unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

CARLOS EDILSON CHIARADIA

ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS ELÉTRICOS NO ATUAL CENÁRIO ECONÔMICO, POLÍTICO, ENERGÉTICO E AMBIENTAL BRASILEIRO

Guaratinguetá
2015

CARLOS EDILSON CHIARADIA

ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS ELÉTRICOS NO ATUAL CENÁRIO ECONÔMICO, POLÍTICO, ENERGÉTICO E AMBIENTAL BRASILEIRO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Wagner Forti

Guaratinguetá
2015

Chiaradia, Carlos Edilson
C532e Estudo da viabilidade da implantação de frotas de veículos elétricos e híbridos elétricos no atual cenário econômico, político, energético e ambiental brasileiro / Carlos Edilson Chiaradia – Guaratinguetá, 2015.
164 f : il.
Bibliografia: f. 150-158

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.
Orientador: Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
Coorientador: Prof. Dr. Mauro Pedro Peres

1. Veículos elétricos 2. Motores de combustão interna 3. Energia elétrica -- Conservação I. Título

CDU 621.337

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

CARLOS EDILSON CHIARADIA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE **"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. Mauro Pedro Peres
UNESP-FEG

Prof. Me. Anderson José Pereira
Membro externo/EEL-USP

Dezembro de 2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, fonte de todo conhecimento e sabedoria, por ter me dado inteligência, persistência, coragem e pré-disposição para sempre aprender e evoluir.

Agradeço aos familiares por sempre me apoiarem nas minhas decisões.

Agradeço a todos os professores do curso de graduação em engenharia mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, pelo conhecimento transmitido durante a graduação e também pelos incentivos e conselhos, aos técnicos de laboratório, por sempre se mostrarem disponíveis e amigáveis, aos funcionários da biblioteca e aos funcionários da secretaria de graduação, que sempre se mostraram prestativos e a todos que de forma direta ou indireta colaboraram com a minha formação acadêmica e pessoal.

“Você pode encarar um erro como uma besteira a ser esquecida, ou como um resultado que aponta uma nova direção”

Steve Jobs

CHIARADIA, C. E. **Estudo da viabilidade da implantação de frotas de veículos elétricos e híbridos elétricos no atual cenário econômico, político, energético e ambiental brasileiro.** 2015. 164 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Atualmente existem dois modelos de automóveis que empregam energia elétrica em seus sistemas de propulsão: o veículo elétrico e o veículo híbrido elétrico. Os veículos elétricos se caracterizam como veículos que empregam motores elétricos no sistema de propulsão e utilizam baterias como fonte de energia, já os veículos híbridos elétricos são classificados como aqueles que empregam motores elétricos e motores a combustão interna no sistema de propulsão, utilizando baterias e também combustíveis líquidos como fonte de energia. O objetivo principal deste trabalho é analisar as características dos veículos híbridos e elétricos e demonstrar a inviabilidade do veículo elétrico no atual cenário econômico, político, energético e ambiental brasileiro. Para isso foi feito um estudo sobre a atual situação brasileira com respeito à geração de energia elétrica, conservação da malha viária existente, inexistência de infraestrutura elétrica para carregamento de baterias, reservas nacionais de lítio, características ambientais, incentivos fiscais, fatores econômicos, mercado de petróleo e posicionamento político com respeito à implantação de frotas de veículos elétricos ou híbridos elétricos em território nacional. A análise das características operacionais, posicionamento político e viabilidade econômica dos veículos elétricos e híbridos elétricos, no cenário atual, levam à conclusão que atualmente um crescimento de frotas de veículos elétricos em escala nacional é totalmente inviável no Brasil. Assim, a introdução de "veículos verdes" deve ocorrer primeiramente com os modelos híbridos elétricos, motivada principalmente pela maior autonomia desses modelos quando comparada com os modelos elétricos, menor custo de aquisição, fatores relacionados à inexistência de infraestrutura de recarga e também fatores relacionados ao posicionamento político.

PALAVRAS-CHAVE: Veículos elétricos, Veículos híbridos, Matriz energética nacional, Viabilidade de veículos elétricos, Rodovias brasileiras.

CHIARADIA, C. E. **Feasibility study of the implantation of electric and hybrid electric vehicles fleets in the current economic, political, energetic and environmental brazilian scenario.** 2015. 164 p. Final paper (graduation in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

Currently there are two car models that use electricity in their propulsion systems, the electric vehicle and the hybrid electric vehicle. The electric vehicles are classified as vehicles that use electric motors in their propulsion system and batteries as a power source, on the other hand, the hybrid vehicles are classified as vehicles that use both electric motors and internal combustion engines in their propulsion system, using both batteries and líquid fuels as a power source. The main goal of this work is to analyze the characteristics of electric and hybrid electric vehicles and demonstrate the unfeasibility of the electric vehicle in the current economic, political, energetic and environmental brazilian scenario, for this purpose it was realized a study about the current brazilian situation regarding to electricity generation, current conservation status of road network, lack of electrical infrastructure for charging batteries, national lithium reserves, environmental characteristics, tax incentives, economic scenario, oil market and political positioning related to the implantation of electric or hybrid electric fleets in nacional territory. The operational characteristics analysis of electric and hybrid electric vehicles in this current scenario leads to the conclusion that currently a growth of electric vehicles fleets on a national scale is totally impractical in the Brazil, Thus, the introduction of "green vehicles" probably will occur primarily with hybrid electric models, motivated mainly due the bigger autonomy of this models compared to electric models, lower cost of hybrid electric models compared to electric models, factors related to the lack of recharging infrastructure and also factors related to political positioning.

KEYWORDS: Electric Vehicles, Hybrid Vehicles, National energy matrix, Viability of electric vehicles, Brazilian highways.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 – Consumo total mundial de petróleo em Mtep, por setor, do ano 1971 até o ano de 2012 19
Figura 2 – Fluxos de potência na configuração em série 24
Figura 3 – Fluxos de potência na configuração paralela 25
Figura 4 – Fluxos de potência na configuração Série/ Paralela 27
Figura 5 – Comportamento da oferta total de energia interna no Brasil em função do tempo 30
Figura 6 – Evolução da oferta interna brasileira de energia renovável e não renovável 31
Figura 7 – Evolução da oferta interna brasileira de energia renovável e não renovável em valores percentuais 31
Figura 8 – Evolução da oferta interna brasileira de petróleo e derivados 32
Figura 9 – Evolução temporal do Consumo final de energia por fonte 33
Figura 10 – Distribuição do consumo de combustíveis no setor industrial 34
Figura 11 – Geração de energia elétrica por fonte em 2013 35
Figura 12 – Capacidade instalada de geração elétrica por fonte 36
Figura 13 – Dependência externa de energia 40
Figura 14 – 10 maiores países que importaram energia elétrica em 2011 41
Figura 15 – Crescimento do consumo nacional de energia elétrica em função do tempo 43
Figura 16 – Previsão do consumo nacional de energia elétrica até o ano de 2040 44
Figura 17 – Crescimento da frota nacional de automóveis de 2007 a 2014 45
Figura 18 – Previsão de crescimento da frota nacional de automóveis até o ano de 2040 45
Figura 19 – Frota de veículos elétricos, em relação à frota nacional, de 2016 até 2040 para os cenários de crescimento propostos 49
Figura 20 – Participação percentual no consumo nacional de energia elétrica por frotas de veículos elétricos 50
Figura 21 – Relação entre o crescimento da frota de Veículos elétricos e o consumo de eletricidade a nível nacional 51
Figura 22 – Extensão das malhas rodoviária e ferroviária 53
Figura 23 – Distribuição modal da matriz brasileira de transporte regional de cargas 54
Figura 24 – Evolução da produção e da frota circulante de veículos leves 55
Figura 25 – Evolução da produção e da frota circulante de veículos pesados 55
Figura 26 – Taxa de crescimento da frota de veículos em circulação de 2007 a 2011 56
Figura 27 – Taxa de crescimento da frota de veículos em circulação de 2014 a 2015 57

Figura 28 – Crescimento da frota circulante, PIB e População em relação ao ano de 1990 58
Figura 29 – Investimentos em infraestrutura de rodovias. 59
Figura 30 – Extensão das rodovias federais pavimentadas 61
Figura 31 – Densidade da malha rodoviária pavimentada por país em km/1000 km^2 61
Figura 32 – Participação do setor de transportes e rodoviário no consumo final de energia .. 65
Figura 33 – Participação percentual do setor de transportes no consumo de derivados de petróleo 66
Figura 34 – Estrutura de consumo de combustíveis no setor de transportes brasileiro 67
Figura 35 – Redução das emissões de CO, HC, NO_x e CHO na implementação das fases do PROCONVE 73
Figura 36 – Emissões em milhões de toneladas de CO_2eq por setor em 2014 74
Figura 37 – Emissões percentuais de CO_2eq por setor dos últimos quatro anos 77
Figura 38 – Emissões de CO_2eq por unidade de energia elétrica gerada em função do tempo 78
Figura 39 – Correlação entre emissões e participação percentual de fontes não renováveis na geração elétrica nacional 79
Figura 40 – Emissões de um veículo elétrico, similar ao nissan leaf, em função da participação percentual de fontes não renováveis na geração elétrica nacional 81
Figura 41 – Emissões indiretas de CO_2eq de veículos elétricos em função da emissão na geração elétrica e eficiência energética do modelo 83
Figura 42 – Densidade energética e densidade de potência de diferentes tipos de bateria 85
Figura 43 – Esquema de funcionamento de uma bateria de íons de lítio 86
Figura 44 – Salar de Uyuni, Bolívia 88
Figura 45 – Processo de obtenção de carbonato de lítio a partir de salmouras 90
Figura 46 – Processo de concentração do espodumênio 91
Figura 47 – Processo ácido para a obtenção do carbonato de lítio 92
Figura 48 – Processo básico para a obtenção do hidróxido de lítio 92
Figura 49 – Reservas brasileiras provadas de petróleo 97
Figura 50 – Participação de alguns países no consumo mundial de petróleo 98
Figura 51 – Produção versus consumo de petróleo no Brasil 100
Figura 52 – Nissan Leaf 107
Figura 53 – i-MiEV 108
Figura 54 – Modelo BMW i3 110
Figura 55 – Toyota Prius 116

