consumo de energia. Os veículos plug-in passariam a atuar como *buffers* da rede, armazenando energia em suas baterias durante o horário de menor consumo e devolvendo à rede nos períodos de alta demanda energética. Além disto, fontes renováveis, como a solar e a eólica, são de geração intermitentes, e nem sempre ocorre no momento em que acontece a demanda. Uma grande quantidade de veículos plug-in ligados à rede possibilitaria o armazenamento da energia dessas fontes intermitentes nos momentos de baixa demanda e descarregá-la na rede quando preciso (BORBA, 2012).

4.5 Desafios e Incentivos

No âmbito desta pesquisa, fica evidente que para a implantação dos veículos elétricos no setor de transportes brasileiro, é fundamental a superação de alguns obstáculos que estão diretamente relacionados a investimentos financeiros por parte do Governo e empresas privadas que terão que investir em infraestrutura de recarga, além de buscar maneiras inteligentes de minimizar o impacto na demanda energética nacional. Existe um esforço também por parte dos consumidores que de início pagariam um valor significativo pela aquisição de um veículo elétrico, isso se dá principalmente pelo alto custo das baterias e sua reciclagem, onde geralmente são enviados para Bélgica e Alemanha para separação dos metais e destinação correta dos resíduos. Dentre as opções, os smart grids com suas inovações aparecem como uma excelente alternativa, porém, o seu elevado custo e sua complexidade de instalação aparecem como obstáculo, uma vez que as concessionárias de energia precisariam construir uma rede de telecomunicações própria ou formar parcerias com empresas operadoras de telefonia para o fornecimento de suporte necessário para transmissão de dados.

Mesmo com diversos benefícios relacionados ao smart grid, pesquisas e estudos ainda estão sendo realizados para delinear a implantação do sistema no Brasil, devido a não apresentarem ainda uma relação custo-benefício equilibrada.

Importante ressaltar que o país se movimenta em buscar formas que possibilitem abrir as portas para entrada dos VE's. No Brasil, os preços para esses veículos partem de R\$ 190 mil. Apesar de não pagarem imposto de importação, pagam IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados), cerca de 25%.

Como incentivo o Governo Brasileiro anunciou redução de 7 a 20% dependendo do modelo a partir de novembro de 2018. Atualmente alguns estados adotam a isenção de IPVA para VE e em outros uma alíquota diferenciada, conforme mostrado na figura 31.

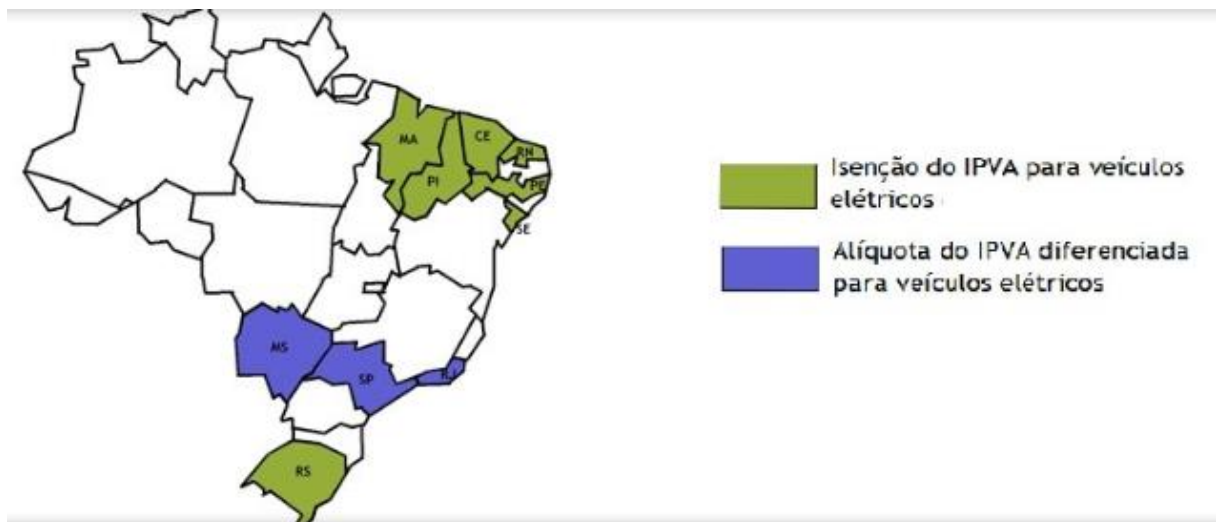


Figura 31 - IPVA por Estado para VE

Fonte: ABVE (2018)

