

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
LETIVAN CAMBRAIA FREIRE JÚNIOR**

**PROJEÇÃO DO IMPACTO DA INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS E
HÍBRIDOS NA FROTA BRASILEIRA**

**FORMIGA – MG
2015**

LETIVAN CAMBRAIA FREIRE JÚNIOR

**PROJEÇÃO DO IMPACTO DA INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS E
HÍBRIDOS NA FROTA BRASILEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador(a): Renan Souza Moura

**FORMIGA – MG
2015**

Letivan Cambraia Freire Júnior

Projeção do Impacto da Inserção de Carros Elétricos e Híbridos na Frota Brasileira.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica
do Instituto Federal de Minas Gerais como
requisito para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: ___/___/___

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ms. Renan Souza Moura
Orientador(a)

Prof. Ms. Carlos Renato Borges do Santos
Avaliador(a)

Profa. Dra. Ana Flávia Peixoto de Camargos
Avaliador(a)

Formiga, dia 17 de julho de 2015.

Dedico este trabalho em especial aos meus pais, que sempre me deram força para conquistar mais essa vitória em minha vida.

RESUMO

Este trabalho consiste em verificar os impactos causados pela substituição dos veículos com motor de combustão interna por veículos elétricos e híbridos. Estes novos conceitos de veículos voltaram a ser alvo de estudos com a crescente preocupação com o meio ambiente, e com o esgotamento das reservas naturais de petróleo, tornando-se uma alternativa. Os veículos com motor de combustão, utilizam como fonte de energia, combustíveis derivados do petróleo. Seu processo de combustão possui baixa eficiência, o que acaba por gerar grandes quantidades de gases poluentes, como o dióxido de carbono - CO₂, um dos principais causadores do efeito estufa. O modelo elétrico, por sua vez, utiliza um motor elétrico, alimentado por baterias, carregadas através da conexão do sistema de carga a rede elétrica. Com um ciclo bem mais eficiente, não há emissões em seu processo de funcionamento. Os veículos híbridos, por outro lado, combinam um motor de combustão interna e um motor elétrico. Existem duas configurações básicas para o modelo híbrido, a configuração série e paralelo. A popularização destes novos veículos pode ocasionar impactos no sistema elétrico, devido a conexão do carro a rede para a recarga da bateria, no consumo de combustíveis, e na emissão de gases causados do efeito estufa. Todos estes impactos serão abordados neste trabalho, e algumas formas de como amenizar o impacto no sistema elétrico será também discutido.

Palavras chave: Veículo Elétrico. Veículo Híbrido. Impactos .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do Sistema Interligado Nacional.....	20
Figura 2: Diagrama de blocos do veículo elétrico.....	26
Figura 3: Diagrama motor síncrono de imã permanente.....	28
Figura 4: Diagrama de acionamento para veículos elétricos.....	29
Figura 5: Sistema de carga Nissan Leaf.....	32
Figura 6: Esquema de frenagem regenerativa.....	33
Figura 7: Sistema Híbrido Série.....	36
Figura 8: Sistema Híbrido Paralelo.....	36
Figura 9: Sistema Híbrido Misto.....	37
Figura 10: Funcionamento MCI.....	39
Figura 11: Curva típica da potência gerada pela rede elétrica de 30 barras do IEEE.	43
Figura 12: Substituição de 10% dos veículos a combustão por elétricos.....	44
Figura 13: Substituição de 30% dos veículos a combustão por elétricos.....	44
Figura 14: Substituição de 10% dos veículos a combustão interna por elétricos, considerando os conceitos de smart grids e tarifa branca.....	46
Figura 15: Substituição de 30% dos veículos a combustão interna por elétricos, considerando os conceitos de smart grids e tarifa branca.....	46
Figura 16: Substituição de 100% dos veículos por combustão interna por elétricos, considerando os conceitos de smart grids e tarifa branca.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Diferenças entre modelos do SEB.....	14
Tabela 2: Unidades geradoras em operação.	15
Tabela 3: Consumo de gasolina por modelo de carro.....	50
Tabela 4: Custo de utilização por veículo.....	51
Tabela 5: Resultados da simulação realizada em [1].	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	13
1.2 Estrutura do Trabalho	13
2 O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	14
2.1 Geração	15
2.2 Transmissão	16
2.3 Distribuição	17
2.4 Comercialização de Energia Elétrica no Brasil	18
2.5 Sistema Interligado Nacional - SIN	19
3. ESTRUTURA TARIFÁRIA BRASILEIRA	22
4. O CARRO ELÉTRICO, HÍBRIDO E CONVENCIONAL POR COMBUSTÃO INTERNA	25
4.1 O Carro Elétrico	25
4.1.1 Princípio de Funcionamento do Carro Elétrico	26
4.1.1.1 Motor Elétrico	27
4.1.1.2 Sistema de Controle	28
4.1.1.3 Baterias	29
4.1.1.4 Sistema de Carga	31
4.1.1.5 Frenagem Regenerativa	32
4.1.2 Modelo de Carro Elétrico: Nissan Leaf	33
4.1.3 Carro Elétrico no Brasil e no Mundo	34
4.2 O Carro Híbrido	35
4.2.1 Modelo de Carro Híbrido: Toyota Prius	38
4.3 Carro Convencional por Combustão Interna	38
4.4 Comparativo entre Carros Elétricos, Híbridos e Convencionais por Combustão Interna	39
5 IMPACTOS DOS CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS	42
5.1 Impacto dos Carros Elétricos no Sistema Elétrico Brasileiro	42
5.2 Impacto dos Carros Elétricos e Híbridos no Consumo de Combustível	49
5.3 Impacto dos Veículos Elétricos e Híbridos na Emissão de CO ₂	51
6 CONCLUSÃO	54
6.1 Trabalhos Futuros	55
ANEXO I	57
ANEXO II	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

Os veículos com motor de combustão interna predominam amplamente no cenário de transporte mundial. Eles utilizam como principal fonte de energia os combustíveis derivados do petróleo, como o diesel e a gasolina. A eficiência do processo de combustão é baixa e acarreta em uma grande quantidade de emissão de poluentes na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO_2), um dos principais gases causadores do efeito estufa.

A crescente preocupação com o meio ambiente, principalmente com o aquecimento global causado pelo efeito estufa, somada a preocupação com o esgotamento das reservas naturais de petróleo, faz com que a procura por novas fontes de energia seja intensificada, assim como o desenvolvimento de novas tecnologias que utilizem fontes alternativas de energia.

O setor de transporte representa uma grande parcela do consumo de combustíveis fósseis, bem como da emissão de gases estufa. Desta maneira, uma alternativa seria substituir o petróleo como principal fonte de energia deste setor por outras fontes de energia. Neste contexto, os veículos elétricos e híbridos são grandes alternativas. Estes dois modelos de veículos visam o desenvolvimento de suas tecnologias, para que possam substituir os veículos convencionais movidos por motor de combustão interna. O funcionamento destes carros será descrito posteriormente em outro capítulo.

Importantes pesquisas vem sendo feitas como forma de prever o impacto que estes novos veículos podem causar em diversos setores. Além de promover melhorias para os sistemas utilizados em seu funcionamento, como por exemplo, o sistema de baterias.

Simulações foram realizadas em [1], como forma de obter os dados sobre a economia de combustível e redução de emissão de CO_2 de um modelo híbrido, com parâmetros obtidos em laboratório e, um carro com motor a combustão, o Skoda Fabia 1.2. O modelo de carro híbrido apresentou um consumo 13,6% menor de combustível, com uma redução de 13,5 % de emissão de CO_2 , em relação ao veículo convencional Skoda Fabia 1.2.

Usando como base os resultados obtidos em [1] o consumo de combustível e emissão de CO_2 de um carro convencional e um carro elétrico, foram comparados

em [2]. Foi levado em conta também, a emissão de gases devido a produção técnica do combustível, assim como a emissão relacionada ao seu transporte até a utilização em um veículo de combustão interna. Além da emissão de CO₂ devido a produção de energia para o carregamento das baterias dos carros elétricos, utilizando diferentes fontes de energia. A diferença de emissão de CO₂/km de um veículo convencional para um veículo elétrico pode variar entre 51 e 130 g/km, dependendo da fonte de energia utilizada para o carregamento das baterias do veículo elétrico.

Um estudo foi realizado na cidade de São Paulo em [3], o qual faz uma projeção do impacto da inserção do carro elétrico até o ano de 2030, considerando três modelos de carros elétricos mais comercializados no mundo, Nissa Leaf, Ford Focus e BMW i3. Com um crescimento previsto de 0,5% para a frota de carros, foi calculado uma diminuição do consumo de combustível de 7,0% até 2020 e 13,0% até 2030. Além da redução de 3,5 Mt de CO₂ até 2020 e 11,0 Mt de CO₂ até 2030. Assumiu-se uma substituição do carro movido a gasolina pelo carro elétrico de 10% até 2020 e 20% até 2030. As emissões de CO₂ devido ao consumo de eletricidade seriam insignificantes quando comparadas as emissões dos veículos convencionais. Prevê-se ainda que o custo com energia também seria insignificante quando comparado com a economia no consumo de gasolina.

Afim de promover melhorias no sistema destes automóveis em [4] e [5] um controle de velocidade de baixo custo e um divisor elétrico de potência foram analisados. [4] utiliza o temporizador IC 555 como forma de obter um controle de velocidade de baixo custo ao motor escovado DC. Esta técnica permite que haja uma elevada tensão de saída, com uma pequena tensão de entrada, sendo muito útil aos carros elétricos, pois desta forma seu custo de produção pode ser reduzido.

Em [5] um sistema com divisor de potência elétrica é testado em um modelo de carro híbrido. Este sistema permite dividir a potência de saída do motor de combustão interna em duas partes, transmitindo parte da potência de saída do motor de combustão diretamente para as rodas, e a outra parte para o sistema elétrico, passando pelo gerador que fornece energia ao motor elétrico que transmite a potência às rodas. Esta divisão garante boa eficiência ao sistema, sendo uma boa opção de melhoria para o desempenho de carros híbridos.

Em [6] uma pesquisa foi feita pela Associação Norueguesa de Veículos Elétrico-NEVA com os proprietários de veículos elétricos, afim de saber a satisfação

dos usuários em relação ao carro elétrico. A grande maioria utiliza seu carro diariamente, em pequenos deslocamentos na cidade, e não o utilizam para viagens mais longas. Eles afirmam estar satisfeitos com seus carros elétricos pois estes apresentam uma boa economia, além dos benefícios anteriormente citados. Eles garantem que sua próxima compra será um carro elétrico.

Na Noruega, o carro elétrico é bastante difundido. Este país apresenta o maior número de carros elétricos por habitante, segundo dados da NEVA, em junho de 2013, o país apresentava 13.000 carros elétricos para uma população de 5 milhões de habitantes e, a cada ano, 500 novos carros elétricos são comercializados [6]. A principal causa do sucesso dos veículos elétricos é o amplo pacote de incentivos fornecido pelo governo para quem possui um carro elétrico, tal como a isenção de impostos em sua compra, estacionamentos públicos gratuitos e a isenção de pagamento de pedágios em rodovias. Nestas condições, o carro elétrico se torna competitivo com os veículos tradicionais, além do fato de a eletricidade ser mais barata do que a gasolina.

Um dos grandes problemas do automóvel elétrico é sua autonomia limitada. Como as baterias ainda não são capazes de armazenar grandes quantidades de energia, o alcance dos carros elétricos é limitado. Algumas tecnologias vem sendo desenvolvidas afim de amortizar este problema, como exemplo, um sistema de carregamento que utiliza um alternador ligado ao eixo das rodas traseiras [7]. Este sistema prevê a utilização de duas baterias que se alternam como fonte de alimentação do motor elétrico. O alternador AC transforma energia mecânica desenvolvida pelo eixo das rodas em energia elétrica e assim possibilita carregar uma das baterias, enquanto a outra alimenta o motor.

Apesar dos inúmeros benefícios que estes novos veículos podem trazer, a substituição dos veículos convencionais por combustão interna pelos veículos elétricos e híbridos pode causar impactos em outros setores, tal como o setor de eletricidade.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é prever o impacto no sistema elétrico brasileiro, causado pela inserção dos veículos elétricos na frota brasileira. Além de prever o impacto da utilização destes veículos, juntamente com os veículos híbridos, no consumo de combustíveis fósseis e na emissão de CO₂.

Para prever estes impactos será feita uma análise crítica de outros trabalhos já realizados nesta área. Além de informações obtidas sobre os veículos elétricos, híbridos e convencionais por combustão interna.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é constituído por 6 capítulos, onde o primeiro capítulo corresponde a introdução ao tema. Além dos objetivos e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo consiste na caracterização do setor elétrico brasileiro, bem como de seus segmentos e agentes que o compõem. Além da reformulação ocorrida no setor elétrico brasileiro até o presente modelo.

O terceiro capítulo trata da estrutura tarifária brasileira, o qual aborda os conceitos de postos tarifários e modalidades tarifárias, as diferentes tarifas existentes e como funciona o sistema de bandeiras tarifárias.

O quarto capítulo traz a descrição do princípio de funcionamento dos três tipos de veículos que são tratados no trabalho: os veículos convencionais por combustão interna, o veículo elétrico e o veículo híbrido. Este capítulo também faz um comparativo entre estes veículos.

O quinto capítulo discute os impactos que a inserção dos carros elétricos na frota brasileira pode causar no sistema elétrico brasileiro. Além do impacto no consumo de combustíveis fósseis e emissão de CO₂, devido a utilização dos veículos elétricos e híbridos.

O sexto capítulo apresenta as conclusões e melhorias que podem ser feitas para viabilizar a popularização dos veículos elétricos e híbridos.

2 O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Este capítulo tem como objetivo apresentar a atual situação do Setor Elétrico Brasileiro (SEB). Desta forma, os impactos causados neste setor, devido à inserção dos veículos elétricos e híbridos na frota brasileira sejam analisados.

O SEB passou por uma reestruturação em sua forma de operação e até hoje continua em aperfeiçoamento. O início desta reestruturação, se deu em meados da década de 1990, buscando eficiência e autonomia econômica.

Novas reformas ocorreram levando ao modelo atual do Setor Elétrico Brasileiro, regulamentado entre 2003 e 2004, sustentado pelas Leis nº 10.847 e 10.848, de 15 de março de 2004 e, pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004 [8]. A Tabela 1 mostra algumas diferenças entre os modelos do SEB, desde o começo da reestruturação, até chegar ao modelo atual.