Figura 56 – Ford Fusion Hybrid 118
Figura 57 – Comportamento do valor venal médio em função da idade do veículo 124
Figura 58 – Valor máximo que um veículo elétrico deveria ter para ser competitivo em relação a um veículo convencional no cenário econômico atual 130
Figura 59 – Valor máximo que um veículo elétrico deveria ter para ser competitivo em relação a um veículo convencional no cenário econômico 1 132
Figura 60 – Valor máximo que um veículo elétrico deveria ter para ser competitivo em relação a veículo convencional no cenário econômico 2, com custo de bateria igual a 10% do custo do veículo elétrico 133
Figura 61 – Valor máximo que um veículo elétrico deveria ter para ser competitivo com um veículo convencional no cenário econômico 2, desprezando o custo de troca da bateria 134
Figura 62 – Custo máximo que o Nissan Leaf deveria ter em relação aos modelos híbridos Toyota Prius e Ford Fusion Hydrid 137
Figura 63 – Custo máximo do Ford Fusion Hybrid para ser viável em relação ao Ford Fusion convencional 142
Figura 64 – Custo máximo que um Toyota Prius deveria ter para ser viável em relação a um Corolla Gli 143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW) 37

Tabela 2 – Crescimento percentual da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil 38

Tabela 3 – Plantas de geração elétrica em construção no Brasil no ano de 2013 39

Tabela 4 – Consumo elétrico nacional por ano 42

Tabela 5 – Crescimento da frota nacional de automóveis de 2007 a 2014 44

Tabela 6 – Crescimento da frota de automóveis de 2014 a 2015 57

Tabela 7 – Relação pavimentado/total para países representativos em 2012 60

Tabela 8 – Extensão das rodovias analisadas pela CNT em 2014 62

Tabela 9 – Resultados da pesquisa CNT de rodovias 2014 63

Tabela 10 – Estado das rodovias concedidas e sob administração pública em 2014 63

Tabela 11 – Limites de emissões do proconve – fase L6 para motores ciclo Diesel e Otto 73

Tabela 12 – Emissões de GEE no SIN em milhões de toneladas de CO_2 equivalente 75

Tabela 13 – Emissões totais de gases de efeito estufa na geração elétrica 77

Tabela 14 – Geração elétrica brasileira por fonte, valores em TWh 78

Tabela 15 – Alguns minerais de lítio com seus respectivos teores de óxido de lítio e algumas características físicas 88

Tabela 16 – Efeitos à saúde de alguns componentes de pilhas e baterias de lítio 95

Tabela 17 – Informações técnicas do modelo Nissan Leaf 2014 106

Tabela 18 – Algumas características técnicas do modelo i-MiEV 109

Tabela 19 – Algumas características Técnicas do modelo BMW i3 110

Tabela 20 – Comparação entre as emissões de modelos híbridos e as requeridas pelo PROCONVE fase L6 113

Tabela 21 – Especificações técnicas do modelo Toyota Prius 2014 115

Tabela 22 – Algumas especificações técnicas do modelo Ford Fusion Hybrid 117

Tabela 23 – Variação do CDI de 2004 a 2014 120

Tabela 24 – Inflação anual de 2004 a 2014 120

Tabela 25 – Custos médios com manutenção preventiva de um veículo convencional 126

Tabela 26 – Viabilidade do veículo elétrico no cenário econômico atual 129

Tabela 27 – Parâmetros de eficiência do Toyota Prius e Ford fusion hybrid 135

Tabela 28 – Viabilidade do veículo elétrico em relação aos híbridos no cenário econômico atual 136

Tabela 29 – Parâmetros dos modelos convencionais e híbridos para comparação de viabilidade econômica 138
Tabela 30 – Comparação de gastos e economias entre o ford fusion hybrid e o ford fusion convencional para isenção de IPVA dos modelos híbridos..... 144

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Anti –lock Braking System
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ANP	Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BEN	Balaço Energético Nacional
CBL	Companhia Brasileira do Lítio
CDI	Certificado de Depósito Interbancário
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
CVT	Continuously Variable Transmission
DENATRAN	Departamento Nacional de Transito
DOHC	Double Overhead Camshaft
EBS	Electronic Braking System
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
GNV	Gás Natural Veicular
HAP	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
HC	Hidrocarbonetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre operações relativas à circulação de mercadorias e prestação de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicações
IEA	International Energy Agency
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
KWO	Kraftwerke Oberhasli
ME	Motor Elétrico
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
MCI	Motor a Combustão Interna

MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MOHC	Met Office Hadley Centre
MP	Material Particulado
MT	Ministério dos Transportes
Mtoe	Million tons of oil equivalent
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PBI	Produto Interno Bruto
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PIS	Programa de Integração Social
PNLT	Plano Nacional de Logística e Transporte
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
SIN	Sistema Interligado Nacional
UV	Ultra Violeta
VH	Veículo Híbrido
VHE	Veículo Híbrido Elétrico
VPL	Valor Presente Líquido
VVT – i	Variable Valve Timing With intelligence

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18

1.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DA ORIGEM DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS 19

1.2 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DE VEÍCULOS COM PROPULSÃO ELÉTRICA E HÍBRIDA 22

1.2.1 Configuração em Série 23

1.2.2 Configuração Paralela 25

1.2.3 Configuração Série/Paralela 27

1.3 OBJETIVO DO TRABALHO 28

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 28

2 SITUAÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA 30

2.1 ENERGIA ELÉTRICA 34

2.2 INDEPENDÊNCIA ENERGÉTICA 40

2.3 IMPLICAÇÕES DO ATUAL CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO SOBRE POSSÍVEIS FROTAS DE VEÍCULOS HÍBRIDOS E ELÉTRICOS 41

2.3.1 **Aumento na demanda elétrica resultante da recarga de baterias de frotas de veículos elétricos** 42

3 SETOR DE TRANSPORTES 53

3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DO SETOR DE TRANSPORTES 53

3.2 DISTRIBUIÇÃO MODAL DO SETOR DE TRANSPORTES E AUMENTO DA FROTA CIRCULANTE NO MODAL RODOVIÁRIO 54

3.3 CARACTERÍSTICAS DA PAVIMENTAÇÃO E DA CONSERVAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO DA MALHA RODOVIÁRIA BRASILEIRA 59

3.4 CONSUMO DE ENERGIA E COMBUSTÍVEIS NO SETOR DE TRANSPORTES BRASILEIRO 65

3.5 IMPLICAÇÕES DA ATUAL SITUAÇÃO DO SETOR DE TRANSPORTES SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS 68

4 ASPECTOS AMBIENTAIS 69

4.1 AQUECIMENTO GLOBAL E CONCEITUAÇÃO DE POLUENTES 69

4.2 POLUENTES EMITIDOS POR MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS 70

4.3 POLÍTICAS DE CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES 72

4.4 EMISSÕES RELACIONADAS À MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA 74

4.5 IMPLANTAÇÃO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS SOBRE O PONTO DE VISTA DO ATUAL CENÁRIO AMBIENTAL 77

4.5.1 Emissões de CO_2 dos veículos elétricos associadas à geração de eletricidade 77

4.5.2 Comparação de emissões de CO_2 dos veículos elétrico, híbrido e convencional ... 82

5 BATERIAS PARA VEÍCULOS HÍBRIDOS E ELÉTRICOS 84

5.1 CARACTERÍSTICAS DE BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS 84

5.2 DISTRIBUIÇÃO GEOGRAFICA E CARACTERÍSTIVAS DAS RESERVAS NATURAIS DE LÍTIO 87

5.3 RESERVAS MUNDIAIS DE LÍTIO CONFIRMADAS E POSICIONAMENTO BRASILEIRO 89

5.4 PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO DO LÍTIO A PARTIR DE SALMOURAS E FORMA MINERAL 90

5.5 DESCARTE DE BATERIAS 93

5.6 RISCOS DOS METAIS PESADOS NOS ECOSSITEMAS E TOXIDADE 94

5.7 RESERVAS NACIONAIS DE LÍTIO E O CRESCIMENTO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS 96

6 PETRÓLEO NO BRASIL E NO MUNDO 97

6.1 RESERVAS DE PETRÓLEO NO BRASIL E NO MUNDO 97

6.2 CONSUMO MUNDIAL DE PETRÓLEO 98

6.3 RESERVAS, PRODUÇÃO E CONSUMO DE PETRÓLEO NO BRASIL 99

6.4 IMPACTOS DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA E INTERESSES POLÍTICOS EM TORNO DO PETRÓLEO NA IMPLANTAÇÃO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS 101

7 CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE ALGUNS MODELOS 102

7.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS: VANTAGENS E DESVANTAGENS 102

7.2 ALGUNS MODELOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS DISPONÍVEIS NO MERCADO OU EM FASE DE TESTE 105

7.2.1 Nissan Leaf 105

7.2.2 Mitsubishi i-MiEV 108

7.2.3 BMW – i3 109

7.3 VEÍCULOS HÍBRIDOS: VANTAGENS E DESVANTAGENS 111

7.4 ALGUNS MODELOS HÍBRIDOS DISPONÍVEIS NO MERCADO 113

7.4.1 Toyota Prius 113

7.4.2 Ford Fusion Hybrid 117

7.4.3 Influência da carga tributária no custo dos modelos elétricos e híbridos 118

8 ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS VEÍCULOS HÍBRIDOS E ELÉTRICOS EM RELAÇÃO AOS VEÍCULOS CONVENCIONAIS 119

8.1 MODELAMENTO MATEMÁTICA PARA A ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO ELÉTRICO EM RELAÇÃO AO VEÍCULO CONVENCIONAL 121

8.1.1 Cálculo dos custos de operação dos veículos elétrico e convencional 122

8.1.2 Cálculo dos gastos com impostos 123

8.1.3 Cálculo dos custos com manutenção 125

8.1.4 Gasto com a troca de bateria de um veículo elétrico 127

8.1.5 Resultados da análise econômica para o veículo elétrico 128

8.1.5.1 Cenário econômico atual 129

8.1.5.2 Custo máximo que o veículo elétrico deveria ter para ser viável economicamente em relação a um veículo convencional no atual cenário econômico 130

8.1.5.3 Cenário econômico 1 131

8.1.5.4 Cenário econômico 2 133

8.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO HÍBRIDO EM RELAÇÃO AO VEÍCULO ELÉTRICO 134

8.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO HÍBRIDO EM RELAÇÃO AO VEÍCULO CONVENCIONAL 138

8.3.1 Modelagem dos custos de operação 138

8.3.2 Modelagem dos gastos com impostos 139

8.3.3 Modelagem dos gastos com manutenção 140

8.3.4 Resultados da análise econômica para a viabilidade dos modelos híbridos em relação aos modelos convencionais 142

9 CONCLUSÕES 145

REFERÊNCIAS 150

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA 159

APÊNDICE A – parâmetros de consumo, emissões e eficiência energética de alguns modelos populares de automóveis 160

APÊNDICE B – valores venais dos veículos utilizados no modelamento matemático do valor venal em função da idade do veículo 161

ANEXO A – Descrição das fases do proconve 163

1 INTRODUÇÃO

O interesse mundial por alternativas energéticas para o setor de transportes vem crescendo nos últimos tempos, motivado essencialmente por dois fatores: a grande emissão de poluentes do setor de transportes e a futura escassez do petróleo.