5 DISCUSSÕES E RESULTADOS OBTIDOS

O resultado obtido nesta pesquisa com relação ao Estudo de Demanda Energética, define que o Brasil demonstra elevada segurança energética devido a sua diversidade de recursos para geração de energia elétrica. Através da simulação apresentada, observa-se que o impacto no consumo de Energia Elétrica com a introdução de uma frota de 36.189.608 milhões de veículos totalmente elétricos Plug-In aumentaria em 53,61 GWh o consumo de energia elétrica no ano de 2017, este valor equivale a menos de 1% do consumo total de Energia Elétrica acumulada do país durante os 12 meses deste mesmo ano, entretanto quando se trata de demanda energética, deve ser analisado que a quantidade de carga solicitada ao sistema é considerável, principalmente nos horários de ponta, situação que ocorreria de forma semelhante ao Perfil de Carregamento apresentado, e com o acréscimo de potência demonstrado pelas curvas de carga referente à recarga das baterias. Dessa forma, para alcançar uma solução, deve-se estabelecer uma comunicação entre ABVE e ANEEL para regulamentação que contemple os horários que sejam recomendados para efetuar o carregamento, como também por exemplo, estabelecer tarifação reduzida para recargas fora dos horários de ponta para incentivar os consumidores, bem como normatização dos tipos de carregadores a serem utilizados, pois com a instalação de carregadores Semi-Rápidos em residências, o tempo de recarga se reduz expressivamente, fazendo com que os veículos permaneçam um tempo menor conectados à rede e os consumidores consigam encontrar o veículo com a bateria 100% carregada logo ao amanhecer para utilizá-lo em mais uma jornada. Novas tecnologias como as Smart-Grids e o Sistema V2G surgem para trazer benefícios satisfatórios para Distribuidoras de Energia e consumidores, e apesar de possuírem custo elevado para aplicação, estas tecnologias devem ser melhor estudadas para que possam ser introduzidas com o decorrer do tempo. Outra alternativa seria incentivar as formas de geração distribuída com uso das energias renováveis, visto que o país possui enorme potencial para esta adequação. Outra observação aponta que com aumento populacional e forte tendência para crescimento da frota dos veículos elétricos, os níveis de consumo e demanda de energia também serão maiores. Com base no BIG (Banco de Informações da Geração) disponibilizado pela ANEEL (2018), o Brasil possui um total de 7.147 empreendimentos em operação,

totalizando 160.804.142 kW de potência instalada. No cenário atual, fica comprovado que o SIN possui capacidade de suportar a inserção dos veículos elétricos, porém como medida de segurança, se torna importante que providências comecem a ser estudadas de forma antecipada para que exista uma preparação consolidada mediante o eventual sucesso a longo prazo da introdução dos elétricos no setor de transportes brasileiro.

O resultado obtido referente à infraestrutura de recarga das baterias, indica que o Brasil está passando por um período de início desta adequação. Já existem alguns eletropostos distribuídos pelo país, porém muitos deles com caráter experimental, com investimentos realizados por empresas que apostam numa evolução positiva deste setor. A Agência Nacional de Energia Elétrica aprovou em junho de 2018 a regulamentação sobre a recarga de veículos elétricos por interessados na prestação desse serviço (distribuidoras, postos de combustíveis, shopping centers, empreendedores), ainda optando por uma regulamentação mínima do tema, que evita a interferência da atividade nos processos tarifários dos consumidores de energia elétrica, quando o serviço for prestado por distribuidora. Para atender de forma efetiva a frota de veículos elétricos, a construção dos eletropostos e estações de recarga deve acompanhar o crescimento da frota, além da necessidade de se fazerem presentes em diversificados pontos considerados como estratégicos, para que os consumidores possam enxergar com bons olhos essa nova realidade, sem a preocupação de sofrer uma pane seca durante determinado percurso. Importante ressaltar que, com a presença de infraestrutura suficiente, as baterias poderiam ser recarregadas durante o dia, reduzindo as recargas noturnas que geralmente ocorreriam nas residências, sendo assim, também contribuindo para evitar sobrecargas no SIN. Interessante observar que eletropostos e estações de recarga devem obedecer as normas que atendem as especificações dos tipos de plugues de recarga, para que possa atender os mais variados tipos de veículos elétricos sem causar transtornos aos consumidores. Investimentos e incentivos por parte do Governo serão extremamente necessários para esta prática, como por exemplo, os já existentes descontos e isenção de IPVA em alguns estados do país, que de certa forma, ajudam a tornar possível esta realidade. A pesquisa compreende que com base no cenário atual, banir por completo VCIs se torna impraticável mediante à todas as questões que precisam ser solucionadas previamente, dessa