Tabela 1: Diferenças entre modelos do SEB.

Modelo Antigo (até 1995)	Modelo de Livre Mercado (1995 a 2003)	Novo Modelo
Financiamento através de recursos públicos	Financiamento através de recursos públicos e privados	Financiamento através de recursos públicos e privados
Empresas verticalizadas	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação
Empresas predominantemente estatais	Abertura e ênfase na privatização das empresas	Convivência entre empresas estatais e privadas
Monopólios-Competição inexistente	Competição na geração e comercialização	Competição na geração e comercialização

Fonte: CCEE [9].

O novo modelo tem como objetivo garantir a segurança do suprimento de energia elétrica, promover a modicidade tarifária e a inserção social no SEB, em particular pelos programas de universalização do atendimento.

A partir desta reestruturação o setor elétrico passou por uma desverticalização, tornando os processos de geração, transmissão, distribuição e

comercialização, segmentos independentes. Estes segmentos serão detalhados a seguir.

2.1 Geração

O segmento de geração é composto pelas unidades geradoras de energia elétrica, que podem utilizar diferentes fontes de energia para produção de eletricidade.

O sistema de geração de energia elétrica brasileiro é bem amplo, e contempla inúmeras unidades geradoras. A grande maioria destas unidades geradoras são termelétricas, entretanto, aproximadamente 70% da potência instalada é devido as usinas hidrelétricas. A Tabela 2, mostra a quantidade de unidades geradoras e a potência instalada em cada tipo de unidade geradora.

Tabela 2: Unidades geradoras em operação.

Tipo	Quantidade	% do total	Potência Instalada (kW)	% do total
Usina Hidrelétrica de Energia - UHE	196	6,2	81.801.323	63,9
Pequena Central Hidrelétrica – PCH	477	15,1	4.669.842	3,7
Central Geradora Hidrelétrica – CGH	449	14,2	275.195	0,2
Usina Termelétrica de Energia – UTE	1.824	57,9	36.756.810	28,7
Usina Termonuclear – UTN	2	0,1	1.990.000	1,6
Central Geradora Eolielétrica – EOL	117	3,7	2.441.176	1,9
Central Geradora Solar Fotovoltaica – UFV	87	2,8	6.209	0,0
Total	3.152	100	127.940.555	100

Fonte: ANEEL [10].

Este segmento é composto também pelos denominados agentes de geração. Estes são os responsáveis pela produção de energia elétrica, seja qual for a fonte de energia utilizada. Os agentes podem ser empresas públicas ou privadas, os quais podem ser classificados como [11]:

- concessionários de Serviço Público de Geração;
- produtores Independentes de Energia Elétrica (PIE);
- autoprodutores (AP).

Alguns agentes de geração, são: Furnas Centrais Elétricas, Itaipú Binacional, Funil, Eletronorte (Centrais Elétricas do Norte do Brasil), COPEL, entre outros [12].

2.2 Transmissão

As unidades de geração geralmente são construídas longe dos centros consumidores, como os centros urbanos e indústrias. O segmento de transmissão de energia é responsável por transportar a energia gerada nas usinas até as empresas de distribuição ou consumidores, através de uma rede de linhas de transmissão espalhadas por todo o território nacional.

A eletricidade pode ser transportada por longas distâncias através de cabos aéreos, revestidos por camadas isolantes e fixados em grandes torres metálicas. Estes cabos são sustentados também pelos isolantes de vidro ou porcelana, que impedem descargas elétricas durante o percurso. Todo este sistema é denominado de rede de transmissão.

O nível de tensão na transmissão é elevado, como forma de reduzir perdas de energia. No Brasil, o segmento de transmissão é caracterizado por operar em tensões elétricas superiores a 230 mil Volts [13].

A transmissão é realizada pelos agentes de transmissão, empresas públicas ou privadas detentores de concessão para transmissão de energia elétrica, desde a unidade geradora até os centros consumidores ou empresas de distribuição. As concessões são disputadas em leilões públicos regulamentados pela ANEEL. Segundo [13], existem 77 concessionárias de serviços de transmissão de energia no Brasil, dentre elas pode-se destacar CHESF (Companhia Hidroelétrica do São

Francisco), BRASNORTE, CEMIG, AETE (Amazônia-Eletronorte Transmissora de Energia), Furnas Centrais Elétricas, dentre outras.

2.3 Distribuição

O segmento de distribuição se caracteriza como o segmento do setor elétrico dedicado a entrega de energia elétrica para um usuário final. O sistema de distribuição pode ser considerado como o conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam com tensões elétricas abaixo de 230 mil Volts [14].

O setor de distribuição de energia elétrica recebe energia elétrica das redes de transmissão e distribui para consumidores de pequeno e médio porte. Este segmento também pode receber energia proveniente de pequenas unidades geradoras, de capacidade menor que 30 MW.

O nível de tensão elétrica fornecido ainda não é o adequado para consumo, sendo necessário utilizar transformadores próximo ao consumidor, afim de diminuir o nível de tensão. Os transformadores são instalados geralmente em postes, próximos a residências, comércios e indústrias.

As empresas de distribuição instalam também aparelhos medidores em cada ponto de consumo de eletricidade, afim de medir a quantidade de energia consumida.

Existem 63 concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, além de um conjunto de cooperativas de eletrificação rural que passaram pelo processo de enquadramento como permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica [14].

A CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz), Eletropaulo, Light, CELPE (Companhia Energética de Pernambuco), são exemplos de agentes de distribuição [15].

2.4 Comercialização de Energia Elétrica no Brasil

A comercialização de energia é um segmento novo advindo da reestruturação do setor elétrico iniciada na década de 1990. Este segmento envolve geração, distribuição, importação, exportação e os consumidores finais. No Brasil existem três tipos de consumidores, são eles [16]:

- consumidor cativo: é aquele que não pode comprar energia elétrica diretamente, senão por meio da empresa distribuidora de sua localidade. Nesta categoria estão todos os consumidores de baixa tensão e a maioria dos consumidores de média tensão;
- consumidor livre: é aquele consumidor que pode optar por comprar energia elétrica diretamente do mercado livre. Esse consumidor deve ter demanda mínima de 3 MW, em qualquer nível de tensão;
- consumidor especial: é o consumidor que também pode negociar energia no mercado livre, desde que adquira de fontes incentivadas pelas concessionárias de energia, como biomassa, PCHs e solar. Para que o consumidor possa ser enquadrado como especial, sua demanda deve ser igual ou superior a 500 KW.

Foram definidos no novo modelo do SEB, dois ambientes de comercialização que envolvem todos os consumidores. São eles: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL).

O ACR, também conhecido como Mercado Regular, atende aos consumidores cativos, uma vez que estes não podem comprar energia diretamente das geradoras. O atendimento da demanda destes consumidores é realizada pelas empresas distribuidoras.

As empresas distribuidoras que possuem um mercado maior que 500 GWh, devem adquirir energia elétrica por meio de leilões promovidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e regulamentados pela ANEEL. Empresas com mercado inferior tem participação facultativa nestes leilões, podendo ser supridas pelas distribuidoras maiores [16].

O objetivo dos leilões regulados é de promover a competição entre os agentes de geração. Vence o leilão aqueles empreendimentos que suprem a energia demandada pelas distribuidoras ao menor custo oferecido.

Os contratos do ACR tem regulação específica para aspectos como preço da energia, submercado de registro do contrato e vigência de suprimento, os quais não são passíveis de alterações bilaterais por parte dos agentes [17].

Já no ACL, que atende aos consumidores livres e especiais, as operações de compra e venda de energia elétrica são realizados por meio de contratos bilaterais. As condições, preços e volumes são livremente negociados entre os consumidores livres, consumidores especiais, comercializadores, importadores, exportadores e geradores de energia.

Seja por meio de leilões ou livre negociação, 100% da energia consumida no Brasil deve estar contratada. Esta garantia é requerida com o objetivo de reduzir a exposição dos agentes às condições de curto prazo.

Assim como no ACR, todos os contratos realizados no ACL devem ser registrados na CCEE, além de informar o montante acordado, prazo de entrega e preços. A CCEE é a instituição responsável por realizar a liquidação financeira das diferenças entre os montantes contratados e os montantes efetivamente consumido. Algumas empresas de distribuição, produtores independentes e autoprodutores, podem, com algumas exceções, vender energia nos dois ambientes.

Se o consumidor estiver conectado diretamente ao sistema de transmissão ou distribuição, ele deverá pagar, o contrato livremente negociado com seu supridor e, os custos de uso do sistema de transmissão ou distribuição, através das tarifas TUST (Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão) e TUSD (Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição).

2.5 Sistema Interligado Nacional - SIN

O SIN reúne empresas de geração e transmissão das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica [18].

A produção e transmissão de energia no Brasil é caracterizado como um sistema hidrotérmico, com forte predominância de usinas hidroelétricas. Como estas usinas são construídas em locais onde melhor possa se aproveitar as aflúências e os desníveis dos rios, elas estão localizadas longe dos grandes centros consumidores, sendo necessária um sistema de transmissão extenso para levar a energia produzida até as áreas de grande consumo.

O SIN conta com aproximadamente 100.000 Km de linhas de transmissão, com níveis tensão de 230 kV a 750 kV. A Figura 1 mostra o mapa do sistema interligado nacional.

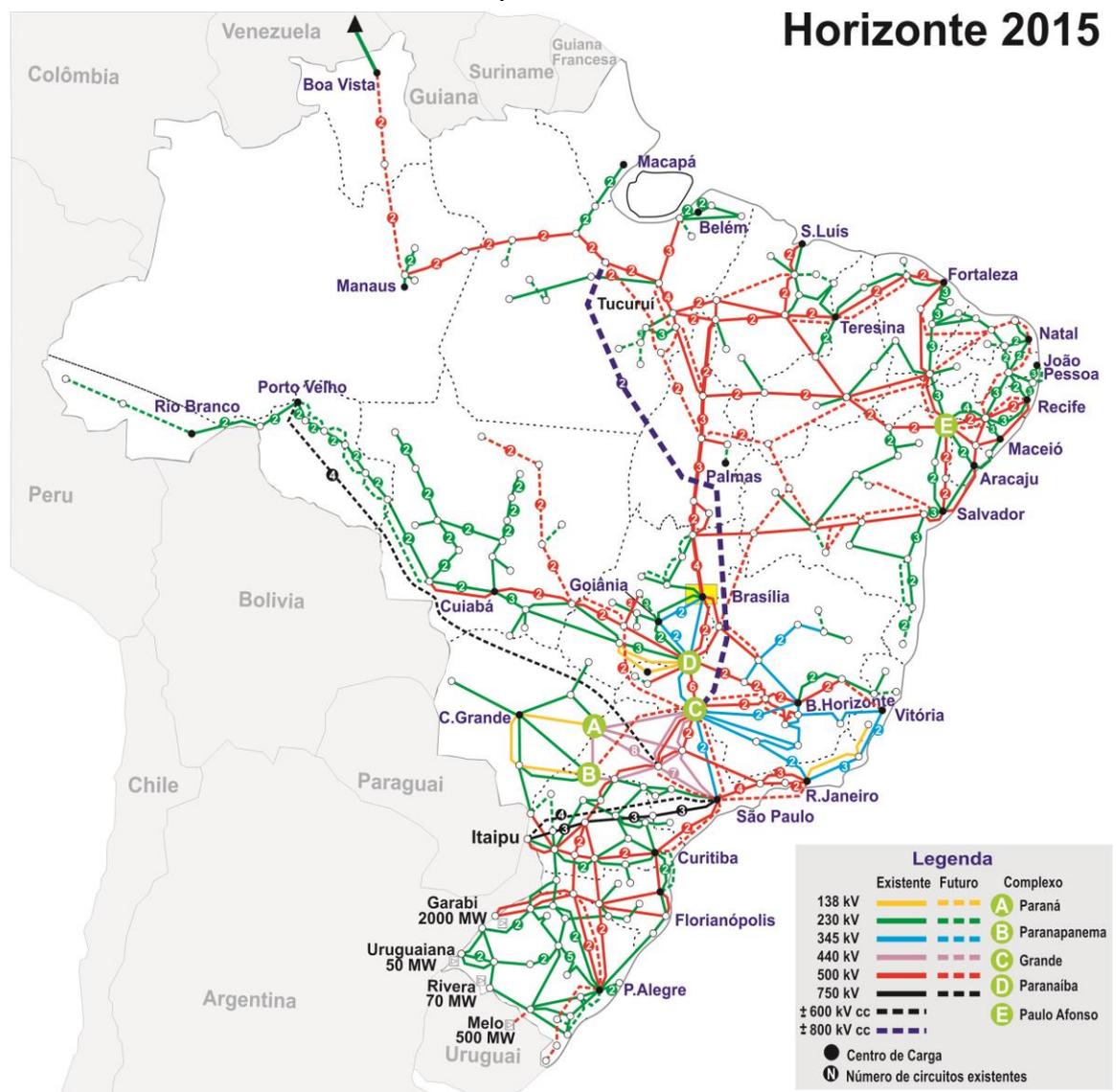


Figura 1: Mapa do Sistema Interligado Nacional.
Fonte: ONS [18].

A grande extensão territorial do país, aliado às mudanças climáticas e hidrológicas, ocasionam escassez ou excesso de energia elétrica proveniente de hidrelétricas em determinadas regiões do país. A interligação das redes de transmissão permite efetuar trocas de energia entre as regiões contempladas pelo SIN, aproveitando toda diversidade de regime das bacias hidrográficas brasileiras.

As principais funções do SIN são:

- transmissão de energia gerada pelas usinas para os grandes centros de carga;
- integração entre os diversos elementos do sistema elétrico garantindo estabilidade e confiabilidade da rede;
- interligação entre as bacias hidrográficas e regiões com características hidrológicas heterogêneas de modo a otimizar a geração elétrica, e ;
- integração energética com os países vizinhos.

3. ESTRUTURA TARIFÁRIA BRASILEIRA

O objetivo deste capítulo é apresentar como a energia elétrica é tarifada no Brasil. Desta forma, será possível prever o custo de carregamento de um veículo elétrico, por exemplo. Além de apresentar o conceito de tarifa branca que será discutido no capítulo 5.

Existem dois grupos tarifários de acordo com o nível de tensão de fornecimento: grupo A e grupo B.