Com respeito aos fatores ambientais pode-se destacar: a tendência de aquecimento global, alterações no clima e efeitos a saúde pública em grandes centros urbanos.

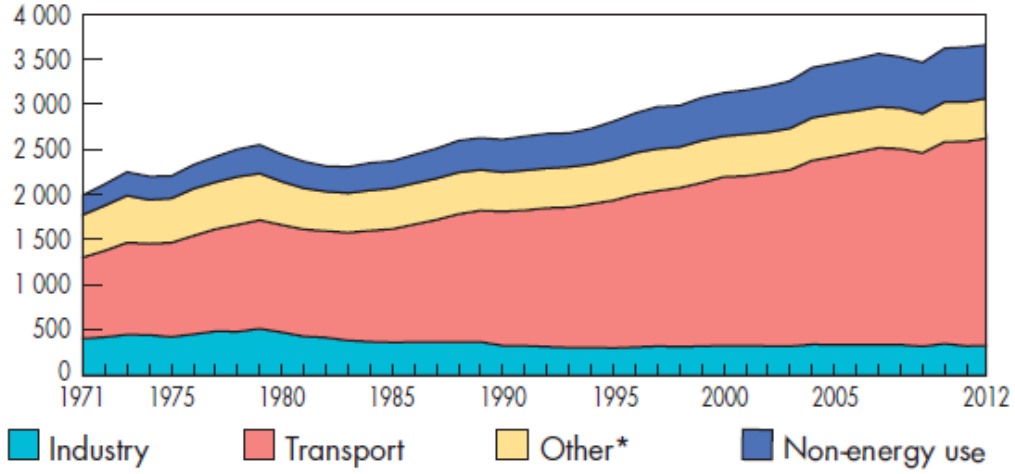
Segundo dados do instituto Goddard de estudos espaciais da NASA (TERRA, 2014), 2013 foi o sétimo ano mais quente desde o início das medições. Foi constatado que a temperatura média global de 2013 foi de 14,6 º C, o que representou 0,6 º C acima da média do século 20, esse fato mostra uma tendência de aquecimento global. Dentro deste contexto, as fontes energéticas empregadas no setor de transportes devem ser repensadas, uma vez que atualmente esse setor é fortemente dependente de derivados de petróleo.

Além da tendência de aumento da temperatura média global deve-se atentar para a queda na qualidade da saúde devido às emissões locais. Estudos conduzidos por Braga, Pereira e Saldiva (2011) indicam que a presença de poluentes na atmosfera dos grandes centros urbanos, tais como a cidade de São Paulo, pode provocar graves efeitos à saúde pública, mesmo quando as concentrações estão dentro dos padrões de segurança estabelecidos pelos órgãos competentes. Segundo o estudo a poluição atmosférica tem uma contribuição no aumento da taxa de mortalidade por razões de ordem respiratória e cardiovascular.

Do ponto de vista energético para o setor de transportes os desafios são grandes, pois grande parte das alternativas (tais como células combustíveis a hidrogênio e baterias) não apresentam o mesmo poder calorífico do petróleo e pesquisas tem sido realizadas para aumentar a eficiência e aplicabilidade destas alternativas.

Para se ter uma ideia da dependência do setor de transportes em relação ao petróleo pode-se analisar a variação do consumo total mundial de petróleo (em milhões de toneladas equivalentes de petróleo) por setor, apresentado na Figura 1.

Figura 1: Consumo total mundial de petróleo em Mtep, por setor, do ano 1971 até o ano de 2012



Fonte: (IEA, 2014)
Nota: Mtep- milhões de toneladas equivalentes de petróleo

Analisando a Figura 1 fica evidente a grande dependência mundial do setor de transportes em relação ao petróleo. Pode-se ainda verificar que existe uma tendência de aumento do consumo de petróleo pelo setor de transportes. Por exemplo, no ano de 1973 o setor de transportes respondia por 45,4 % do consumo mundial de petróleo, em contraste com 63,7 % em 2012, segundo levantamentos da International Energy Agency (IEA, 2014). Desta forma fica evidente a urgência de se desenvolver novas fontes energéticas compatíveis com o petróleo para o setor de transportes.

Neste trabalho serão estudadas as características específicas dos veículos elétricos e híbridos, os quais utilizam baterias e motores à combustão interna associados com baterias como fonte energética para o sistema de propulsão.

1.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DA ORIGEM DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

De acordo com Hoyer (2008) a origem dos primeiros modelos de carros elétricos tem início em meados do século XIX e está relacionada à origem das primeiras baterias. As primeiras baterias de chumbo e ácido surgiram por volta de 1859 e a partir de então esse tipo de bateria veio a ser utilizada por diversos veículos elétricos que foram desenvolvidos a partir do início da década de 1880 na França, EUA e Reino Unido.

Em 1901, Thomas Edison desenvolveu a bateria níquel-ferro, com capacidade de armazenamento 40% maior que a bateria de chumbo, só que com custo de produção muito mais elevado. As baterias níquel-zinco e zinco-ar foram criadas somente no final do século XIX.

Duas outras tecnologias desenvolvidas por volta de 1900 foram, também, de grande importância para melhorar o desempenho dos carros elétricos: a frenagem regenerativa (que consiste em se recuperar parte da energia cinética perdida em uma frenagem e com ela carregar a bateria) e o sistema híbrido a gasolina e eletricidade (HOYER, 2008).

No início do século XXI os veículos elétricos existiam em maior número que os veículos movidos a combustíveis fósseis. Entre outros aspectos eles eram atrativos devido à facilidade com que podiam ser ligados e conduzidos, e pela condução silenciosa, em contraste com os automóveis que utilizavam motor à combustão interna, que eram mais ruidosos (HOYER, 2008).

Em 1903 havia cerca de quatro mil automóveis registrados na cidade de Nova York, sendo 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos. O ápice da frota de carros elétricos ocorreu em 1912, cerca de 30 mil unidades. Porém a quantidade de automóveis a gasolina nesse período já era da ordem de trinta vezes maior (STRUBEN; STERMAN, 2008).

Os fatores que são apontados por Baran e Legey (2011) para o declínio dos carros elétricos são:

- As descobertas de petróleo que ocorreram no Texas levaram a uma redução no preço da gasolina, tornando-a um combustível mais atrativo para o setor de transportes, uma vez que as baterias utilizadas em veículos puramente elétricos apresentavam baixa eficiência.
- No início do século XX a estrutura de distribuição de energia elétrica ainda era precária, isso dificultava a realização de viagens com os veículos elétricos.
- Grande parte do sucesso dos carros com motores à combustão interna dessa época deveu-se ao aparecimento do Ford modelo T. O sistema de produção em série de automóveis, desenvolvido por Henry Ford, permitiu que o preço final dos carros a gasolina ficasse entre US$ 500 e US$ 1.000, o que correspondia à metade do preço pago pelos elétricos, por esse motivo, por volta de 1915 menos de 2% dos 2,5 milhões dos automóveis em circulação eram elétricos.

- Os carros a gasolina ganharam mercado devido à inovação tecnológica existente naquela época, primeiro com a invenção do *starter* elétrico, por volta de 1912, que veio substituir a manivela de arranque. Em seguida apareceram os pneus de borracha, que introduziram mais conforto na condução do veículo. Havia ainda melhorias no sistema de ignição e nos carburadores, tornando os carros a gasolina fáceis de conduzir.
- Nos anos 1920, as rodovias dos EUA já interligavam diversas cidades, o que demandava veículos capazes de percorrer longas distâncias, levando a um crescimento de interesse por veículos a gasolina, pois apresentavam maior autonomia que os elétricos.

Com respeito à origem dos modelos híbridos, de acordo com Hoyer (2008), já em 1903 houve a produção de um automóvel que apresentava as características de um híbrido em série (a definição de híbrido em série encontra-se na seção 1.2.1), que era composto por um gerador elétrico, alimentado por um pequeno motor à combustão interna e dois pequenos motores elétricos que forneciam tração às rodas dianteiras.

Outro modelo, produzido entre 1901 e 1906, podia ser caracterizado como um híbrido em paralelo (a definição de híbrido em paralelo encontra-se na seção 1.2.2). O motor à combustão interna era utilizado tanto para fornecer tração às rodas quanto para carregar uma bateria, enquanto o motor elétrico fornecia potência extra ao eixo de tração ou funcionava sozinho, quando em trânsito lento (HOYER, 2008).

Preocupações ambientais e de independência energética em relação ao petróleo retomaram o interesse no desenvolvimento de modelos elétricos e híbridos a partir da década de 80.

Atualmente existem alguns modelos de veículos elétricos e híbridos disponíveis no mercado, podendo-se citar, por exemplo: o Toyota Prius, lançado em 1997, que se caracteriza como um sedã híbrido de quatro portas; o insight da Honda , lançado em 1999, que também é um modelo híbrido ; o Civic Híbrido, lançado pela Honda em 2003; o nissan leaf e o i-MiEV da Mitsubishi que são exemplos de modelos puramente elétricos.