forma, veículos híbridos e totalmente elétricos chegam para complementar e ganhar espaço gradualmente no setor automobilístico brasileiro.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Em virtude do estudo realizado, a conclusão alcançada indica que a participação de veículos elétricos e híbridos no cenário atual do setor de transportes brasileiro ainda é modesta, entretanto apresentam uma evolução considerável no crescimento da frota, de acordo com os registros dos números de licenciamentos por ano. Para a introdução perdurável dos veículos elétricos plug-in no país, será fundamental a consolidação de infraestrutura capaz de atender efetivamente esta frota, pois o investimento realizado pelo consumidor é elevado, então o Brasil, com o objetivo de atender as determinações estabelecidas no Acordo de Paris (2015), precisa garantir que esta aquisição será realmente viável para o consumidor. As políticas públicas detêm papel fundamental neste momento, com o objetivo de assegurar incentivos monetários (como subsídios, redução de taxas e impostos, pedágios, construção de eletropostos), e incentivos não-monetários (constituir regulação).

Com relação ao estudo de Demanda de Energia, importante compreender que como a participação dos veículos elétricos e híbridos plug-in ainda é pequena no setor de transportes, o SIN ainda possui a capacidade de suportar esta penetração. Entretanto, como apresenta uma aceitação otimista comprovada pelo crescimento acentuado nos últimos anos, relevante que se estabeleça uma comunicação compenetrada entre ABVE e ANEEL para a busca de soluções prévias. Grandes desafios existem, pois o custo de um veículo elétrico ainda é muito elevado, e as particularidades que o circundam também exigem altos investimentos. Entretanto, a mobilidade elétrica pode oferecer inúmeros benefícios para o ecossistema, e com o suporte do acelerado avanço tecnológico atrelado às metas estabelecidas por países, se torna uma realidade cada vez mais próxima.

Como sugestão de trabalhos futuros, se faz interessante um estudo mais aprofundado da relação entre as Redes Inteligentes e a geração distribuída através de energias renováveis, com a realização de levantamento de dados relevantes como relação custo-benefício de implementação, funcionamento das tecnologias utilizadas, o quanto pode ser benéfico para o Sistema Interligado Nacional e para os prosumers,

como também analisar a partir de quando sua aplicação seria viável, de acordo com o aumento da demanda de energia proveniente, em parte, da crescente introdução dos veículos elétricos plug-in no setor automotivo brasileiro.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABVE – Associação Brasileira do Veículos Elétricos. **Eletromobilidade em SP: íntegra das palestras**. Disponível em: < <http://www.abve.org.br/seminario-discute-eletromobilidade-em-sp-veja-a-integra-das-palestras/> >. Acesso em: 31 Março 2018.

ABVE – Associação Brasileira do Veiculo Elétrico. **Electric Mobility Brasil instala eletrovia na Dutra**. Disponível em:<<http://www.abve.org.br/electric-mobility-instala-eletrovia-na-dutra>>. Acesso em: 13 Setembro 2018.

ABVE – Associação Brasileira do Veiculo Elétrico. **IPVA para veículos elétricos**. Disponível em:<<http://www.abve.org.br/ipva-para-veiculos-eletricos>>. Acesso em: 13 Setembro 2018.

ANEEL Nº 456. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL**, p. 57, Novembro 2000.

ANEEL Nº 482. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL**, p. 4, Abril 2012.

ANEEL Nº 517. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL**, p. 3, Dezembro 2012.

APLICAÇÃO da 2ª Lei da Termodinâmica às Máquinas Térmicas. **e-escola**, 2009. Disponível em: <<http://e-escola.tecnico.ulisboa.pt/topico.asp?id=576&ordem=3>>. Acesso em: 21 Abril 2018.

APROVADA Regulamentação Sobre Recarga de Veículos Elétricos. **ANEEL**, 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aprovada-regulamentacao-sobre-recarga-de-veiculos-eletricos/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 9 Setembro 2018.