O grupo A atende aos consumidores em Alta Tensão (AT) com nível de fornecimento superior a 2300 V. Este grupo pode ser subdividido em [19]:

- A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- AS para o nível de tensão inferior a 2,3 kV.

Os consumidores atendidos com tensão inferior a 2300 V pertencem ao grupo B. Este pode ser subdividido em:

- B1 – residencial e residencial de baixa renda;
- B2 – rural, cooperativa de eletrificação rural e serviço público de irrigação;
- B3 – demais classes;
- B4 – Iluminação pública.

Há ainda diferentes postos tarifários e modalidades tarifárias. Os postos tarifários segundo a ANEEL [20] são:

- Posto Tarifário Ponta: composto por três horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico. Este posto é aprovado pela ANEEL para toda área de concessão, exceto para finais de semana e feriados, definidos pela Resolução Normativa nº 414/2010. Este período geralmente compreende de 18 às 21h fora do horário de verão e de 19 às 22h no horário de verão;

- Posto Tarifário Intermediário: período de duas horas, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior ao posto ponta, aplicado para o Grupo B;
- Posto Tarifário Fora de Ponta: composto pelo conjunto de horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos ponta e intermediário.

As modalidades tarifárias, segundo a ANEEL [20] são:

- Modalidade tarifária horária Azul: caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia. É aplicada às unidades consumidoras do grupo A;
- Modalidade tarifária horária Verde: caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência. É aplicada às unidades consumidoras do grupo A;
- Modalidade tarifária Convencional Binômica: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, é caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independente das horas de utilização do dia;
- Modalidade tarifária horária Branca: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto os subgrupos B1 subclasse Baixa Renda e B4, [e caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia;
- Modalidade tarifária Convencional Monômica: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, é caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia;
- Modalidade tarifária Geração: aplicada às centrais geradoras conectadas aos sistemas de distribuição, é caracterizada por tarifas de demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia;
- Modalidade tarifária Distribuição: aplicada às concessionárias ou permissionárias de distribuição conectadas aos sistemas de outra distribuidora, é caracterizada por tarifas diferenciadas de demanda de

potência, de acordo com as horas de utilização do dia, e de consumo de energia elétrica.

A modalidade tarifária horária branca instituída em março de 2014 pela ANEEL, permite que os consumidores pertencentes ao grupo B (exceto os de baixa renda e iluminação pública) possam optar por esta modalidade ou continuar na Tarifa Convencional.

O objetivo principal da criação da Tarifa Branca é propor uma maior variedade de modalidades tarifárias para os consumidores de baixa tensão, obtendo através da escolha dos mesmos, os efeitos positivos sobre o uso de um sistema regulado pelo deslocamento temporal do consumo.

Os anos de 2013 e 2014 foram utilizados como anos teste, para o sistema de Bandeiras Tarifárias. Este sistema foi criado para sinalizar aos consumidores os custos reais da geração de energia elétrica. Desde o dia 1º de janeiro de 2015 este sistema já está em vigor.

Foram criadas três bandeiras: verde, amarela e vermelha[21]:

- Bandeira verde: condições favoráveis a geração de energia. Desta maneira a tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- Bandeira amarela: condições menos favoráveis a geração de energia. A tarifa sofre um acréscimo de R\$ 0.025 para cada kWh consumido;
- Bandeira vermelha: condições precárias de geração. A tarifa sofre um acréscimo de R\$ 0.055 para cada kWh consumido.

As Bandeiras Tarifárias e as tarifas propriamente ditas são diferentes. As tarifas cobrem os custos envolvidos na geração, transmissão e distribuição da energia elétrica, além dos custos relacionados aos encargos setoriais. As Bandeiras Tarifárias refletem apenas os custos relacionados às condições de geração, o que torna a conta de energia mais transparente.

4. O CARRO ELÉTRICO, HÍBRIDO E CONVENCIONAL POR COMBUSTÃO INTERNA

4.1 O Carro Elétrico

O primeiro carro movido a eletricidade foi construído em meados da década de 1830. Após este modelo, vários outros modelos foram criados, mas o primeiro automóvel elétrico real surgiu na década de 1890. No fim desta década cerca de 28% da frota de carros americana era movida a eletricidade.

A decadência do veículo elétrico veio depois da introdução do modelo T de motor de combustão, proposta por Henry Ford. Com a produção em massa aliada a esta nova tecnologia, os automóveis com motor de combustão tornaram-se populares no mercado.

Os carros elétricos voltaram a receber investimentos em seu desenvolvimento nas décadas de 1960 e 1970, devido a crescente preocupação com a poluição ambiental e o aumento do preço dos combustíveis derivados do petróleo.

Em 1996 a General Motors (GM) lançou o carro elétrico GM EV1. Este era considerado o carro elétrico mais rápido e eficiente já lançado. O EV1 não foi vendido, mas alugado em contratos de longa duração. Ao fim dos primeiros contratos a GM, por razões estratégicas, não deu continuidade ao projeto. Desta forma, o EV1 foi recolhido e eliminado pela GM [22].

As baterias sempre foram um fator limitante para que os carros elétricos fossem utilizados em larga escala. Elas precisam armazenar energia suficiente para que o veículo percorra grandes distâncias, ter um tempo de recarga baixo e custo razoável em sua troca.

A seguir o princípio de funcionamento do carro elétrico será descrito, com seus principais componentes e a importância destes no desempenho do carro. Mais adiante um modelo de carro elétrico comercializado mundialmente será apresentado.

4.1.1 Princípio de Funcionamento do Carro Elétrico

O carro elétrico utiliza como forma de propulsão um motor elétrico movido a baterias recarregáveis, substituindo os combustíveis derivados do petróleo, que acarretam problemas ambientais, devido à liberação de poluentes em seu processo de combustão, como por exemplo o CO_2 .

A bateria fornece energia para o motor-gerador elétrico que através de um sistema de transmissão ligado as rodas, produz o movimento do veículo. A Figura 2 representa o diagrama de blocos do funcionamento de um veículo elétrico.

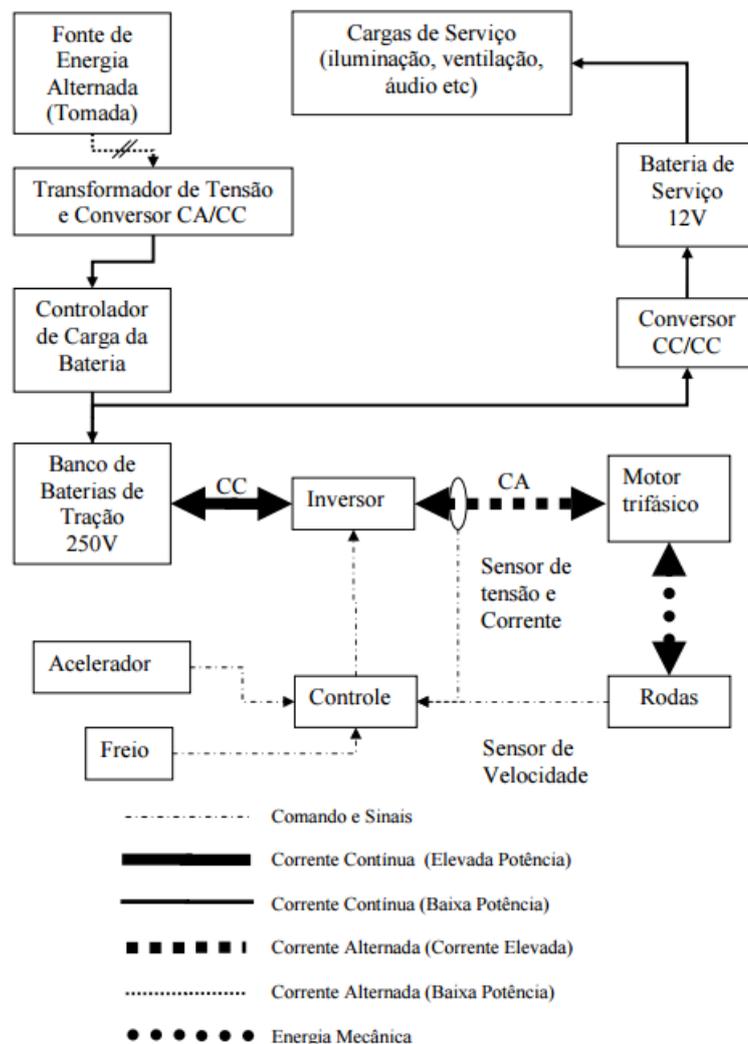


Figura 2: Diagrama de blocos do veículo elétrico.
Fonte: Noce [22].

Como pode ser visto na Figura 2, o carro elétrico é alimentado por um banco de baterias. A seta dupla entre o banco de baterias e o inversor, entre o inversor e o

motor trifásico e, entre o motor trifásico e as rodas indica o que o fluxo de energia ocorre nos dois sentidos. Quando o carro está em movimento a bateria alimenta o motor trifásico, tendo sua tensão CC convertida pelo inversor em uma tensão CA. Na frenagem o motor elétrico atua como gerador. Sua tensão CA gerada é convertida pelo inversor em uma tensão CC. Este processo faz com que a energia recuperada na frenagem seja armazenada no banco de baterias.

Os veículos elétricos são equipados ainda com um sistema de carga para que o banco de baterias seja alimentado por uma fonte externa. Este sistema é responsável também pelo carregamento da bateria de serviço, que alimenta cargas auxiliares como iluminação e ventilação, por exemplo.

Os principais componentes de um veículo elétrico são: o motor elétrico, sistema de controle, bateria, sistema de carga e em alguns modelos a frenagem regenerativa. Estes componentes serão detalhados nos próximos tópicos.

4.1.1.1 Motor Elétrico

O motor elétrico vem sendo muito utilizado no setor automotivo. Atualmente, o motor mais utilizado para aplicações automotivas é o motor síncrono de ímã permanente. Neste motor, o rotor tem a mesma frequência de rotação do campo do estator. O motor síncrono de ímã permanente são de fácil e barata produção, ou seja, são ideais para produção em larga escala, além de apresentar um baixo consumo de energia. Apresenta excelente relação peso x potência, muito importante para automóveis e elevada eficiência, aproximadamente 97,5% [23]. A Figura 3 ilustra o diagrama do motor síncrono de ímã permanente.

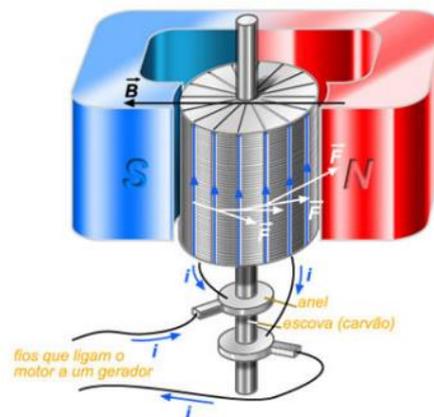


Figura 3: Diagrama motor síncrono de ímã permanente.
Fonte: Imbasciati [23].

Os motores síncronos de ímã permanente possuem outras vantagens, como por exemplo, elevado torque de partida, torque constante em baixa velocidade, potência constante em grandes velocidades, além de fornecer um controle mais preciso de sua velocidade.

Um problema que pode ocorrer na utilização destes motores é com relação a temperatura, pois estes motores podem perder suas características em torno dos 150° C. Todavia, com advento de novas tecnologias, os motores mais modernos suportam até 200° C.

4.1.1.2 Sistema de Controle

O sistema de controle envolve todos os módulos de controle eletrônicos utilizados no sistema de acionamento do motor elétrico, gerenciamento de carga e sistema de recarga. São utilizados conversores CC-CC, inversores CA-CC, unidades de controle eletrônico e sistemas de distribuição de energia.

A Figura 4 ilustra o diagrama de acionamento para um veículo elétrico. O conversor CC-CC é utilizado para converter a tensão CC da bateria em um nível inferior ou superior. Um inversor de frequência pode ser utilizado como dispositivo de acionamento (*driver*), convertendo a tensão proveniente do conversor de CC para uma tensão trifásica CA, e dessa maneira acionar o motor elétrico.

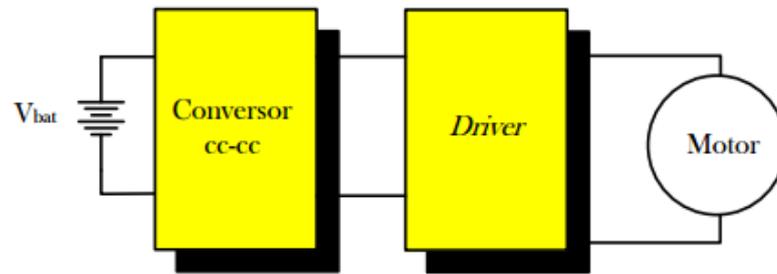


Figura 4: Diagrama de acionamento para veículos elétricos.
Fonte: Barrozo 2010 [24].

O conversor também é responsável por reduzir o nível de tensão fornecido pela bateria, para um nível inferior, geralmente 12 V e, desta maneira alimentar outros dispositivos do veículo como: lâmpadas, módulos eletrônicos, rádio, dentre outros.

O inversor também pode ser utilizado para converter energia CA-CC para recarregar as baterias quando o motor elétrico atua como gerador, como no caso da frenagem regenerativa, descrita adiante.

Todo esse sistema é controlado por um módulo eletrônico microcontrolado que gerencia diversos parâmetros, como carga de bateria, temperatura, condições de carga. Este sistema toma decisões afim de obter a máxima eficiência[23].

4.1.1.3 Baterias

A bateria é o componente central do veículo elétrico e tem função de armazenar energia necessária para o acionamento do motor. Ainda não existe um padrão para a bateria, sendo que as mais utilizadas são: as baterias de chumbo-ácido (PbA), as de níquel hidreto (NiMH), as de sódios e as de Lítio-Íon.

Algumas características são importantes nas baterias, como:

- elevada energia específica (Wh/Kg), garantindo maior autonomia ao veículo;
- alta densidade de energia (Wh/l), de modo que a bateria seja menor, portanto ocupe menos espaço;
- potência específica (W/Kg) elevada, afim de obter melhor desempenho;
- maior vida útil e;

- tempo de recarga baixo.