1.2 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DE VEÍCULOS COM PROPULSÃO ELÉTRICA E HÍBRIDA

Como visto na seção 1.1 os conceitos de veículo elétrico e híbrido elétrico remontam às origens do desenvolvimento do próprio automóvel, em finais do século XIX. De acordo com Melo (2010) no final do século XIX as preocupações ambientais e de eficiência não existiam, e a finalidade era incrementar os níveis de desempenho dos motores a combustão interna (MCI) ou melhorar a autonomia dos veículos baseados em motores elétricos (ME). Nesse período se registra a implantação de sistemas de frenagem regenerativa, que permitiram recuperar a energia cinética que o veículo perde, em consequência de uma travagem, sendo essa energia armazenada nas baterias. A frenagem regenerativa foi uma contribuição fundamental para o aumento da eficiência de veículos elétricos e permitiu aumentar à autonomia dos mesmos.

Atualmente um dos maiores entraves à comercialização de modelos elétricos reside no atual estado de desenvolvimento das baterias. Os esforços e progressos que tem sido feitos no desenvolvimento e aumento do desempenho das baterias ainda continuam aquém das exigências requeridas pelos veículos elétricos, principalmente em se tratando de densidade de energia (energia por unidade de massa e volume) e densidade de potência (potência por unidade de massa e volume). O atual nível de desenvolvimento das baterias permite aos veículos elétricos atenderem a distâncias relativamente curtas, típicas de centros urbanos.

Segundo Melo (2010) podem-se definir veículos elétricos e veículos híbridos da seguinte forma:

- **Veículos híbridos (VH):** Em termos gerais, um veículo híbrido é caracterizado por incluir dois ou mais sistemas de propulsão. Os mais usuais são os veículos híbridos elétricos (VHE), neles existe a combinação de dois sistemas de propulsão: um baseado no motor de combustão interna (MCI), e o outro baseado em um ou vários motores elétricos (ME). Em termos de configuração pode-se ter as possibilidades: série, paralelo e série/paralelo.
- **Veículos elétricos (VE)**: Apenas incluem motores elétricos (VE), em termos de fontes de energia empregadas deve-se distinguir as baterias das células de combustível.

A Concepção de base dos veículos híbridos está na interposição das vantagens dos veículos convencionais, que utilizam motor à combustão interna, com as vantagens dos veículos elétricos. Assim procura-se combinar a elevada autonomia e potência dos veículos com motores a combustão interna com os elevados rendimentos e emissões nulas, a nível local, dos veículos com motores elétricos (MELO, 2010).

Na utilização de motores elétricos nos modelos híbridos há dois objetivos bem vinculados: o primeiro é a otimização do rendimento do motor à combustão interna; o segundo é a recuperação da energia cinética na frenagem do veículo, pois o motor elétrico pode funcionar como um gerador, armazenando energia nas baterias (MELO, 2010).

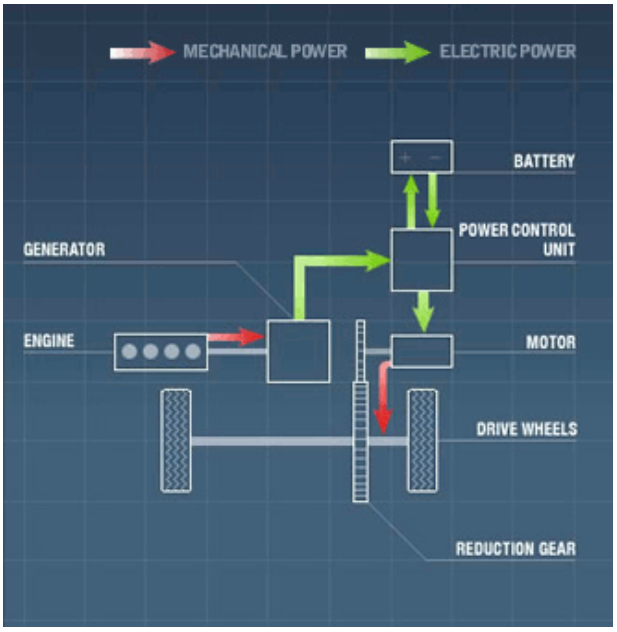
A união dos dois modos de propulsão procura superar as limitações de ambos: no caso do motor à combustão interna a utilização de grandes quantidades de combustíveis fósseis e emissões de gases de efeito estufa; e para os veículos elétricos a autonomia reduzida, elevado tempo de carregamento e maior custo inicial.

As possíveis configurações para um veículo híbrido elétrico se distinguem pelo modo como o motor de combustão interna é inserido no sistema de propulsão elétrica.

1.2.1 Configuração em Série

Na configuração em série o motor à combustão interna apenas aciona um gerador que alimenta o motor elétrico de tração do veículo; o gerador também efetua o carregamento das baterias. Em termos de concepção, trata-se de um veículo elétrico assistido por um MCI, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Fluxos de potência na configuração em série



Fonte: e-auto

Em princípio, podem ser considerados os seguintes modos de funcionamento (MELO, 2010):

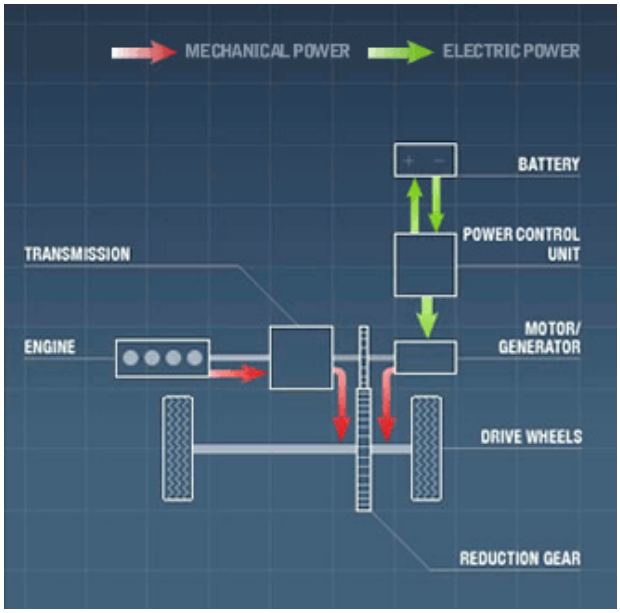
- **Energia de propulsão/baterias**: O MCI é desligado, a energia de propulsão provém unicamente das baterias.
- **Energia de propulsão/MCI**: A energia de propulsão é somente garantida pelo sistema MCI/gerador, não há qualquer fluxo de energia nas baterias.
- **Energia de propulsão/modo híbrido**: A potência de tração é garantida pelo MCI e pelas baterias.
- **Energia de propulsão/carregamento das baterias**: o sistema MCI/gerador fornece a energia para propulsionar o veículo e carrega as baterias.
- **Frenagem regenerativa:** o MCI é desligado e o ME funciona como gerador, efetuando o carregamento das baterias.
- **Carregamento das baterias:** O ME não é alimentado e o sistema MCI/gerador somente carrega as baterias.
- **Carregamento híbrido das baterias:** o sistema MCI/gerador e o ME, funcionando como gerador efetuam o carregamento das baterias.

Não existindo ligação mecânica entre o MCI e o sistema de transmissão de potência, os seus regimes de funcionamento tornam-se mais flexíveis, permitindo otimizar o funcionamento do MCI (O MCI pode operar com uma combinação de rotação, torque e potência que maximiza sua eficiência).

1.2.2 Configuração Paralela

Nesta configuração existe a possibilidade do MCI e do ME fornecerem potência, em paralelo, às rodas de tração do veículo. Conceitualmente, trata-se de um veículo convencional (MCI) com assistência elétrica (ME). Desta forma, ambos os motores estão acoplados ao eixo de transmissão através de duas embreagens independentes, assim a propulsão pode ser efetuada pelo MCI, pelo ME ou por ambos, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3: Fluxos de potência na configuração paralela



Fonte: e-auto

Na configuração paralela também é possível conseguir a otimização do MCI. O motor elétrico pode funcionar como gerador para carregar as baterias, havendo duas possibilidades: (1) frenagem regenerativa; (2) caso a potência gerada pelo MCI seja superior à requerida para o esforço de tração do veículo, o excedente é fornecido ao gerador que carrega as baterias.

Os modos de funcionamento possíveis são os seguintes (MELO, 2010):

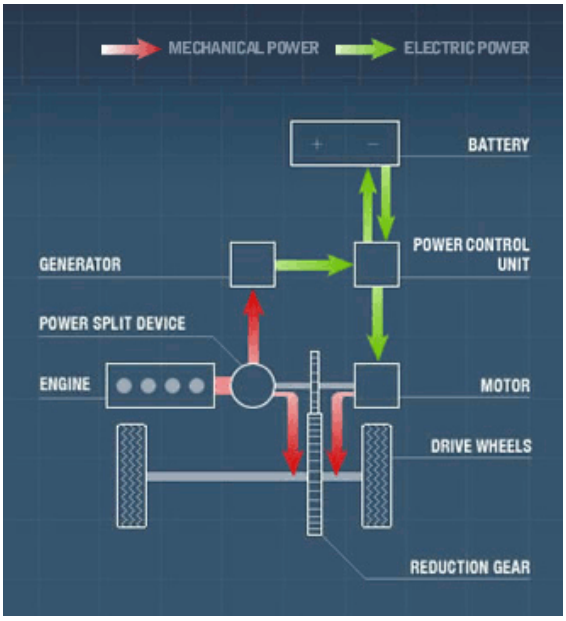
- **Propulsão ME:** O MCI é desligado e o veículo é propulsionado apenas pelo ME.
- **Propulsão MCI:** O ME é desligado e o veículo é propulsionado apenas pelo MCI;
- **Propulsão Híbrida:** Ambos os motores (MCI e ME) contribuem para a propulsão do veículo.
- **Propulsão MCI dividida**: Uma parte da potência no eixo do MCI é usada na propulsão; a outra parte carrega as baterias, o que implica ter o ME a funcionar como gerador.
- **Frenagem simples (apenas regenerativa):** O MCI é desligado e o ME funciona como gerador, efetuando o carregamento das baterias;
- **Frenagem regenerativa e mecânica:** o ME funciona como gerador e o MCI funciona como freio mecânico.

Na configuração paralela pode-se utilizar MCI e ME de menores potências em relação à configuração em série para desempenhos semelhantes.