BARAN, R. **A Introdução de Veículos Elétricos no Brasil: Avaliação no Impacto do Consumo de Gasolina e Eletricidade**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, p. 139. 2012.

BARASSA, E. **Trajectoria Tecnológica do Veículo Elétrico: Atores, Políticas e Esforços Tecnológicos no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Política Ciência e Tecnologia) - UNICAMP. Campinas, p. 132. 2015.

BORBA, B. S. M. C. **Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no Sistema Energético Brasileiro**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, p. 179. 2012.

BNDES, CASTRO, H. R, FERREIRA, T. T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**.

Disponível em: < [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/2/BS%20\(FERREIRA e CASTRO, 2010\)2032%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20aspectos%20b%C3%AAsicos%2c%20perspectivas_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/2/BS%20(FERREIRA%20e%20CASTRO,%202010)2032%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20aspectos%20b%C3%AAsicos%2c%20perspectivas_P.pdf) >. Acesso em: 15 maio 2018.

BNDES, CASTRO, B. H. R, BARROS, D. C, VEIGA, S. G. **Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global**. Disponível em: < https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3711.pdf >. Acesso em: 23 Maio 2018

CALÇADO, T. E. D. O. **Estudo Preliminar de Implementação de Estações de Recarga de Veículos Elétricos no Centro de Tecnologia da UFRJ**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - UFRJ/Escola Politécnica. Rio de Janeiro, p. 85. 2015.

CAMPBELL, R. **Battery Characterization and Optimization for use in Plug-in Hybrid Electric Vehicles**. A thesis submitted to the Department of Mechanical & Materials Engineering - Queen's University. Kingston, p. 118. 2011.

CASTRO, H. R. D.; BARROS, ; VEIGA, G. D. Baterias Automotivas: Panorama da Indústria no Brasil, as Novas Tecnologias e Como os Veículos Elétricos Podem Transformar o Mercado Global. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 37, p. 53, Janeiro 2013.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, A. **Termodinâmica**. 7ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

COSTA, E. São Paulo Inaugura Eletroposto Solar. **Verde Sobre Rodas**, 2018. Disponível em: <<http://www.verdesobrerodas.com.br/2018/03/sao-paulo-inaugura-eletroposto-solar.html>>. Acesso em: 3 Julho 2018.

COSTA, S. A. H. D. **Os Desafios da Implantação da Smart Grid no Modelo de Negócios do Setor Elétrico: Proposta de Configuração de Uma Rede Inteligente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - UFBA. Salvador, p. 107. 2014.

COELHO, Pedro L. B. **Análise de Performace de Veículos Híbridos e Elétricos**. Volta Redonda: UniFOA, 2017.

COSTA, M.O. **Projeto de plataforma de análise de conversão de tração de veículos com motor a combustão de tração de veiculos com motor a combustão para tração eletrica**. Brasília: UnB, 2015.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas** / Stephen J. Chapman; Tradução: Anatólio Laschuk. – 5. Ed. – Porto Alegre: AMGH, 2013.

CHAN, C.C. **The State of the Art of Eletric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles, Proceedings of the IEEE**, vol. 95, no 4 pp. 704-718. 2007.

CPFL – Energia. **Mobilidade Elétrica**.Disponível em : <<https://www.cpfl.com.br/sites/mobilidade-eletrica/mobilidade-e/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 01 Junho2018.

DELGADO, T. B. D. S. E. F. Transição Energética: Califórnia Style. **FGV Energia**, 2018. Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/opinioes/transicao-energetica-california-style>>. Acesso em: 10 Setembro 2018.

DEURSEN, F. V. Quais os países que não estão no Acordo de Paris? E por quê? **Super Abril**, 2017. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/blog/contaoutra/quais-os-paises-que-nao-estao-no-acordo-de-paris-e-por-que/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

EDSONLIQUE. **Ciclo Otto**. Disponível em: < <http://www.edsolique.com> >. Acesso: 11 Maio 2018.

EBAH. **Conversão de calor em trabalho**. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br> >. Acesso: 11 Maio 2018.

FERREIRA, T. T.; CASTRO, B. H. R. D. BNDES. **Veículos elétricos aspectos básicos, perspectivas**, 2010. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/2/BS%2032%20Ve%C3%A9culos%20el%C3%A9tricos%20aspectos%20b%C3%A1sicos%2c%20perspectivas_P.pdf>. Acesso em: 15 maio 2018.