Os maiores desafios no desenvolvimento das baterias são torná-las mais eficientes, mais leves, menores, com menor tempo de recarga, maior vida útil e elevada densidade energética, além da redução do custo de fabricação.

O preço de uma bateria é de aproximadamente 600 a 700 € por kWh, desta maneira uma bateria de 20 kWh pode chegar a 14000 € , o que ultrapassa o valor de um veículo de pequeno porte. Atualmente as baterias disponíveis são [25]:

- Chumbo Ácido de Ciclo Profundo: possui vários ciclos, podendo carregar e descarregar completamente várias vezes, além de oferecer corrente constante. Sua duração é de 5000 ciclos;
- Níquel Cádmio: são mais caras que a anterior devido ao elevado preço do cádmio. Carregam rapidamente, têm maior densidade de energia e duração de 10000 ciclos. São altamente tóxicas;
- Níquel Metal Hidreto: possui material reciclável não tóxico, duração de 160000 ciclos, rápido carregamento e fácil manutenção. Todavia, apresenta baixa densidade de energia;
- Lítio Íon: possuem alta densidade de energia e duração de até 100000 ciclos. Porém, apresenta um elevado custo de fabricação e elevado superaquecimento.

As baterias de Lítio Íon são as mais utilizadas atualmente nas aplicações envolvendo veículos elétricos, sendo alvo de inúmeros investimentos para seu desenvolvimento. O principal objetivo é reduzir o tamanho, peso das baterias, o custo de fabricação e aumentar sua densidade de energia e vida útil.

Um outro ponto importante sobre as baterias é o seu descarte. Uma vez que quando sua vida útil terminar, elas deverão ser trocadas e devidamente descartadas, o que implica no desenvolvimento de métodos eficientes de reciclagem.

A seguir são citados alguns métodos de reciclagem [25]:

- Reciclagem de Baterias de Chumbo-Ácido: as baterias são quebradas em diversos pedaços por uma máquina e colocadas em um tonel preenchido com um líquido. O chumbo e os materiais pesados caem ao fundo do do tonel enquanto os plásticos flutuam. Nesse momento, os pedaços de polipropileno são recolhidos e o líquido é extraído do tonel, restando somente o chumbo e

os metais pesados. Cada material é então separado e tem seu processo individual de reciclagem;

- Reciclagem de Baterias de Íon-Lítio: essas baterias são 100% em um ambiente de alta temperatura livre de oxigênio. O objetivo é transformar os componentes da bateria em produtos específicos finais. São eles: Concentrado de Sal Lítio Cobalto, Aço Inoxidável e Cobre, Alumínio e Plástico. Esses produtos são colocados de volta ao mercado para serem reutilizados;
- Reciclagem de Baterias de Níquel-Cádmio e Níquel-Hidreto: essas baterias também são 100% recicladas. Antes do processo de derretimento, separam-se os plásticos dos metais. Os metais são, reciclados por meio de um processo de elevada temperatura em que os metais pesados (níquel, ferro, manganês e cromo) são fundidos e depois solidificados para serem reutilizados. Os metais leves (zinco e cádmio) separam-se durante o derretimento.

4.1.1.4 Sistema de Carga

Como a autonomia dos carros elétricos ainda é baixa, devido a ineficiência das baterias desenvolvidas, elas deverão ser conectadas a rede para recarga frequentemente. Para isto, um carregador embarcado é acoplado permitindo que as baterias possam ser carregadas em qualquer tomada. Existem três níveis de recarga [25]:

- Nível 1: composto por uma tomada com uma fase 120 V e 15 A, é ideal para residências e escritórios. Este carregamento utiliza cabos portáteis com conectores domésticos padrão de 3 pinos em uma extremidade e um conector para o veículo em outra. Este carregamento é o mais lento, levando de 16 a 20 horas para recarga;
- Nível 2: é considerado o modo rápido de carregamento. Pode ser realizado em casa ou postos públicos de recarga, que fornecem tensão de 208-240 V e corrente de 30-40 A. Sua potência pode variar de 6,0-9,6 kW. Os cabos são semelhantes ao nível 1;

- Nível 3: é o modo de carregamento ultra rápido com tempo de médio de 30 minutos. É feito utilizando três fases com tensão de 208-600 V e potência de 60-150 kW.

A Figura 5 mostra o sistema de carga do Nissan Leaf, que será apresentado na seção 4.1.2. Este veículo pode ser carregado em qualquer um dos níveis supracitados. Quando recarregado nas condições do nível 3, atinge-se 80% da carga da bateria de Lítio-Íon em 30 minutos.



Figura 5: Sistema de carga Nissan Leaf.
Fonte: Nissan [26].

4.1.1.5 Frenagem Regenerativa

A frenagem regenerativa utiliza a característica do motor elétrico de operar como gerador. Desta forma, a energia cinética que seria perdida durante a frenagem é convertida em energia elétrica, que então, é armazenada nas baterias.

Quando o condutor aciona o freio, o sistema de controle faz com que o motor elétrico atue como um gerador. A corrente CA que é produzida pelo gerador é convertida em CC pelo inversor para seu armazenamento nas baterias.

Quando o motor elétrico tem sua direção alterada, devido a frenagem, ele passa a atuar como um gerador. A velocidade do motor é utilizada como energia mecânica para colocar o motor no modo reverso. Devido ao momento de inércia o

veículo continua a mover-se para frente, desta forma, os veículos elétricos também possuem um sistema de freio mecânico para frenagens rápidas e abruptas.

A frenagem regenerativa, além de contribuir para a redução do consumo de combustível e para aumento da autonomia do veículo, contribui para diminuição do desgaste de lonas e discos de freios ao utilizar campo eletromagnético na frenagem.

A Figura 6 ilustra o esquema da frenagem regenerativa.

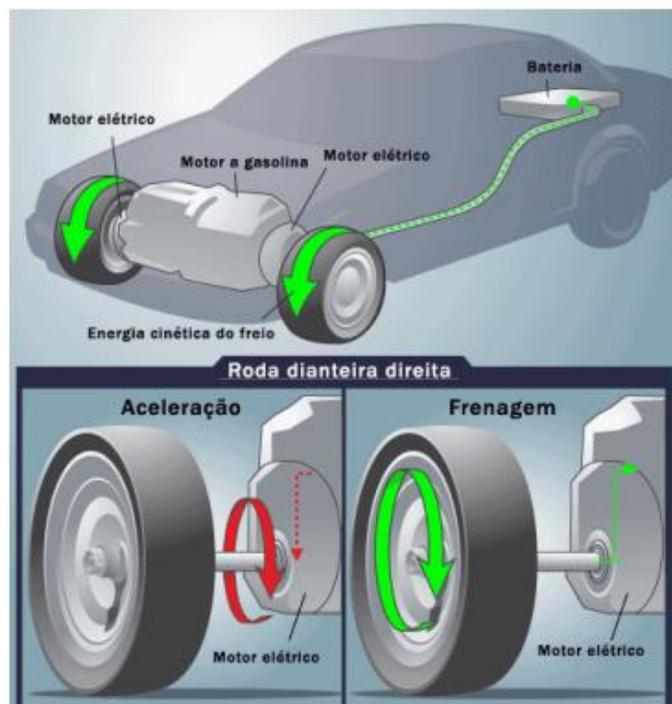


Figura 6: Esquema de frenagem regenerativa.
Fonte: Okan [27].

4.1.2 Modelo de Carro Elétrico: Nissan Leaf

O Nissan Leaf é um carro puramente elétrico, fabricado pela empresa japonesa Nissan. Utiliza um motor AC síncrono com potência de 80 kW que é capaz de produzir um torque máximo de 254 N.m. O Nissan Leaf consegue atingir velocidade similar a de um veículo convencional, com menos ruído, maior economia e sem emissão de poluentes . As especificações técnicas podem ser vistas no Anexo I.

Este veículo utiliza uma bateria de Lítio-Íon que é compacta, potente, segura e durável, sendo capaz de reter a carga máxima possível, mesmo após vários carregamentos.

A bateria instalada na parte inferior do carro, propicia um maior espaço no porta-malas. Além disso garante uma maior autonomia e velocidade. O Nissan Leaf percorre até 199 Km por cada carga. Esta autonomia está intimamente ligada ao estilo de condução e as condições em que se conduz [26].

Uma condução mais lenta ou uma velocidade constante garante aumento na autonomia do veículo, que conta também com o sistema de frenagem regenerativa, aproveitando a energia que seria perdida na frenagem e recarregando a bateria.

A recarga desta bateria pode ser feita de maneira simples, como por exemplo, através da conexão do sistema de carga do veículo elétrico em uma tomada. Todavia, o método mais seguro é utilizar uma unidade de carregamento doméstica, instalada por um Operador de Mobilidade Elétrica, aprovado pela Nissan. Esta unidade de carregamento, assegura uma recarga mais rápida em quatro horas, devido ao fornecimento constante de uma corrente de 32 A.

O Nissan Leaf ainda não é comercializado no Brasil, mas já é comercializado desde 2010 nos Estados Unidos, Japão e alguns países da Europa. Nos EUA, é comercializado por US\$ 32.700.

O consumo médio deste veículo quando ligado a uma tomada doméstica de 220 Volts é de 3,3 kW/h, com tempo médio de recarga de 8 horas.

4.1.3 Carro Elétrico no Brasil e no Mundo

Diversos países já apresentam uma política para que o carro elétrico seja fabricado e comercializado em larga escala como apresentado em [23]. A China, espera produzir mais de 500 mil veículos elétricos ou híbridos até este ano, criando cerca de 75 postos de abastecimento, com mais de 6000 pontos de recarga.

O Japão já apresenta uma política de investimento para popularização dos carros elétricos e híbridos, desde 2008. Prevendo a criação de diversos pontos de recarga.

Na França já existe uma lei que obriga que toda nova construção tenha um ponto de recarga. O país pretende ter até 2015, 1 milhão de pontos de recarga.

O Brasil ainda não possui uma política de eletrificação da frota de veículos, nem um projeto para criar uma infraestrutura para que isto ocorra. Um projeto de lei (PL 156/2015) busca incentivar a fabricação de carros elétricos, isentando de impostos como o Imposto Sobre o Produto Industrializado (IPI) e Imposto de Importação (II), a comercialização de máquinas, equipamentos e outros componentes necessários para a fabricação do veículo elétrico [28].

No Brasil existe apenas alguns projetos isolados que utilizam carros elétricos. Um desses projetos são os táxis movidos a eletricidade que desde 2013 circulam na cidade do Rio de Janeiro. Onde já evitaram que 135 toneladas de CO₂ fossem emitidas [29]. Um outro projeto é o Curitiba Ecoelétrico, que conta com 12 veículos elétricos para serviço público, além de 10 eletropostos. Durante um ano os veículos elétricos deste projeto percorreram 47 mil quilômetros e pouparam 4.722 litros de gasolina. Além de evitar a emissão de 6 toneladas de CO₂ [30].

4.2 O Carro Híbrido

Os carros híbridos combinam as vantagens do motor elétrico e o motor de combustão. Esta combinação supre as deficiências de um carro elétrico e diminui significativamente o consumo de combustível e as emissões de um automóvel convencional por combustão interna.

Existem três tipos de sistemas para os automóveis híbridos comercializados atualmente: o sistema híbrido série, híbrido paralelo e o sistema misto [31]. O funcionamento de cada um destes será descrito a seguir.

O sistema híbrido série pode ser visto na Figura 7. O motor de combustão interna (MCI) impulsiona o gerador que aciona o motor elétrico, que é o único responsável por transmitir potência as rodas. Não há ligação mecânica entre o MCI e as rodas, isto faz com que esta configuração seja mais indicada para operar em baixas velocidades ou quando são realizadas paradas sucessivas. As baterias são recarregadas pelo gerador elétrico ou através da frenagem regenerativa, eliminando a necessidade de recarga.

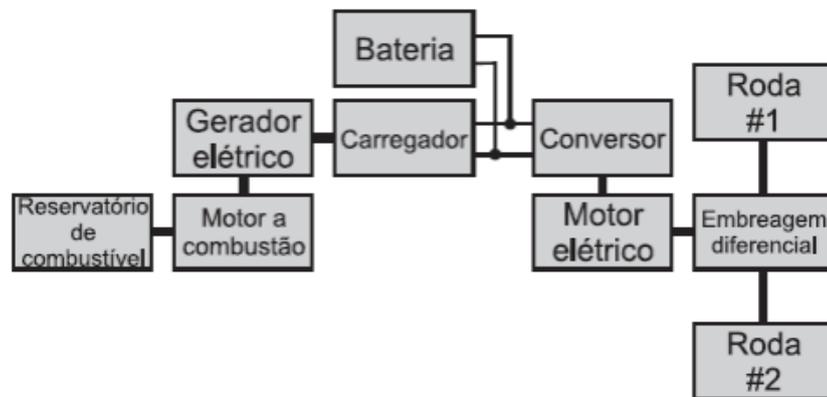


Figura 7: Sistema Híbrido Série.
Fonte: Fernandes[25].

Os sistemas de controle gerenciam o fluxo de potência para o motor elétrico. Desta maneira, o motor elétrico pode ser alimentado somente por uma das fontes de energia, bateria ou gerador elétrico (através do conversor), ou pelas duas fontes, em caso de uma alta aceleração. No caso da frenagem, as baterias serão alimentadas tanto pelo gerador elétrico, quanto pelo motor elétrico de tração, que neste momento irá operar como gerador.

No sistema híbrido paralelo, tanto o MCI movido a combustível quanto o motor elétrico podem acionar ao mesmo tempo o sistema de transmissão, aproveitando dessa maneira as vantagens oferecidas por cada um deles. A Figura 8 ilustra a configuração de um sistema híbrido paralelo.

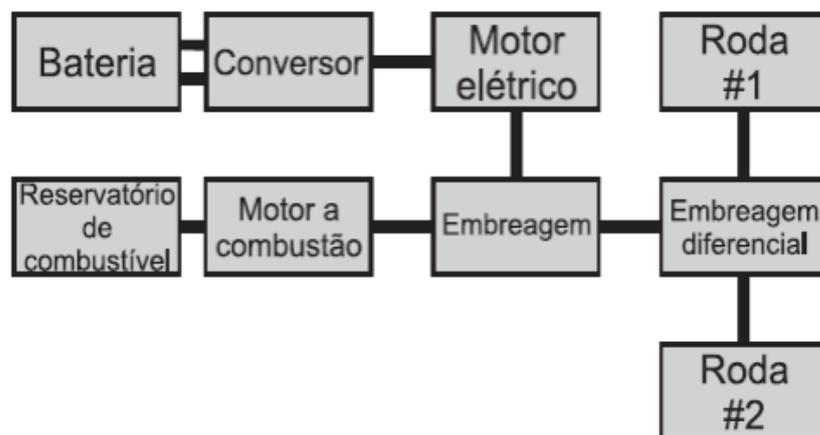


Figura 8: Sistema Híbrido Paralelo.
Fonte: Fernandes [25].