1.2.3 Configuração Série/Paralela

Esta estrutura integra as características das duas anteriores, procurando assimilar as vantagens de ambas. A Figura 4 apresenta esta configuração.

Figura 4: Fluxos de potência na configuração Série/ Paralela



Fonte: e-auto

Em comparação com a estrutura em série, há mais uma ligação mecânica ao eixo de transmissão, relativamente à estrutura paralela, existe mais uma máquina elétrica (o gerador acoplado ao MCI). O acoplamento mecânico das três máquinas pode ser efetuado através da inclusão de um sistema de engrenagens planetária. Os modos de funcionamento do sistema série/ paralelo podem ser concebidos como uma combinação dos modos de funcionamento dos sistemas em série e em paralelo separados.

Deve-se destacar que há um elevado número de modos de funcionamento nos veículos híbridos, tornando-os muito flexíveis; porém isso leva a um aumento na complexidade do sistema de propulsão, o que implica a necessidade de sistemas complexos de controle, bem como o desenvolvimento de sistemas de gestão dos fluxos de energia, capazes de otimizar a eficiência dos modos de operação.

1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

Realizar um estudo sobre a viabilidade da implantação de frotas de veículos híbridos e elétricos no Brasil, levando em conta as características de ambos os modelos, fatores políticos, econômicos, energéticos e ambientais; tendo como objetivo demonstrar a maior viabilidade do veículo híbrido no cenário atual.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte forma:

- **Capítulo 2:** Apresenta uma análise da atual situação energética brasileira, destacando-se: (1) aspectos da geração e consumo de energia elétrica; (2) aspectos da produção e distribuição de consumo de petróleo por setor; (3) atual distribuição de consumo de energia entre fontes renováveis e não renováveis; (4) o atual posicionamento brasileiro frente à independência energética; (5) estudo das emissões de CO_2, associadas à geração elétrica, que veículos elétricos teriam em território nacional; (6) impacto na demanda por energia elétrica gerado pelo possível crescimento de frotas de veículos elétricos.
- **Capítulo 3:** Apresenta a atual situação do setor de transportes no que se refere à frota, crescimento da frota, pavimentação das rodovias, conservação da pavimentação e distribuição modal.
- **Capítulo 4:** Análise de aspectos ambientais da matriz energética brasileira e emissões no setor de transportes.
- **Capítulo 5:** Apresenta um Estudo das características das baterias, reservas mundiais de lítio e as etapas de obtenção do mesmo, sendo analisado o quadro nacional frente à exploração de lítio.
- **Capítulo 6:** Apresenta uma análise da atual situação do petróleo brasileiro e políticas de exploração e consumo.
- **Capítulo7:** Neste capítulo são feitas discussões em torno das características, vantagens e desvantagens dos modelos de veículo elétrico e híbrido sendo apresentados alguns modelos existentes no mercado.

- **Capítulo 8:** Neste capitulo é realizada uma análise de viabilidade econômica dos modelos híbridos e elétricos para diversos cenários possíveis.
- **Conclusões:** Todos os fatores levantados ao longo do trabalho são analisados de modo a se chegar a uma conclusão a respeito de um possível mercado nacional dos modelos elétricos e híbridos elétricos procurando definir qual modelo apresenta uma viabilidade de mercado maior dentro do atual cenário econômico, político, ambiental e energético nacional.

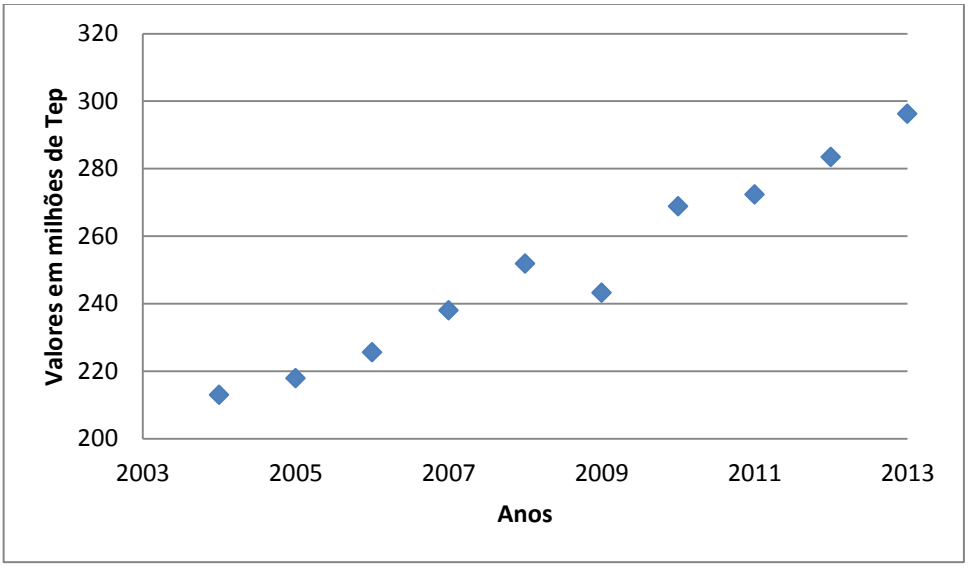
2 SITUAÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA

A matriz energética brasileira se caracteriza como uma das mais limpas do mundo, uma vez que grande parcela da energia utilizada no país é gerada através de fontes renováveis, principalmente hidráulica.

Segundo o relatório do balanço energético nacional de 2014 (BEN, 2014), em 2013 a oferta interna de energia foi de 296,2 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). Em relação ao ano de 2012, no qual a oferta interna de energia foi de 283,4 Mtep, houve um aumento de 12,8 Mtep, o que representou um crescimento em torno de 4,5% em relação ao ano anterior.

De forma geral verifica-se a tendência de crescimento da oferta interna total de energia no Brasil ao longo do tempo, como pode ser observado na Figura 5.

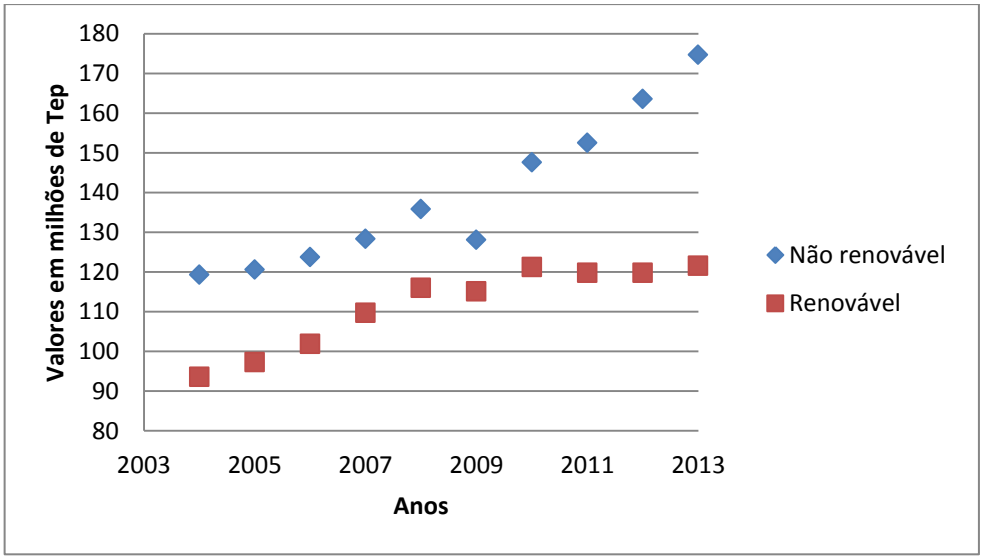
Figura 5: Comportamento da oferta total de energia interna no Brasil em função do tempo



Fonte: Adaptado de (BEN, 2014)
Nota: Tep-Toneladas equivalentes de petróleo

O crescimento da oferta interna de energia a partir de 2009 deveu-se praticamente ao crescimento da oferta interna de energia não renovável, pois a oferta interna de energia renovável não apresentou taxa expressiva de crescimento neste período, conforme pode ser observado na Figura 6.

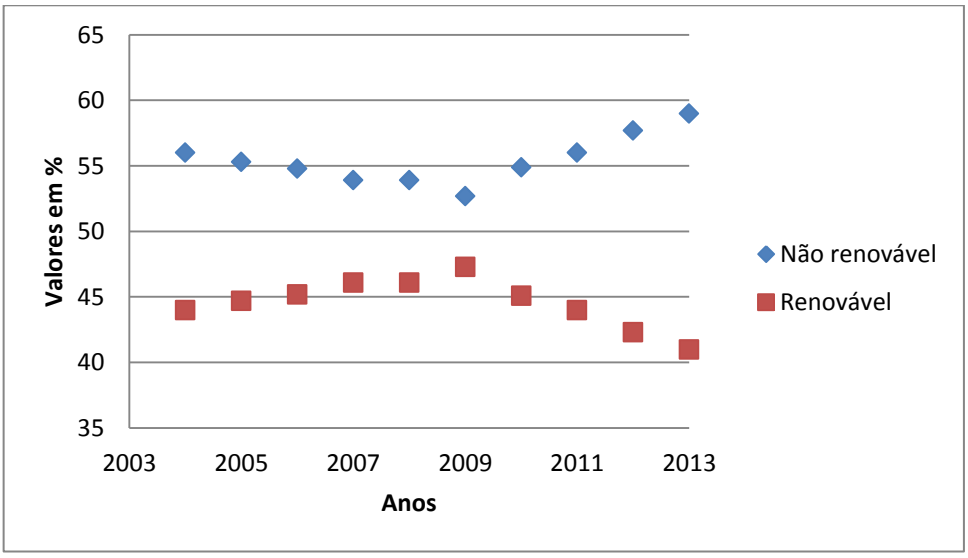
Figura 6: Evolução da oferta interna brasileira de energia renovável e não renovável



Fonte: Adaptado de (BEN, 2014)
Nota: Tep-Toneladas equivalentes de petróleo

Em termos de variação percentual, o relatório do balanço energético nacional de 2014 (BEN, 2014) demonstra um grande crescimento da participação da energia não renovável, em contraste com um decréscimo da energia renovável, na matriz energética brasileira a partir de 2009, como pode ser verificado pela análise da Figura 7.