FGV – Fundação Getulio Vargas. **Cardenos de Carros Elétricos**. Disponível em: < <http://fgvenergia.fgv.br/publicacao/caderno-de-carros-eletricos> >. Acesso em: 20 Maio 2018.

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo . **Os Desafios no Brasil**. Disponível em: < <http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/08/15/os-desafios-no-brasil/> >. Acesso em: 04 Maio 2018.

FOLHA DE S.PAULO - **Volkswagen vai produzir caminhão elétrico em fábrica no Rio**. Disponível em:<<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2017/10/1926563-volkswagen-vai-fabricar-caminhao-eletrico-em-fabrica-no-rio.shtml>>. Acesso em: 13/09/2018.

GALVÃO, R. Scientific American Brasil. **O Custo das Redes Inteligentes**, 2018. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/artigos/o_custo_das_redes_inteligentes.html>. Acesso em: 3 Outubro 2018.

IEA – International Energy Agency. **Nordic EV Outlook 2018**. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/nordic-ev-outlook-2018.html>>. Acesso em: 31/03/2018.

LENZ, A. L. Como uma Célula de Combustível e o Hidrogênio Funcionam? **automoveiseletricos**, 2013. Disponível em: <<http://automoveiseletricos.blogspot.com/2013/06/como-uma-celula-combustivel-e-o.html>>. Acesso em: 6 Outubro 2018.

MELO, R. R. D. **Conversor CC-CC Bidirecional Intercalado Aplicado a Supercapacitores Para Veículos Elétricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - UFC. Fortaleza , p. 159. 2014.

MOBILIDADE Elétrica. **CPFL Energia**, 2017. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/sites/mobilidade-eletrica/mobilidade-e/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 1 Junho 2018.

MOHAN, N. **Máquinas Elétricas e Acionamentos**. 1^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
MOTORES Ciclo Diesel. **MultiPetro**, 2018. Disponível em: <<http://www.multipetro.com.br/blog/2018/05/30/motores-diesel/>>. Acesso em: 3 Julho 2018.

MULLER, N. Como Funcionam as Baterias de Íons Lítio? **Oficina Net**, 2018. Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/smartphones/22282-mitos-e-dicas-sobre-baterias-de-smartphones>>. Acesso em: 6 Julho 2018.

OLIVEIRA, R. L. P. D. **Impactos da qualidade percebida sobre as atitudes e intenções comportamentais de proprietários de automóveis**. Dissertação (Mestrado em Ciências Empresariais) - FUMEC. Belo Horizonte, p. 116. 2010.

PALMA, M. G. Docplayer. **Motores a combustão interna**, 2016. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/12145897-Motores-a-combustao-interna.html>>. Acesso em: 12 julho 2018.

PELEGI, A. Ônibus elétrico gratuito passa a circular em definitivo em Volta Redonda. **Diário do transporte**, 2018. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2018/07/20/onibus-eletrico-gratuito-passa-a-circular-em-definitivo-em-volta-redonda/>>. Acesso em: 7 Outubro 2018.

QUINTELLA, C. O. D. V. et al. Carros Elétricos. **Cadernos FGV Energia**, n. 4, p. 112, Maio 2017.

REIS, A. Mobilidade. **Carros UOL**, 2018. Disponível em: <<https://carros.uol.com.br/noticias/redacao/2018/05/04/carregador-de-carro-eletrico-quanto-custa-instalar-em-casa-ou-no-trabalho.htm>>. Acesso em: 8 Setembro 2018.

RUEDA, O. A. S. **Controle do Motor de Indução Para Veículos Elétricos Mediante o Uso de Duplo Conversor**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, p. 129. 2014.

SAMÚ, J. P. G. **Etudo de Sistemas de Propulsão Veiculares Elétricos e Híbridos Através de Simulações Computacionais**. Monografia (Graduação Engenharia Mecânica) - DEM/POLI/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 82. 2018.

UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e kingsley**. 7^a. ed. Porto Alegre : AMGH, 2014.

UFPEL – Universidade Federal de Pelotas. **Apostila de Motores a Combustão**. Disponível em: < <https://wp.ufpel.edu.br/mlaura/files/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combust%C3%A3o-Interna.pdf> >. Acesso em: 05 Junho 2018.

ZERAOULIA, ; BENBOUZID, ; DIALLO,. Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 55, p. 10, Novembre 2006.