Na configuração híbrido paralelo, a embreagem pode ser utilizada para operar os motores, de forma que ambos ou somente um deles possa acionar o sistema de transmissão. A bateria é carregada pela atuação do motor elétrico como gerador na frenagem. Neste momento, o motor elétrico não pode ser utilizado para acionar as rodas.

Em um sistema misto, dois motores elétricos são utilizados, sendo um ligado em série com o MCI e outro em paralelo. O funcionamento é o combinado das configurações série e paralelo. O banco de baterias pode ser alimentado tanto pelo motor elétrico, operando como gerador, como pelo motor à combustão, através do gerador elétrico.

O sistema de tração também pode ser acionado pelo motor elétrico e pelo motor de combustão. Em velocidades mais baixas, o motor elétrico é o mais indicado e o MCI pode ser desligado. O motor de combustão interna é acionado, podendo operar em conjunto com o motor elétrico, em situações que exijam mais potência ou quando a bateria está descarregada.

A Figura 9 mostra o esquema do sistema híbrido misto.

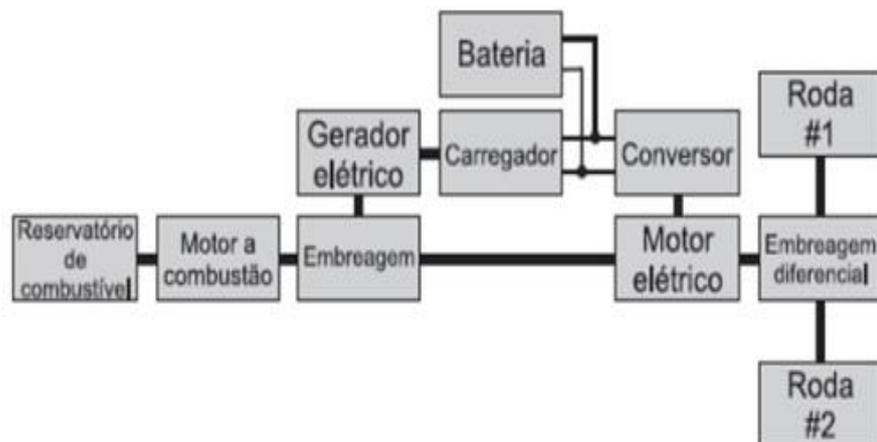


Figura 9: Sistema Híbrido Misto.
Fonte: Fernandes [25].

Os modelos híbridos também possuem o sistema de frenagem regenerativa e sistemas de controle descritos acima, para o veículo elétrico. O motor de combustão interna, o sistema de transmissão e propulsão elétrica também possuem módulos eletrônicos de controle.

O Toyota Prius, descrito no tópico a seguir, é um exemplo de carro híbrido comercializado mundialmente.

4.2.1 Modelo de Carro Híbrido: Toyota Prius

O Prius é o carro híbrido mais vendido mundialmente e está atualmente em sua terceira geração. Utilizando uma tecnologia desenvolvida pela Toyota denominada Hybrid Synergy Drive. Trata – se de um sistema híbrido completo, composto por dois motores, um motor elétrico alimentado por baterias e um motor de combustão interna, que operam em harmonia.

Com um sistema inteligente, o carro pode ser movido pelo motor elétrico ou pelo motor à combustão, separadamente. O Prius também pode combinar os dois motores para obter maior eficiência, alta performance e economia de combustível. Além de reduzir a emissão de gases poluentes.

As baterias são recarregadas quando o motor à combustão está em funcionamento e também através da frenagem regenerativa. Desta maneira, não é necessário conectar o Prius a rede elétrica para recarga, uma vantagem sobre os carros puramente elétricos. A vida útil da bateria é em média de 10 anos.

Segundo a própria Toyota [32], mais de 7 milhões de veículos deste modelo foram comercializados em todo o mundo. Seu custo no Brasil gira em torno de R\$ 114.000. As especificações técnicas deste veículo podem ser observadas no Anexo II.

4.3 Carro Convencional por Combustão Interna

Os veículos convencionais são movidos por um motor de combustão interna, ligado às rodas por um sistema de transmissão. O MCI converte a energia química dos combustíveis líquidos como a gasolina, em energia mecânica.

Estes veículos não são muito eficientes energeticamente, uma vez que aproximadamente apenas 15% da energia química contida nos combustíveis são

utilizadas para movimentar o carro. O restante da energia é perdida por uma série de fatores, como mostra a Figura 10.

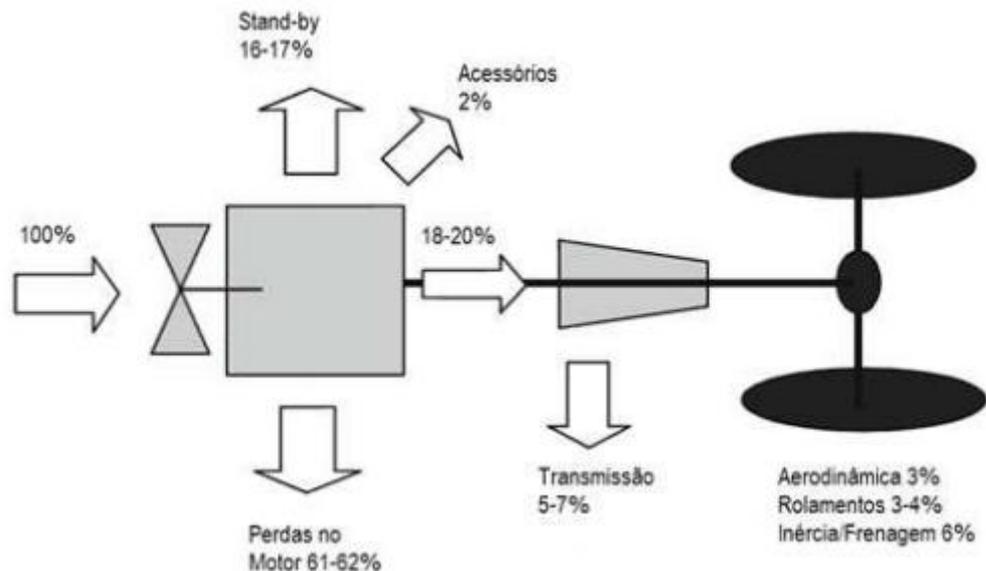


Figura 10: Funcionamento MCI.
Fonte: Baran [31].

Mesmo parado, os veículos convencionais consomem energia, uma vez que o motor continua em funcionamento, assim como outros acessórios que consomem energia do motor, como o ar condicionado.

Outro ponto a ser discutido sobre os veículos por motor de combustão interna são as emissões de gases poluentes, causadores do efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO_2), por exemplo. Segundo a CETESB [33], a estimativa de emissão de CO_2 no ano de 2013 devido a utilização destes veículos, foi de 422.480 toneladas, somente no Estado de São Paulo.

4.4 Comparativo entre Carros Elétricos, Híbridos e Convencionais por Combustão Interna

Os três tipos de carros especificados apresentam inúmeras vantagens e desvantagens em relação a sua utilização. Os carros elétricos e híbridos são vistos como importantes alternativas no que diz respeito a economia de combustíveis e

redução de emissões de gases poluentes. Entretanto, ainda são tecnologias que apresentam algumas deficiências e seus preços ainda são elevados, o que dificulta a substituição de veículos por combustão interna por estes modelos.

O preço de um veículo totalmente elétrico aproxima-se duas vezes o preço de um veículo convencional de combustão interna. O principal agravante desse elevado custo se deve sobretudo ao custo das baterias que alimentam o motor elétrico. Como o modelo híbrido também utiliza o motor elétrico e baterias para alimentá-lo, seu preço também supera o de um modelo convencional por combustão interna. Outro fator é a baixa demanda por esses veículos, o que impede a produção em larga escala, o que resultaria em um menor preço de fabricação.

Uma política de incentivos por parte do governo federal pode favorecer a competição entre veículos elétricos/híbridos e os convencionais movidos por combustão interna. Na Noruega, um usuário de carro elétrico é isento do imposto sobre a compra, possui livre acesso em rodovias pedagiadas, estacionamentos públicos e corredores de ônibus e, ainda conta com uma rede de postos de recarga rápida de bateria espalhados pelo país [6]. Desta forma, a economia a médio prazo faz com que o consumidor opte por um modelo elétrico.

Em relação as autonomias, os veículos híbridos têm a vantagem de combinar em um mesmo sistema as vantagens de um motor elétrico e um motor de combustão interna. Isto permite que sua autonomia seja maior que de um veículo puramente elétrico, além de promover uma economia de combustível e redução de emissões de poluentes quando comparados aos veículos por combustão interna. Alguns modelos de híbridos como o Toyota Prius, citado anteriormente, possuem um sistema autônomo de carregamento da bateria, dispensando sua conexão a rede elétrica para este fim, o que resolve um grande problema dos elétricos que é o tempo de recarga das baterias.

Os carros elétricos apresentam uma autonomia reduzida, uma vez que as baterias ainda não possuem tecnologia capaz de armazenar grandes quantidades de energia. O tempo de recarga elevado das baterias também é um problema deste modelo, se comparado com o tempo de abastecimento de carros convencionais, que dura cerca de 5 minutos. A recarga de uma bateria pode chegar a 20 horas de duração no nível 1, ou 30 minutos, no nível 3.

O Nissan Leaf, após a recarga completa, pode percorrer até 199 km. Um compacto com motor de combustão interna, ou híbrido, de características

semelhantes pode percorrer até três vezes essa distância, o que faz com que este modelo ainda seja mais indicado para o ciclo urbano.

Os veículos elétricos no entanto, apresentam outras vantagens como por exemplo, a não emissão de gases poluentes e ruídos, além da elevada eficiência do motor em qualquer velocidade.

O custo operacional em relação ao consumo e manutenção do carro elétrico também é uma vantagem em relação aos demais. Como o motor elétrico possui menos peças móveis, manutenções como troca de peças são menos frequentes. Além disso, não é necessário realizar troca de óleo frequentemente. O custo para que o veículo elétrico percorra a mesma distância que um veículo por combustão interna também é menor, isto será discutido na seção 5.2.

Outra vantagem deste veículo está relacionada a sua condução. Este modelo dispensa o pedal de embreagem e caixa de condução. O torque do motor elétrico é constante em qualquer rotação, o que faz com que seja dispensado o uso da caixa de condução, mesmo em uma situação de maior aceleração.

Apesar do veículo elétrico não emitir gases de efeito estufa, a fonte de energia utilizada para gerar a eletricidade necessária para carregar as baterias deve ser considerada. Uma vez que algumas formas de geração de energia elétrica liberam grandes quantidades de CO₂ na atmosfera, como as usinas movidas a carvão.

Os impactos causados pelos veículos elétricos e híbridos na redução das emissões de dióxido de carbono, no consumo de combustíveis e o impacto da recarga dos veículos elétricos no sistema elétrico brasileiro será discutido a seguir.

5 IMPACTOS DOS CARROS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

5.1 Impacto dos Carros Elétricos no Sistema Elétrico Brasileiro

A substituição do veículo por combustão interna pelos veículos elétricos promove inúmeros benefícios e impactos em alguns segmentos como no setor de eletricidade, por exemplo. Como o veículo elétrico requer que seu sistema de carga seja conectado a rede elétrica, um acréscimo significativo na demanda de energia deve ocorrer com sua popularização. O impacto do veículo híbrido no sistema elétrico não é considerado neste tópico, uma vez que seus modelos mais comercializados não necessitam de recarga das baterias por meio de sua conexão a rede elétrica.

Como a potência para recarregar um veículo é elevada, principalmente no carregamento rápido, a inclusão de vários sistemas de carga na rede elétrica pode sobrecarregar transformadores do sistema de distribuição, ocasionando problemas como por exemplo, interrupções no fornecimento de energia. Desta maneira, um estudo do impacto da inclusão destes sistemas na rede deve ser realizado.

Em [34] foi realizada uma simulação da substituição gradual de parte da frota brasileira de veículos por carros puramente elétricos. A simulação foi realizada utilizando o MATPOWER- um pacote de código aberto de arquivos do software MATLAB.

A rede teste utilizada foi a rede de 30 barras do IEEE, com 34 linhas de transmissão, 7 transformadores, 6 nós de geração, 21 nós com carga e capacidade elétrica de 300 MW.

A capacidade do SIN é de 115 GW e seu consumo médio é de 46.439 GW. Desta maneira, foi obtido a proporcionalidade entre a capacidade do SIN e da rede de teste. O consumo médio e do carro elétrico para a rede de teste foi de 121.415 MW, e 7.13 Wh/dia, respectivamente.

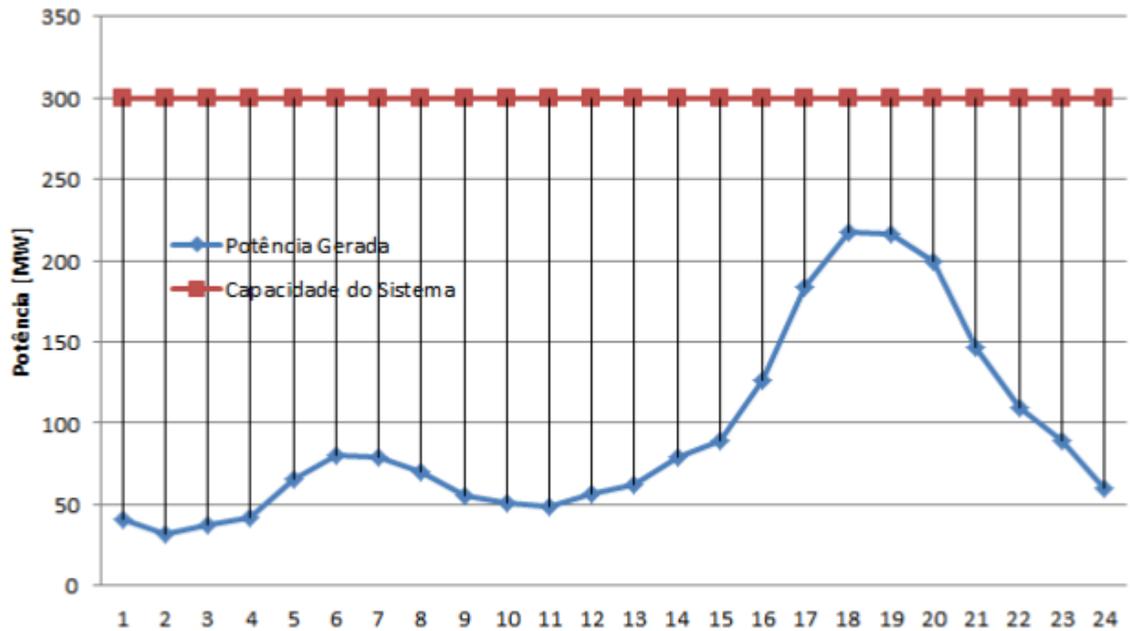


Figura 11: Curva típica da potência gerada pela rede elétrica de 30 barras do IEEE.
Fonte:Rodrigues [34].