Figura 7: Evolução da oferta interna brasileira de energia renovável e não renovável em valores percentuais



Fonte: Adaptado de (BEN, 2014)

Assim apesar de o Brasil ser historicamente um líder mundial na utilização de recursos energéticos renováveis a participação dos não renováveis apresenta tendência de crescimento, fato que leva a um crescimento das emissões de poluentes.

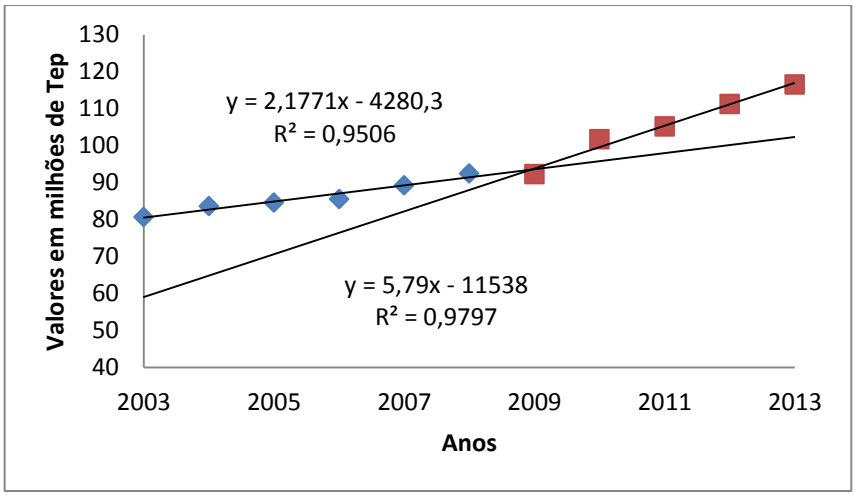
Da Figura 7 pode-se observar que a partir de 2009 houve um crescimento percentual praticamente linear, da participação de energia não renovável na matriz energética nacional, fechando o ano de 2013 com uma participação de 59%, contra 41% de participação da energia renovável.

Embora exista a tendência de aumento da participação de fontes não renováveis de energia, na matriz energética nacional, deve-se observar que o Brasil ainda apresenta uma taxa de utilização de fontes renováveis significativamente acima da média mundial, calculada em 13,2% pela Agência Internacional de Energia (BEN, 2013).

O crescimento observado na participação da energia não renovável na matriz energética nacional deve-se principalmente a utilização de gás natural, petróleo e derivados, que responderam por 97% do incremento de energia não renovável. O motivo do aumento na utilização de gás natural, petróleo e derivados é apontado como decorrente da redução da oferta interna de biomassa da cana (principalmente do etanol) e de hidroeletricidade (BEN, 2013).

A Figura 8 mostra a evolução temporal da oferta interna de petróleo, na qual se pode observar que a partir de 2009 ocorreu uma taxa de crescimento maior da oferta interna quando comparada com os anos anteriores.

Figura 8: Evolução da oferta interna brasileira de petróleo e derivados

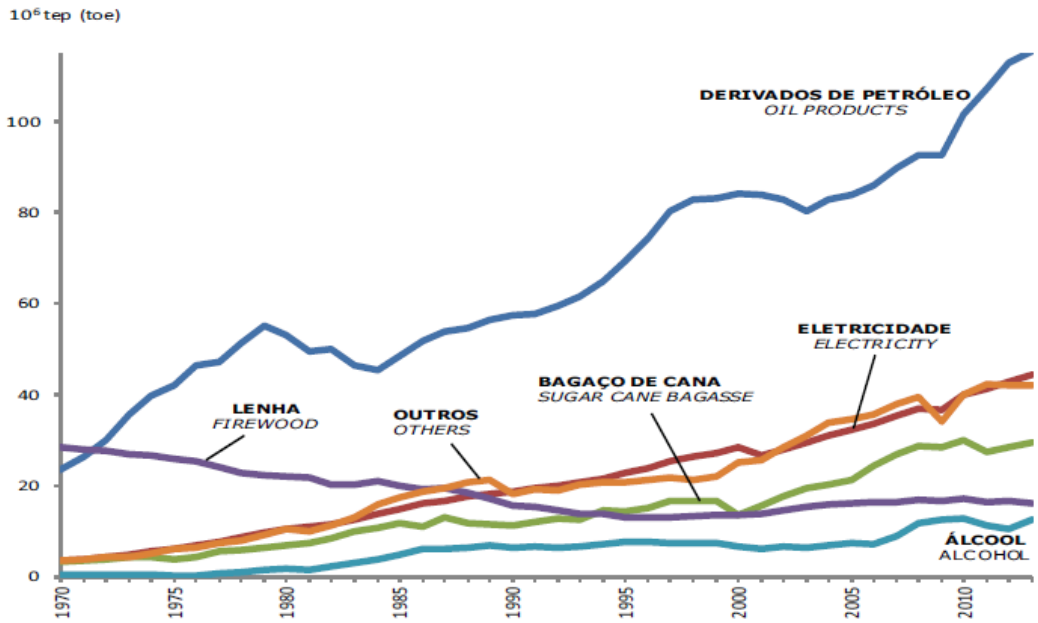


Fonte: Adaptado de (BEN, 2014)
Nota: Tep-Toneladas equivalentes de petróleo

O Ben (2014) apontou que entre todos os setores demandantes de energia, o segmento de transportes é o que lidera o crescimento da demanda, desta forma pode-se esperar um aumento no consumo de petróleo e derivados pelo setor de transportes nos próximos anos.

A Figura 9 apresenta o consumo final de energia no Brasil classificado por fonte. Pode-se verificar uma tendência de crescimento no consumo de praticamente todos os tipos de combustíveis, menos da lenha. Em termos de correlação linear, pode-se verificar que uma reta média, que descreva o crescimento do consumo final de petróleo ao longo do tempo, apresenta uma inclinação maior que retas médias que descrevam o crescimento do consumo final dos outros tipos de combustíveis. Esse fato evidencia uma tendência de crescimento relativo maior para o consumo de petróleo.

Figura 9: Evolução temporal do Consumo final de energia por fonte

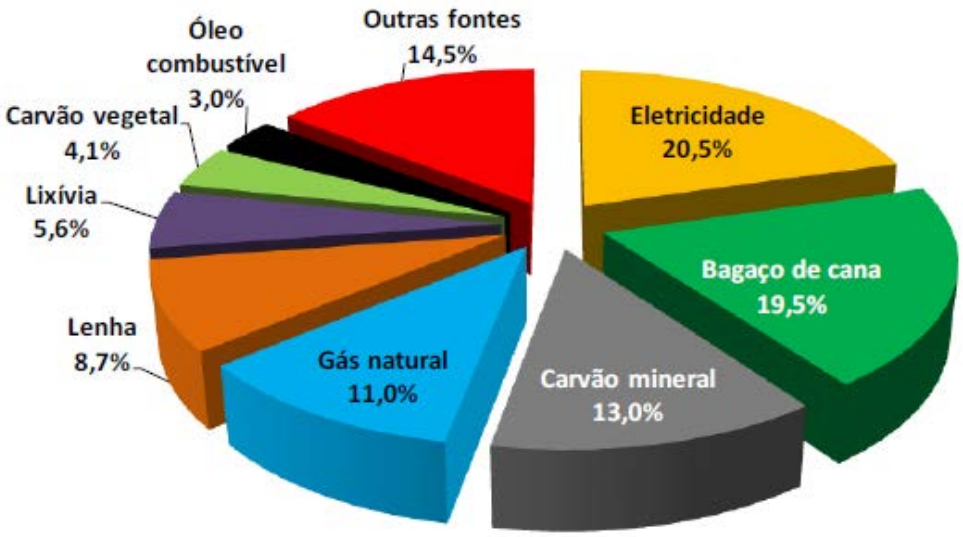


Fonte: (BEN, 2014)
Nota: tep-toneladas equivalentes de petróleo; toe-tons of oil equivalent

Em termos de consumo de energia o Ben (2014) concluiu que no ano de 2013, o setor industrial foi responsável por 33,9% do consumo final de energia, o setor de transportes teve participação de 32%, o setor residencial participou com 9,1%, o setor energético participou com 10%, o setor de serviços participou com 4,6% e o setor agropecuário participou com 4,1%, resultando em um consumo final energético de 93,7%. Desta forma os maiores demandantes de energia no Brasil são o setor industrial e o setor de transportes.

Os principais combustíveis utilizados no setor industrial no ano de 2012 são mostrados na Figura 10.

Figura 10: Distribuição do consumo de combustíveis no setor industrial



Fonte: (BEN, 2014)

Observa-se na Figura 10 que o setor industrial apresenta uma menor dependência de combustíveis fósseis em relação ao setor de transportes, portanto, esse setor é muito mais flexível em termos de fontes energéticas, o que possibilita uma maior utilização de fontes renováveis de energia (56% em 2013), o que leva as emissões desse setor serem menores que as emissões do setor de transportes.

2.1 ENERGIA ELÉTRICA.

A hidroeletricidade foi priorizada, no Brasil, desde a década de 1960, com a atuação da Eletrobrás, sendo a mais adequada fonte energética para produção de eletricidade no País. No contexto atual, é a fonte mais econômica em termos de custos da energia produzida.