A Figura 11 ilustra a potência gerada pelo sistema de 30 barras e sua capacidade de geração. Observa-se que no período de ponta a potência gerada é maior e, há uma margem inferior a 100 MW, para que esta alcance a capacidade do sistema. Se houver um aumento da carga neste horário, fazendo com que a potência gerada ultrapasse a capacidade de geração, o sistema elétrico pode entrar em colapso, provocando apagões e falhas no sistema.

. As Figuras 12 e 13, ilustram o cenário da substituição de 10% e 30%, respectivamente, de veículos movidos por combustão interna por elétricos na frota brasileira, bem como o impacto no consumo de energia elétrica. A frota brasileira foi estimada contendo 71 milhões de veículos.

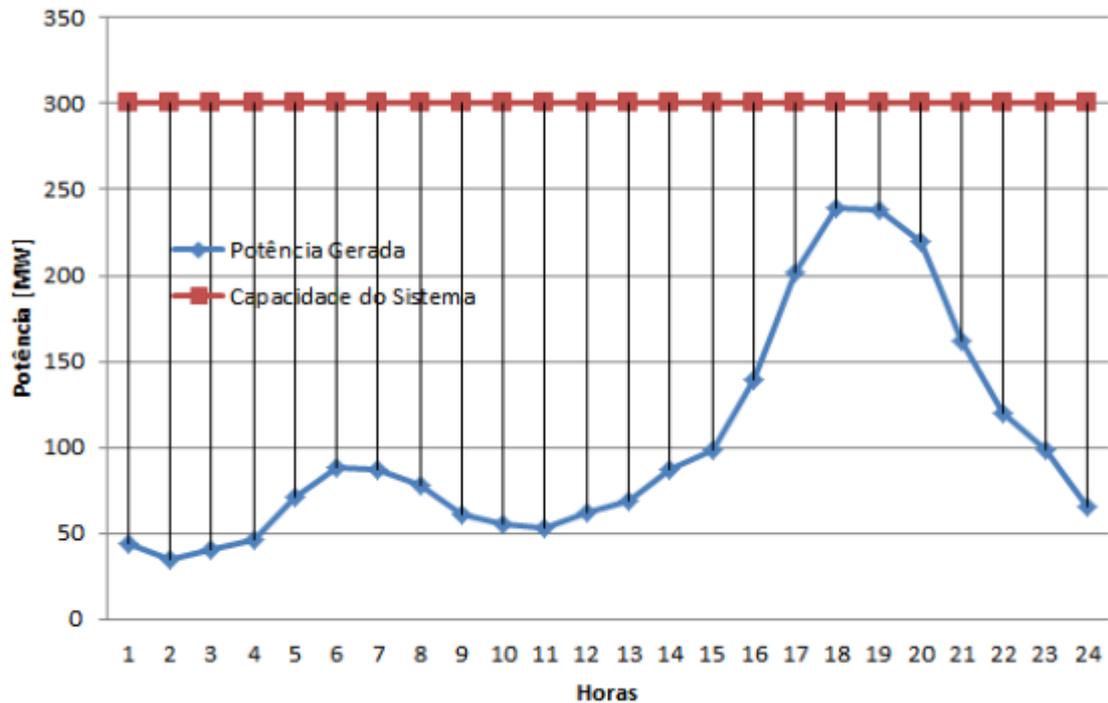


Figura 12: Substituição de 10% dos veículos a combustão por elétricos.
Fonte: Rodrigues [34].

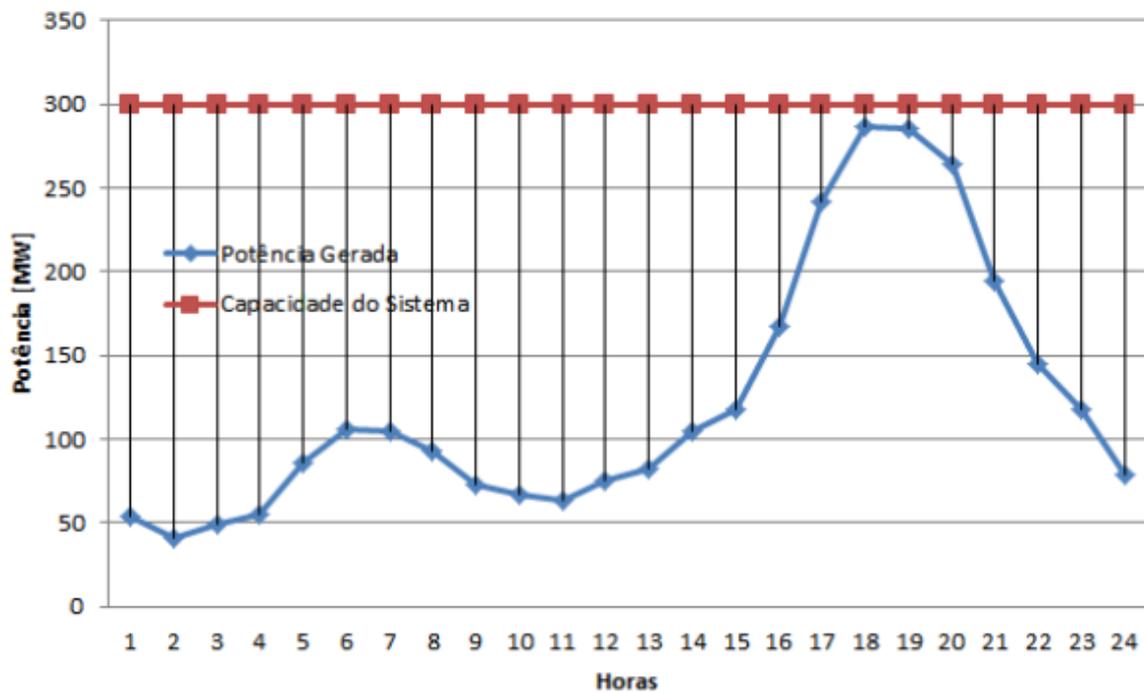


Figura 13: Substituição de 30% dos veículos a combustão por elétricos.
Fonte: Rodrigues [34].

Nas Figuras 12 e 13, observa-se um acréscimo de demanda de energia, com maior acentuação no período entre 17:00h até 21:00h. Neste período, o sistema apresenta uma pequena margem entre a potência gerada e a capacidade do

sistema. Nestes casos, uma sobrecarga poderá ocasionar um colapso na rede elétrica, pois a potência gerada poderá superar a capacidade do sistema. Desta forma, deve-se considerar projetos de expansão da rede ou um estudo afim de minimizar a curva de carga no horário de ponta.

Uma solução para este problema é apresentado no mesmo trabalho [34], que prevê a implementação do conceito de *smart grids* e da tarifa branca. O conceito de *smart grids*, ou redes inteligentes, consiste na instalação de medidores inteligentes que permitem a comunicação entre a concessionária e o consumidor, de forma que as duas partes tenham mais autonomia para administrar sua oferta ou consumo de energia elétrica.

Este conceito proporciona o uso racional da energia elétrica, o qual permite a programação de acionamentos e desligamentos de aparelhos eletrodomésticos. Desta maneira, o usuário de um veículo elétrico poderá programar a hora em que seu carro será carregado, o que permitiria que a recarga das baterias ocorra em horários de menor demanda de carga. Isso poderá amenizar o impacto no sistema elétrico.

A tarifa branca que foi descrita no capítulo 3, seria um grande aliado ao conceito de *smart grids*, pois seria uma forma de incentivar os consumidores a realizar a recarga fora do horário de ponta, diminuindo o custo com eletricidade e o impacto no sistema elétrico.

As Figuras 14 e 15, representam o resultado da simulação realizada em [34] considerando os conceitos de *smart grids* e tarifa branca, na mesma proporção de substituição de veículos convencionais, 10% e 30%, respectivamente.

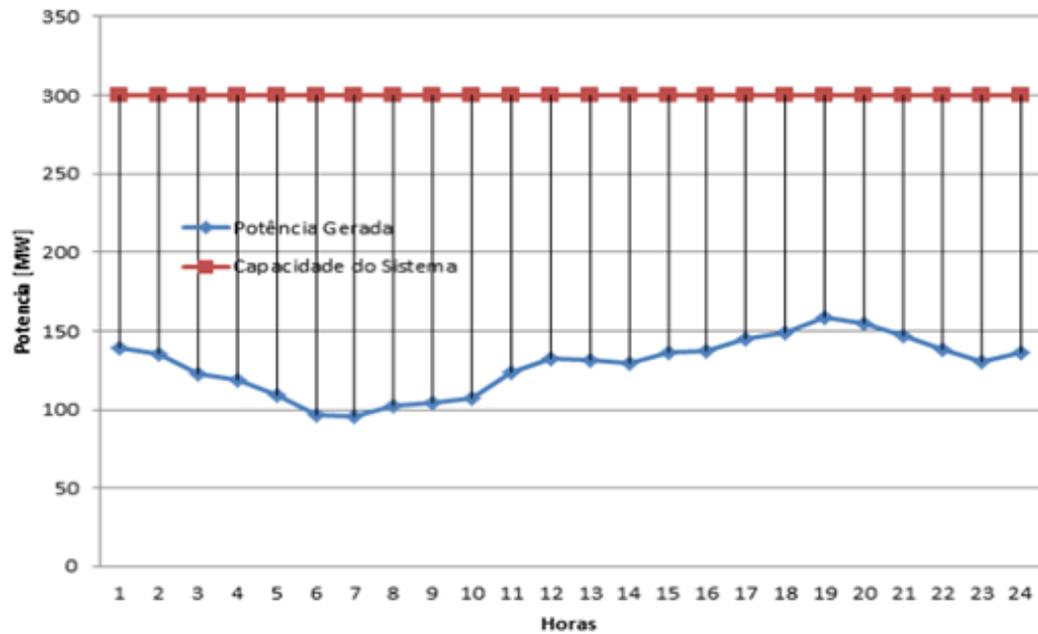


Figura 14: Substituição de 10% dos veículos a combustão interna por elétricos, considerando os conceitos de *smart grids* e tarifa branca.

Fonte: Rodrigues [34].

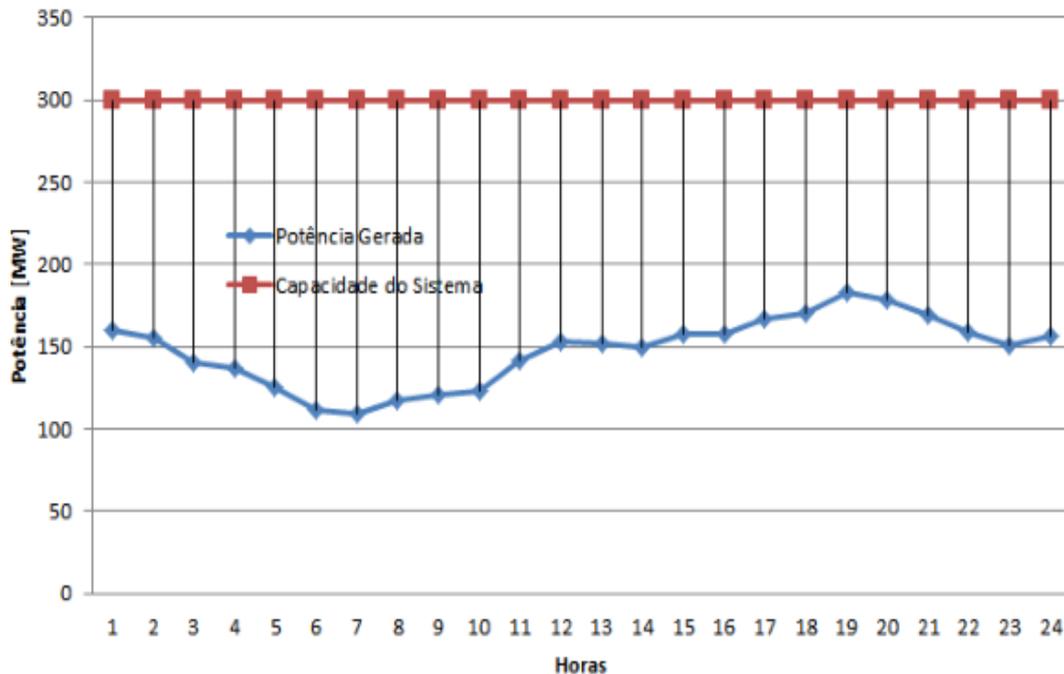


Figura 15: Substituição de 30% dos veículos a combustão interna por elétricos, considerando os conceitos de *smart grids* e tarifa branca.

Fonte: Rodrigues [34].

Observa-se que ao utilizar estes conceitos a curva de carga não possui nem um ponto acentuado que se aproxime da capacidade do sistema, como visto nas Figuras 14 e 15. Assim, o sistema suportará a inserção dos carros elétricos sem

maiores problemas. Entretanto, a substituição de toda frota brasileira por veículos elétricos levaria o sistema a situação de insegurança, pois uma sobrecarga na rede faria com que a potência gerada superasse a capacidade do sistema, como mostra a Figura 16.

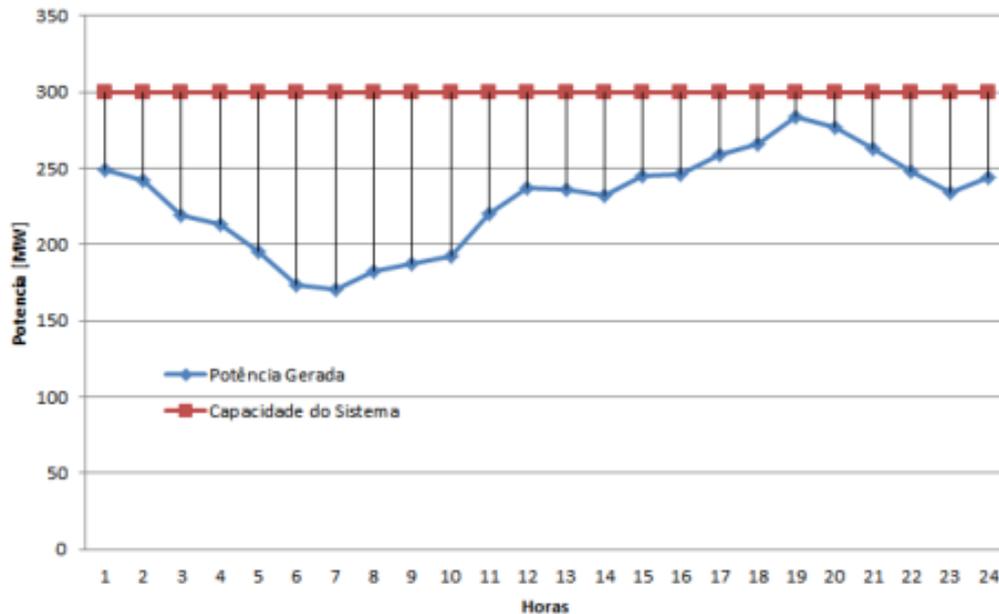


Figura 16: Substituição de 100% dos veículos por combustão interna por elétricos, considerando os conceitos de *smart grids* e tarifa branca.
Fonte: Rodrigues[34].

A geração distribuída é uma prática que também poderia ser utilizada para amenizar o impacto dos veículos movidos à eletricidade no sistema elétrico. Este conceito envolve a geração elétrica junto ou próximo ao consumidor. A geração pode ocorrer a partir de diferentes fontes de energia, como painéis fotovoltaicos, geradores eólicos, dentre outros.

O usuário de veículo elétrico, desta forma, poderia gerar a energia necessária para abastecer sua residência, além de injetar no sistema o excedente da energia não consumida.

A tecnologia Vehicle-to-Grid (V2G) seria uma outra forma de suprir o aumento da demanda energética ocasionado pelos carros elétricos. Esta tecnologia permite que um automóvel elétrico seja carregado e descarregado diretamente na rede de distribuição de eletricidade [31].

No V2G o veículo elétrico atuaria como um *buffer* da rede, armazenando energia durante o horário de baixo consumo (período fora de ponta) e devolvendo a

rede no período de ponta. Desta forma, a oferta de energia seria aumentada sem a necessidade de adicionar usinas geradoras [31].

Esta tecnologia possibilita aos proprietários dos veículos elétricos uma fonte de receita com a venda da energia armazenada na bateria do seu carro, fazendo com que o elevado custo de aquisição do veículo elétrico seja amortizado com esta receita. Desta forma, tornaria os veículos elétricos competitivos com os veículos convencionais.

Para a implementação, tanto da geração distribuída, quanto do V2G, é necessário o uso do conceito de *smart grids*. No Brasil, este conceito ainda não foi difundido, mas já existem algumas ações por parte dos agentes reguladores do sistema elétrico para que este seja adotado. A ANEEL instituiu que até fevereiro de 2014 as concessionárias de energia disponibilizem a instalação de medidores inteligentes, mediante solicitação do consumidor [31].

Outras medidas podem ser tomadas para diminuir o impacto da inserção dos veículos elétricos na frota brasileira sobre o sistema elétrico. Uma destas medidas, se basearia numa nova forma de comercialização destes veículos, como criou a empresa Better Place. Para tal, deve ser instalado uma rede de postos de recarga ou troca rápida de baterias. Neste modelo a venda do veículo elétrico seria acompanhada pela contratação de um plano de serviços, o qual permitiria ao usuário utilizar os serviços da rede, mediante um pagamento mensal de acordo com o número de trocas e recargas realizadas por mês [35].

O modelo acima reduziria a recarga durante o horário de ponta, uma vez que esta seria realizada nestes postos e em horários de menor demanda da rede. A troca de baterias também evitaria conexão do sistema de carga do veículo elétrico na rede por parte do usuário, além de reduzir o tempo gasto no carregamento.

Outra forma de reduzir os impactos seria a criação de uma rede de postos de recarga para veículos elétricos. Estes postos seriam equipados com tomadas de energia para recarga rápida, diminuindo o tempo gasto com o carregamento das baterias.

Esta forma de carregamento consome elevada potência, assim, a recarga deveria acontecer de maneira distribuída ao longo do dia. Uma forma de incentivar esta prática, seria a adoção de diferentes taxas de recarga durante o dia, baseado no conceito da tarifa branca. Desta forma, as taxas de recarga seriam elevadas

durante o período de ponta, apresentando vantagem para a recarga fora deste período.

Uma medida mais prática a ser tomada seria a realização de uma política de conscientização da população para conhecimento da tarifa branca, incentivando a utilização desta e o consumo racional de energia elétrica. Isso permitiria que a recarga das baterias fosse distribuída ao longo do dia, de forma que a curva de carga não tenha acentuações nos horários de ponta, como visto nas Figuras 13 e 14.

5.2 Impacto dos Carros Elétricos e Híbridos no Consumo de Combustível

Com o crescimento acelerado da frota mundial de veículos, bem como a demanda por energia e por combustíveis derivados do petróleo também aumentou. Este fato influencia diretamente no preço do barril de petróleo, o que faz com que este sofra um acréscimo considerável. Como o Brasil não é autossuficiente na produção deste, o custo elevado de importação causa grande impacto na economia brasileira. Além disso, uma preocupação com o esgotamento das reservas naturais de petróleo no mundo, fizeram com que a procura por novas fontes de energia fosse intensificada.

Neste cenário, a inserção dos carros elétricos e híbridos torna-se uma alternativa importante para a redução do consumo de combustíveis fósseis. Esta seção efetuará uma comparação do consumo de combustível de um veículo elétrico, híbrido e convencional por combustão interna.

Serão utilizados como veículos de referência os compactos Nissan Leaf e Toyota Prius, apresentados na seção 4.1.2 e 4.2.1, respectivamente. Além do Punto 1.6 16v, fabricado pela Fiat. A partir do desempenhos destes carros em ciclo urbano, foi realizado um cálculo do consumo de combustível, para percorrer uma distância diária média de 25 km, durante 20 dias

O Leaf possui autonomia de 199 km com uma bateria de capacidade de 24 kWh, o que representa um consumo de 8,3 km/kWh, o que é equivalente energeticamente a 74,2 km/l. O Prius tem um desempenho médio, em ciclo urbano, de 25,5 km/l e o Punto, movido à gasolina, apresenta um desempenho médio de

10,0 km/l [36], nas mesmas condições. Dessa forma, o consumo de cada carro para percorrer 25 km seria de 0.33 , 0.98 e 2.5 litros de gasolina, para o Leaf, Prius e Punto, respectivamente. Considerando que o veículo é conduzido no ciclo de condução urbano, durante um período de 20 dias.

Tabela 3: Consumo de gasolina por modelo de carro.

Modelo	Consumo Diário (litros)	Consumo em 20 dias (litros)
Nissan Leaf	0.33	6.6
Toyota Prius	0.98	19.6
Fiat Punto	2.5	50

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Os resultados mostrados na Tabela 3, indicam uma economia de combustível no período de 20 dias de 86,8% do Leaf em relação ao Punto, e uma economia de 60,8% na comparação do Prius com o Punto. A economia de combustível do modelo elétrico é de 65% em relação ao modelo híbrido.

Foi realizada a comparação dos custos de utilização dos três veículos utilizados anteriormente. A distância total percorrida por cada carro no período de 20 dias foi de 500 km. Desta maneira, o Leaf teria que ser recarregado três vezes. A bateria tem capacidade de 24 kWh, desta forma, 72 kWh seriam consumidos. O preço do kWh estabelecido pela CEMIG em abril de 2015, é de R\$ 0,56474, para a categoria B1 [37]. O preço médio da gasolina é R\$ 3,149 na cidade de Belo Horizonte-Minas Gerais, em maio de 2015 [38]. Os cálculos dos custos de utilização dos veículos são:

Para o Nissan Leaf:

$$0,56474 \frac{R\$}{kWh} \times 24 kWh \times 3 = R\$ 40,66$$

Para o Toyota Prius:

$$3,149 \frac{R\$}{l} \times 19,6 l = R\$ 61,72$$

Para o Fiat Punto:

$$3,149 \frac{R\$}{l} \times 50 l = R\$ 157,45$$

A Tabela 4 apresenta o valor gasto por cada veículo, utilizado em ciclo urbano, percorrendo 25 km, durante 20 dias.

Tabela 4: Custo de utilização por veículo.

Modelo	Combustível	Custo em 20 dias (R\$)
Leaf	Eletricidade	40,66
Prius	Gasolina/Eletricidade	61,72
Punto	Gasolina	157,45

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

Os resultados obtidos na Tabela 4, indicam a economia que a utilização dos veículos elétricos e híbridos pode gerar para seu usuário. Esta economia pode tornar estes veículos competitivos em relação ao veículo convencional, apesar de seu elevado preço de compra.

5.3 Impacto dos Veículos Elétricos e Híbridos na Emissão de CO₂

Outro fator importante na adoção dos veículos elétricos e híbridos é o impacto positivo que podem apresentar na emissão de CO₂. Como os carros elétricos não emitem gases poluentes, seus índices de emissão ficam a cargo da fonte de energia utilizada na geração de eletricidade, sendo que algumas formas de geração provocam grande emissão de CO₂. Todavia, como no Brasil predomina a geração por hidroelétricas, as emissões de CO₂ são insignificantes. Os híbridos por sua vez, emitem CO₂ quando seu motor de combustão interna é acionado.

A emissão de gases poluentes provenientes da queima de combustíveis fósseis, além de causar danos ao meio ambiente, provocam também prejuízos gigantescos aos cofres públicos devido às doenças causadas pelas más condições

do ambiente. Em São Paulo a má qualidade do ar custa cerca de R\$ 2,3 bilhões, principalmente com as mortes ou tratamento de doenças causadas direta ou indiretamente pela poluição, ocasionando dias de trabalho perdido, redução de ganhos, dentre outros prejuízos [35].

Em [34] foi realizado também a estimativa da redução de CO₂ por meio da substituição do veículo convencional pelo modelo elétrico. Os resultados obtidos reforçaram a idéia de utilização do veículo elétrico como aliado no combate ao efeito estufa. Para a substituição de 10% do veículos convencional por combustão interna pelo veículo elétrico, considerando a proporção de veículos elétricos em 10 anos e com o crescimento da frota de 0,5%, a quantidade de CO₂ que seria evitada seria 383.400.000 toneladas. Com as mesmas condições, uma substituição de 20, 30 e 100%, evitaria a emissão 761.400.000, 1.142.100.000 e 3.807.000.000 de toneladas de CO₂, respectivamente.

Em [1] foi feita a comparação entre um modelo híbrido com parâmetros obtidos em laboratório e um carro convencional por motor de combustão interna, o Skoda Fabia 1.6.

Tabela 5: Resultados da simulação realizada em [1].

Resultados Simulados	Primeiro Caso	Segundo Caso
Tipo de Veículo	Híbrido	Skoda Fabia 1.6
Massa do Veículo (Kg)	1450	1120
Ciclo de Condução	NEDC	NEDC
Consumo Específico no NEDC (l/100 km)	5.1	5.9
Emissão Total de CO ₂ (g)	1333	1540
Emissão Específica (g/km)	122.9	142

Fonte: ČEROVSKÝ[1].

A Tabela 5 contém os resultados da simulação de emissão de CO₂ para o modelo híbrido e o modelo convencional. O veículo híbrido apresentou um índice de emissão 13,5% menor do que o veículo convencional.

Os resultados das simulações em [1] e [34], evidenciaram a importante alternativa que os carros elétricos fornecem para a redução de CO₂, como forma de amenizar o impacto do setor de transporte na emissão deste gás.

As toneladas de CO₂ evitadas com a inserção dos carros elétricos e híbridos na frota nacional podem ser convertidas em créditos de carbono, que são certificados eletrônicos emitidos quando há redução de gases causadores do efeito estufa. Os detentores destes créditos podem comercializá-los no mercado financeiro em forma de *commodities* (mercadoria com preço estabelecido pelo mercado internacional) [39].

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

Como exemplo dessa receita que pode ser gerada pelos créditos de carbono cita-se o caso do Aterro dos Bandeirantes, na região metropolitana de São Paulo. Em 2004 foi iniciado a captação do biogás e sua transformação em energia elétrica, através de uma usina termelétrica a biogás. Com capacidade de gerar até 170 mil MWh de energia elétrica por ano, possibilitando a comercialização pela Prefeitura de São Paulo de até 1.262.793 créditos de carbono [39].

Em 2007 o banco holandês Fortis Bank NV/AS desembolsou R\$ 34 milhões por 808.450 créditos de carbono colocados em negociação pela Prefeitura de São Paulo. Esse fato evidencia os valores que este mercado pode movimentar.

6 CONCLUSÃO

O trabalho mostrou o impacto no sistema elétrico brasileiro, ocasionado pela futura inserção dos veículos elétricos na frota brasileira, bem como apresentou os veículos elétricos e híbridos que podem ser importantes alternativas para a redução do consumo de combustíveis fósseis e da emissão de gases de efeito estufa.

O sistema elétrico brasileiro com a capacidade atual, mostrou-se incapaz de suportar o grande acréscimo de carga gerado pela inserção dos automóveis elétricos na frota brasileira. Todavia, com a utilização dos conceitos de *smart grids* e tarifa branca, o sistema suportaria a demanda de energia adicional, apresentando preocupação apenas para a total substituição do veículo por combustão interna pelo elétrico.