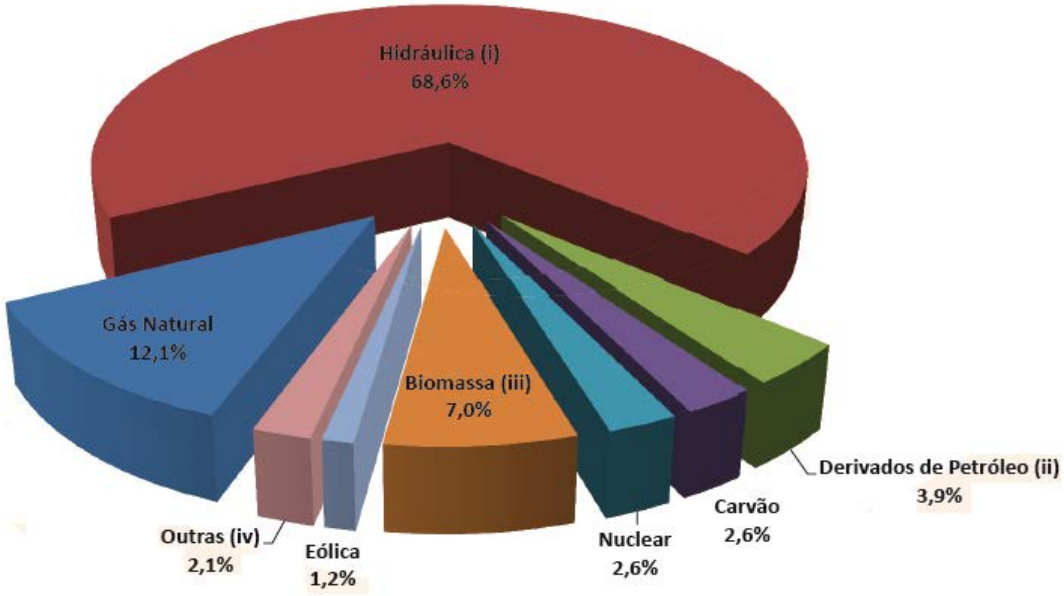
Segundo o Ben (2014) a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 570 TWh em 2013. Esse resultado representa um aumento percentual de 3,2% em relação à geração de energia elétrica no ano de 2012. A maior parcela da energia elétrica foi produzida por meio de fontes hidráulicas, porém em relação ao ano de 2012 essa parcela apresentou uma redução em torno de 5,9%.

A geração elétrica a partir de não renováveis representou 20,7% do total nacional, contra 15,5% em 2012. Importações líquidas de 39,9 TWh, somadas à geração interna, permitiram uma oferta interna de energia elétrica de 609,9 TWh, montante 2,9% superior a 2012. O consumo final foi de 516,3 TWh, um acréscimo de 3,6% em comparação com 2012 (BEN, 2014).

A oferta interna de energia elétrica deve ser maior que o consumo total final, devido às perdas na rede e a necessidade de uma margem de segurança na oferta em relação à demanda estimada. Para o ano de 2013 as perdas totais na rede foram de 16,8% e para os anos anteriores variaram entre 16,4 a 17,7%, de acordo com o Anuário estatístico de energia elétrica (2014).

De acordo com o Anuário estatístico de energia elétrica (2014) conclui-se que atualmente a participação da geração hidráulica está abaixo de 70%, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11: Geração de energia elétrica por fonte em 2013

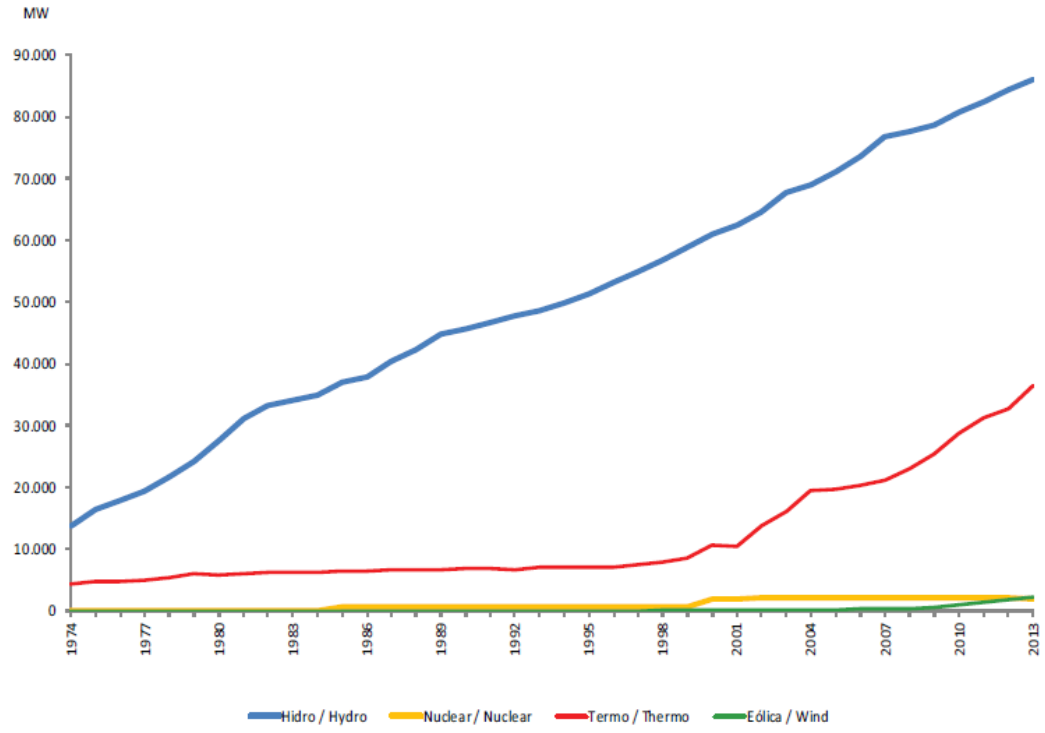


Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica 2014
Notas: i) inclui autoprodução
ii) Oléo diesel e óleo combustível
iii) Lenha, bagaço de cana e lixívia
iv) Recuperações, gás de coqueria e outros secundários

Quando comparado com anos anteriores observa-se uma significativa redução na participação da fonte hidráulica na oferta interna de energia elétrica, que segundo o Ben (2013) foi de 76,9% em 2012 (incluindo importações de energia).

O Balanço energético nacional de 2014, Ben (2014), apontou ainda uma grande tendência de aumento da geração de energia elétrica por meio de termelétricas no país, fato que pode ser observado na Figura 12.

Figura 12: Capacidade instalada de geração elétrica por fonte



Fonte: (BEN, 2014)

Segundo Amorim e Bahnemann (2014) a participação das termoelétricas a diesel e óleo combustível teve um crescimento percentual de 286 % de 2011 a 2013. O crescimento da participação das termelétricas deve-se essencialmente ao rápido crescimento da demanda elétrica e a baixa nos reservatórios das usinas hidrelétricas, decorrente de períodos com escassez de chuvas, levando o governo a usar mais térmicas para poupar água nos reservatórios e evitar racionamento.

De acordo com Borges (2014), o acionamento das termelétricas, para cobrir demandas de energia elétrica decorrentes de baixa nos reservatórios das usinas hidrelétricas, está levando as usinas termelétricas à exaustão operacional, pois o projeto inicial previa que essas usinas entrassem em funcionamento somente para atender demandas emergenciais de energia elétrica, operando entre 8 e 10 % do ano, porém atualmente estão operando em torno de 70% do ano.

Borges (2014) destaca ainda que a geração térmica corresponde atualmente a 25 % da geração de energia no país (Dado referente a outubro de 2014) e que não existe tendência de diminuição da participação das termelétricas para os próximos anos devido a atual crise hídrica.

De fato o Anuário estatístico de energia elétrica (2014) aponta para um grande aumento da capacidade instalada de usinas termelétricas, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW)

	2009	2010	2011	2012	2013	Δ% (2013/2012)	Part. % (2013)
Total	**110.444**	**116.383**	**117.135**	**121.104**	**126.743**	**4,7**	**100**
Usinas Hidrelétricas	76.781	78.610	78.371	79.753	81.092	1,7	64,0
Usinas Termelétricas	27.481	30.784	31.244	32.908	36.528	11,0	28,8
PCH	3.400	3.868	3.870	4.302	4.656	8,2	3,7
CGH	173	185	216	240	270	12,6	0,2
Usinas Nucleares	2.007	2.007	2.007	2.007	1.990	-0,8	1,6
Usinas Eólicas	602	928	1.426	1.893	2.202	16,7	1,7
Solar	0	1	1	2	5	2,5	0,0

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica (2014)
Nota: PCH – Pequena Central Hidrelétrica
CGH – Central Geradora Hidrelétrica

Conclui-se pela análise da Tabela 1 que em 2013, 28,8 % da capacidade de geração elétrica instalada correspondia a termelétricas, existindo ainda uma tendência de aumento relativo maior para a capacidade instalada de usinas termelétricas em relação a usinas hidrelétricas nos últimos anos, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Crescimento percentual da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil

Intervalo de anos	Hidrelétricas (%)	Térmicas (%)	PCH (%)	CGH (%)	Nucleares (%)	Eólicas (%)
2009-2010	2,38	12,02	13,79	6,94	0,00	53,99
2010-2011	-0,30	1,49	0,03	16,76	0,00	53,72
2011-2012	1,76	5,33	11,16	11,11	0,00	32,35
2012-2013	1,68	11,00	8,23	12,50	-0,85	16,76

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Tabela 1
Nota: PCH – Pequena Central Hidrelétrica; CGH – Central Geradora Hidrelétrica

Da Tabela 2 pode-se observar a grande taxa de crescimento anual da capacidade instalada de geração termelétrica em contraste com o pequeno crescimento da capacidade instalada de geração hidroelétrica, a geração a partir de PCH, CGH e Eólicas são as que apresentam a maiores taxas de crescimento anual, contudo sua participação da geração total de energia elétrica ainda é pequena, como pode ser visto na Tabela 1.

Desta forma, o aumento do consumo final de eletricidade tem sido atendido pela geração termelétrica, especialmente das usinas movidas a gás natural. Como decorrência houve aumento das perdas na transformação (o rendimento da planta térmica na conversão de energia é bastante inferior ao da usina hidrelétrica), elevação do custo de produção de energia e aumento das emissões de gases de efeito estufa associados à geração elétrica.

A Figura 12 e as Tabelas 1 e 2 mostram também uma estagnação na utilização de energia nuclear para geração elétrica no país e uma tendência de crescimento da geração eólica a partir de 2009. Contudo apesar da alta taxa de crescimento da participação da geração eólica o montante de eletricidade gerada a partir dessa fonte é ainda bastante baixo, para se ter uma ideia, em 2013 a capacidade instalada de geração eólica atingiu 2202 MW. Isso representa uma participação total na geração elétrica de 1,7 %, valor bastante baixo para um país com grande potencial eólico como o Brasil.