Com a adoção destes conceitos, o carregamento dos veículos elétricos ocorreria de maneira coordenada, estimulando o consumidor a fazê-lo no período de menor tarifa, ou seja, fora do período de ponta. E desta forma amenizaria o impacto no sistema elétrico.

O conceito de *smart grids* pode possibilitar ainda duas alternativas para que o sistema suporte o acréscimo da demanda de energia, devido aos veículos movidos a eletricidade, a geração distribuída e a tecnologia *Vehicle-to-Grid*. Estas duas tecnologias gerariam ainda receita para o consumidor.

É necessário também criar uma infraestrutura adequada para que estes veículos possam ser inseridos na frota brasileira, tal como a criação de uma rede de postos de carregamento rápido espalhados por todo território nacional. Esta medida possibilitaria a realização de maiores deslocamentos, podendo o condutor programar sua viagem, de forma a realizar a recarga nestes postos quando necessário durante o percurso.

Os automóveis elétricos e híbridos mostraram ser uma grande alternativa na diminuição do consumo de combustíveis fósseis, além de apresentar uma considerável economia. Como visto, um veículo elétrico pode consumir 80% menos combustível do que um veículo convencional. O custo para percorrer uma mesma distância também é outra vantagem destes veículos. Sua economia pode ser de até 70% em relação ao veículo movido por gasolina.

A redução do consumo de combustíveis derivados do petróleo implicaria ainda na redução da emissão de gases causadores do efeito estufa. A gradativa substituição do veículo convencional por um modelo híbrido ou elétrico, acarretaria em uma considerável redução na emissão de CO₂. A diminuição destes gases na atmosfera proporcionaria uma melhor qualidade de vida para a população, pois a má qualidade do ar pode provocar diversos danos à sociedade. A utilização do carro elétrico ainda diminui a poluição sonora em grandes centros urbanos, uma vez que não emitem ruídos.

Apesar dos inúmeros benefícios que estes veículos apresentam, sua popularização necessitaria ainda de incentivos por parte do Governo Federal para que possam competir com os veículos convencionais. Seu custo elevado pode ser compensado com um pacote de benefícios oferecidas ao proprietário. Estes benefícios poderiam ser em forma de isenções fiscais ou até mesmo em vantagens na utilização na cidade, como é feito na Noruega. Desta maneira, estes veículos poderiam representar uma economia a médio prazo e se tornariam competitivos perante aos veículos convencionais por combustão interna.

A geração distribuída e a utilização do conceito de *smart grids* também devem ser incentivados, pois tratam de alternativas para que o sistema elétrico não seja sobrecarregado com o acréscimo da demanda de energia. Os equipamentos para instalação de um ponto de geração residencial ainda tem elevado custo, o que dificulta a popularização desta prática.

6.1 Trabalhos Futuros

As tecnologias e conceitos que envolvem os veículos elétricos e híbridos ainda vem sendo desenvolvidos. Desta forma, pode-se sugerir alguns trabalhos a serem realizados, como:

- comparação da emissão de CO₂ no processo de fabricação e manutenção dos veículos elétricos, híbridos e convencionais;
- comparação entre a eficiência de uma usina térmica, as perdas na transmissão e distribuição de energia elétrica e a eficiência de um veículo elétrico;

- prever como seria o projeto de instalação elétrica para os três tipos de recarga residenciais. Além do custo envolvido neste projeto.

ANEXO I – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS NISSAN LEAF

AC síncrono (80 kW)

MOTOR E TRANSMISSÃO

Tipo eléctrico		AC síncrono
Potência máxima do motor (1)	kW/rpm	80 / 3008-10000
Binário máximo (1)	Nm	254
Tipo de energia		Electricidade
Ignição		Electrónico
Relação de caixa		Redutor de caixa de 1 velocidade
Tracção		Dianteira

BATERIA E RECARGA

Tipo		Laminada de iões de lítio
Voltagem	V	360
Capacidade da bateria	kWh	24 kWh - 48 módulos
Número de células		192
Carregador a bordo	kW	3,6 (Visia e Visia+) / 3,6 e 6,6 (Acenta e Tekna)
Carregador rápido	kW	50

CHASSIS

Suspensão dianteira / traseira		Independente McPherson / Molas de laminas de torção
Direcção		Assistida e eléctrica
Sistema de travagem		Discos dianteiros regenerativos e ventilados / traseiros ventilados
Sistema de controlo de estabilidade		ESP (de série)
Jantes		16" 6.5J / 17" 6.5J
Pneus		205/55R16 / 215/50R17

PESOS E DIMENSÕES

Peso bruto	kg	1945
Carga máxima (2)	kg	395
Peso em vazio mín/máx (2)	kg	1474 / 1548
Comprimento/ Largura / Altura (máxima)	mm	4445 / 1770 / 1550
Distância entre eixos	mm	2700
Capac. bagageira sem bancos rebatidos	l	370 (Visia, Visia+ e Acenta) / 355 (Tekna)
Via dianteira / Via traseira	mm	1540 / 1535 (16") - 1530 / 1525 (17")

PERFORMANCE

Autonomia (NEDC) (3)	km	199
Velocidade máxima	km/h	144
Diâmetro viragem (entre lancias)	m	10,4 (16") - 10,8 (17")

(1) De acordo com o Regulamento CEPE/ONU n.º 85.

(2) Dados de acordo com a Directiva EC: o peso em circulação inclui líquidos de refrigeração, lubrificantes, roda sobressalente e ferramentas. Não inclui o peso do condutor. A carga útil pode reduzir-se de acordo com os equipamentos opcionais e acessórios instalados.

(3) De acordo com o Regulamento CEPE/ONU n.º 101. (O equipamento opcional, a manutenção, a técnica de condução, bem como as condições atmosféricas e do pavimento, podem afectar os resultados oficiais).



Nissan LEAF

Especificações Técnicas

Outubro 2014



Innovation
that excites

ANEXO II – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS TOYOTA PRIUS

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Motorização a combustão

Motor	1,8 litro VVT-i 16V DOHC ²
Combustível	Gasolina
Potência (cv/rpm)	99 / 5.200
Torque (kgf.m/rpm)	14,5 / 4.000
Cilindrada (cm ³)	1.798
Diâmetro x curso do pistão (mm)	80,5 x 88,3
Taxa de compressão	13,0:1
Alimentação	Injeção eletrônica (EFI) ³

Motorização elétrica

Potência (cv)	82
Torque (kgf.m)	21,1
Potência combinada (combustão + elétrico) (CV)	134 cv

Transmissão

Tipo/especificação	Continuamente variável (CVT) ⁴
--------------------	---

Suspensão

Dianteira	McPherson com barra estabilizadora
Traseira	Eixo de torção com barra estabilizadora

Direção

Direção	Eletoassistida progressiva (EPS) ⁵
---------	---

Freios

Dianteiros	Discos ventilados com ABS ⁶ e EBD ⁷
Traseiros	Discos sólidos com ABS ⁶ e EBD ⁷

Pneus e rodas

Pneus	195/65 R15
Rodas	Liga leve R15

Dimensões e capacidades

Capacidade do tanque (l)	45
Comprimento (mm)	4.480
Largura (mm)	1.745
Altura (mm)	1.510
Distância entre eixos (mm)	2.700
Capacidade do porta-malas (l)	445
Vão livre mínimo do solo (mm)	130
Peso em ordem de marcha (kg)	1.415

Estilo

Antena no teto
Acabamento interno na cor preta
Volante de quatro raios

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ČEŘOVSKÝ, Z.; MINDL, P. **Hybrid Electric Cars, Combustion Engine Driven Cars and their Impact on Environment**. In: SPEEDAM 2008 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. 2008. p. 739-743.
- [2] ZDENEK, C.; PAVEL, Mindl. **Electric, Hybrid Electric and Combustion Engine Driven Cars and their Impact on Environment**. In: Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011-14th European Conference on. IEEE, 2011. p. 1-5.
- [3] COSTA, Evaldo; SEIXAS, Julia. **Contribution of Electric Cars to the Mitigation of CO2 Emissions in the City of Sao Paulo**. In: Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2014 IEEE. IEEE, 2014. p. 1-5.
- [4] GUPTA, Vikas; DEB, Anindya. **Speed Control of Brushed DC Motor for Low Cost Electric Cars**. In: Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International. IEEE, 2012. p. 1-3.
- [5] ČEŘOVSKÝ, Z.; MINDL, Pavel. **Electric Power Divider of Hybrid Car Propulsion Systems**. In: Power Electronics and Applications, 2007 European Conference on. IEEE, 2007. p. 1-5.
- [6] HAUGNELAND, Petter; KVISLE, H. **Norwegian Electric Car User Experiences**. EVS27 Barcelona, Espanha, p. 17-20.11, 2013.
- [7] ZARKESH, Ali; THIRUCHELVAM, Vinesh; SEERALAN, Arun. **Alternative Energy Efficient System for Charging Electric Cars**. In: Intelligent Systems Modelling & Simulation (ISMS), 2013 4th International Conference on. IEEE, 2013. p. 394-396.
- [8] ONS. O Setor Elétrico. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/institucional/modelo_setorial.aspx%20\[8\]](http://www.ons.org.br/institucional/modelo_setorial.aspx%20[8])>. Acesso em: 13 abr 2015.
- [9] CCEE. Setor Elétrico. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_adf.ctrl-state=15tu786fuf_4&_afLoop=1177396039666780#%40%3F_afLoop%3D1177396039666780%26_adf.ctrl-state%3D2eppowyze_22>. Acesso em 13 abr 2015.
- [10] ANEEL. Informações Gerenciais. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/IG_Mar_14.pdf>. Acesso em 14 abr 2015.
- [11] ABRADÉE. Geração. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/escolha-abradee-para-voce/cartilha>>. Acesso em: 13 abr 2015.

- [12] ONS. Agentes de Geração. Disponível em: <http://www.ons.org.br/institucional/agentes_geracao.aspx>. Acesso em: 13 abr 2015.
- [13] ABRADDEE. Transmissão. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/escolha-abradee-para-voce/cartilha>>. Acesso em: 13 abr 2015.
- [14] ANEEL. Distribuição de Energia. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=77&idPerfil=2&idiomaAtual=0>>. Acesso em: 14 abr 2015.
- [15] ONS. Agentes de Distribuição. Disponível em: <http://www.ons.org.br/institucional/agentes_distribuicao.aspx>. Acesso em: 14 abr 2015.
- [16] ABRADDEE. Comercialização. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/escolha-abradee-para-voce/cartilha>>. Acesso em: 14 abr 2015.
- [17] CCEE. Comercialização. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_adf.ctrl-state=r4vd2tiu2_4&_afLoop=123528038691794>. Acesso em: 14 abr 2015.
- [18] ONS. O que é o SIN – Sistema Interligado Nacional. Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx>. Acesso em: 22 abr 2015.
- [19] ANEEL. Sumário Executivo. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20(2).pdf)>. Acesso em: 23 abr 2015.
- [20] ANEEL. Procedimentos Gerais. Submódulo 7.1. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/Excel/PRORET%20Subm%C3%B3dulo%207%201%20-%20Procedimentos%20Gerais.pdf>>. Acesso em: 23 abr 2015.
- [21] ANEEL. Bandeiras Tarifárias. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758&idPerfil=2&idiomaAtual=0>>. Acesso em: 23 abr 2015.
- [22] NOCE, Toshizaemom. **Estudo do Funcionamento de Veículos Elétricos e Contribuições ao seu Aperfeiçoamento**. 2009. Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- [23] IMBASCIATI, Henrique. **Estudo Descritivo dos Sistemas, Subsistemas e Componentes de Veículos Elétricos**. 2012. Especialização em Engenharia Automotiva. Centro de Educação Continuada do Instituto Mauá de Tecnologia.
- [24] BARROZO, Francisco Eudes Oliveira. **Conversor CC-CC Bidirecional em Corrente para Aplicação em Veículos Elétricos**. 2010. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Ceará.

- [25] FERNANDES, Caio Kaipper. **Avaliação da Inserção de Carros Elétricos na Operação de uma Rede de Distribuição de Energia Elétrica**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [26] Nissan. Nissan Leaf. Disponível em: <<http://www.nissan.pt/PT/pt/vehicle/electric-vehicles/leaf.html>>. Acesso em 20 mai 2015.
- [27] OKAN, T. U. R.; USTUN, Ozgur; TUNCAY, R. Nejat. **Application Note on Regenerative Braking of Electric Vehicles as Anti-Lock Braking System**. 2006.
- [28] ABVE. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/noticias/pl-incentiva-a-producao-de-carros-eletricos-no-brasil>>. Acesso em: 30 mai 2015.
- [29] ABVE. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/noticias/taxis-eletricos-no-rio-de-janeiro-evitaram-emissoes-de-135-toneladas-de-co2>>. Acesso em: 30 mai 2015.
- [30] ABVE. Disponível em:< <http://www.abve.org.br/noticias/carro-eletrico-evita-emissao-de-6-t-de-dioxido-de-carbono-em-curitiba>>. Acesso em: 30 mai 2015.
- [31] BARAN, Renato. **A Introdução de Veículos Elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [32] Toyota. Modelo Prius. Disponível em: <<http://www.toyota.com.br/modelos/prius/>> .Acesso em: 25 abr 2015.
- [33] CETESB. Emissões Veiculares no Estado de São Paulo. 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/ar/emissoes/relatorio-emissoes-veiculares-2013.pdf>>. Acesso em: 28 abr 2015.
- [34] RODRIGUES, F. Frederico. **Impactos dos carros elétricos no sistema de energia elétrica com os princípios em Smart Grids**.2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do ABC.
- [35] PERES, L. A. P. et al. **Analysis of the use of electric vehicles by electric utility companies fleet in Brazil**. Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina), v. 9, n. 7, p. 1032-1039, 2011.
- [36] INMETRO. Tabela de Consumo/Eficiência Energética dos Veículos Automotores Leves. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2014.pdf>. Acesso em 25 mai 2015.
- [37] CEMIG. Valores de Tarifas e Serviços. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 06 jun 2015.
- [38] Preço dos Combustíveis. Disponível em: <<http://www.precodoscombustiveis.com.br/postos/cidade/2308/mg/belo-horizonte>>. Acesso em: 02 jun 2015

[39] BRASIL ECONOMIA E GOVERNO.O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil?. 2012. Disponível em: < <http://www.brasil-economia-governo.org.br/2012/08/13/o-que-e-o-mercado-de-carbono-e-como-ele-opera-no-brasil/>>. Acesso em 02 jun 2015.