O potencial hidrelétrico brasileiro está estimado em torno de 260 GW. Atualmente pouco mais de 30 % (81,1 GW conforme pode ser visto na Tabela 1) desse potencial é explorado. O potencial a aproveitar, excluindo-se o potencial avaliado a partir de cálculos teóricos sem a identificação do barramento, está em torno de 126 GW, desse total mais de 70% encontra-se nas Bacias do Amazonas e do Tocantins/Araguaia, de forma que a utilização esbarra em questões ambientais e legais, devido ao fato dessas áreas serem de preservação ambiental e algumas delas estarem em Terras indígenas.

Esse fator é bastante preocupante, pois cenários tendenciais realizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no Plano nacional de energia 2030 (2007), apontam que o consumo de energia elétrica em 2030 estará entre 950 e 1250 TWh/ano (ou seja, o consumo de 2030 poderá ser acima do dobro do consumo atual) o que exigirá a instalação de um potencial de geração adicional. Este cenário demonstra a limitação do potencial hidrelétrico nacional, assim, outras fontes além da hídrica, deverão compor a geração elétrica em longo prazo.

Frente a grande tendência de aumento da demanda elétrica, já existem muitas plantas de geração em construção no país. A Tabela 3 apresenta as plantas em construção no país no ano de 2013, segundo o Anuário estatístico de energia elétrica (2014).

Tabela 3: Plantas de geração elétrica em construção no Brasil no ano de 2013

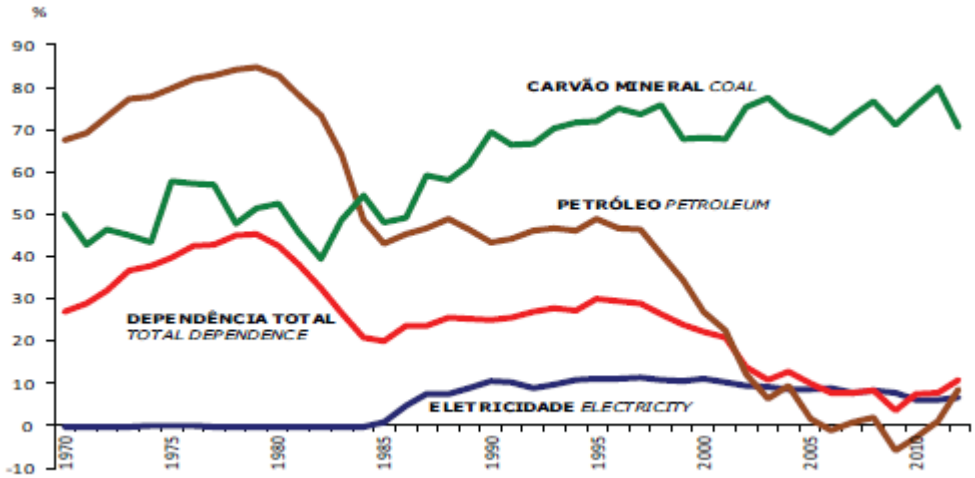
	Usinas	Potência Outorgada (MW)	Part. % (2013)
Total	**147**	**19.816**	**100,0**
Usina Hidrelétrica	7	14.061	71,0
Central Eolielétrica	91	2.291	11,6
Usina Termelétrica	17	1.783	9,0
Usina Termonuclear	1	1.350	6,8
Pequena Central Hidrelétrica	30	330	1,7
Central Hidrelétrica	1	1	0,0

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica (2014)

2.2 INDEPENDÊNCIA ENERGÉTICA

O Ben (2013) aponta que o país não é independente externamente em relação à energia elétrica desde o ano de 1985. A Figura 13 mostra a parcela percentual de importação de energia por tipo de combustíveis para o Brasil ao longo do tempo.

Figura 13: Dependência externa de energia

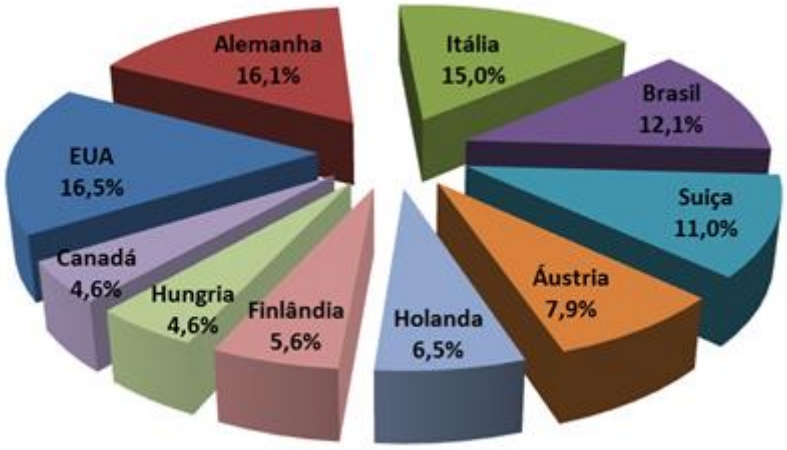


Fonte: (BEN, 2013)

Observa-se da Figura 13 um crescimento na dependência de carvão mineral em contraste com a queda na dependência por petróleo e derivados (fato que ocorreu devido às descobertas de petróleo na camada pré-sal). Em termos totais observa-se o aumento da independência energética do país, porém a dependência na importação de energia elétrica apresenta tendência de se manter entre 5 e 10% , conforme pode ser verificado na Figura 13.

Em termos de importação de energia elétrica o Anuário estatístico de energia elétrica (2014), aponta o Brasil como um dos 10 maiores países importadores de energia elétrica em 2011, conforme pode ser observado na Figura 14.

Figura 14: Dez maiores países que importaram energia elétrica em 2011



Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica (2014)
Nota: o total importado por esses 10 países foi de 316 TWh

O país precisa importar energia elétrica, pois ainda não consegui suprir a demanda do mercado, que apresenta uma taxa de crescimento maior que a taxa de crescimento da capacidade de produção, levando à necessidade de importação de energia elétrica de parceiros do MERCOSUL (Venezuela, Bolívia, Argentina, Paraguai e Uruguai). Atualmente o país importa em torno de 6,5 % do total de energia elétrica ofertada no território nacional. A necessidade de importação de energia elétrica demonstra que o sistema elétrico brasileiro está operando no limite (BEN, 2014).

2.3 IMPLICAÇÕES DO ATUAL CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO SOBRE POSSÍVEIS FROTAS DE VEÍCULOS HÍBRIDOS E ELÉTRICOS.

Analisando o cenário da geração elétrica é esperado que um aumento da geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis ocorra nos próximos anos, devido ao aumento acelerado da demanda, devido a períodos com escassez de chuvas e devido à dificuldade em se expandir o parque hidrelétrico nacional.

A situação brasileira de geração de energia elétrica encontra-se atualmente em um limite, no qual o país precisa acionar todas as térmicas, em períodos nos quais a energia elétrica deveria ser fornecida quase que exclusivamente pelas hidrelétricas (meses normalmente chuvosos), além do fato do país precisar importar atualmente em torno de 6,5 % de energia elétrica para cobrir a demanda.

Alguns autores questionam se o crescimento do consumo elétrico, provocado pelo crescimento da frota nacional de veículos elétricos, levaria ou não à necessidade da geração de energia elétrica adicional e replanejamento de linhas de transmissão locais para o atendimento desta demanda específica.

Alguns defendem que o crescimento da frota de veículos elétricos deve acontecer tão lentamente que o aumento de demanda por energia elétrica será naturalmente incorporado ao aumento da demanda nacional e estará dentro da margem de segurança de oferta do Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS), não sendo necessário, desta forma, planejar a geração e distribuição de energia elétrica incluindo o aumento na demanda provocado pelo possível crescimento da frota nacional de veículos elétricos.

Para uma análise melhor fundamentada do aumento da demanda por energia elétrica, provocado pelo aumento da frota de veículos elétricos, foram construídos, neste trabalho, cenários tendenciais do crescimento da frota nacional de automóveis, do crescimento do consumo elétrico nacional e de possíveis crescimentos da frota de veículos elétricos.

2.3.1 Aumento na demanda elétrica resultante da recarga de baterias de frotas de veículos elétricos.

Para se verificar qual seria a demanda por energia elétrica, para recarga de baterias de uma frota nacional de veículos elétricos, um cenário de aumento do consumo elétrico nacional foi construído tomando-se como referência os consumos de energia elétrica nacional do ano de 2009 até o ano de 2013, conforme mostrado na Tabela 4.

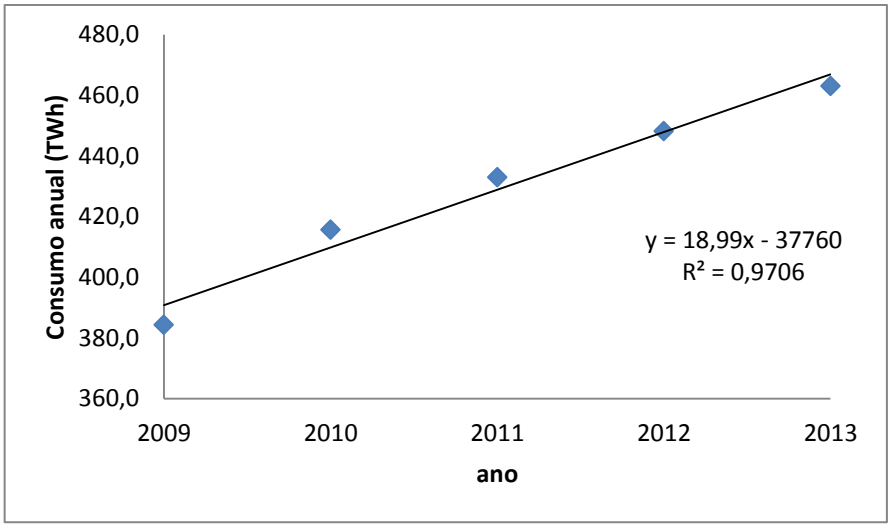
Tabela 4: Consumo elétrico nacional por ano

ano	Consumo anual (TWh)
2009	384,3
2010	415,7
2011	433,0
2012	448,2
2013	463,0

Fonte: Adaptado do Anuário estatístico de energia elétrica (2014)

Os valores de consumo de energia elétrica da Tabela 4 foram então plotados em função do tempo em anos e um modelo linear foi utilizado para correlacionar os dados. O resultado é mostrado na Figura 15.

Figura 15: Crescimento do consumo nacional de energia elétrica em função do tempo

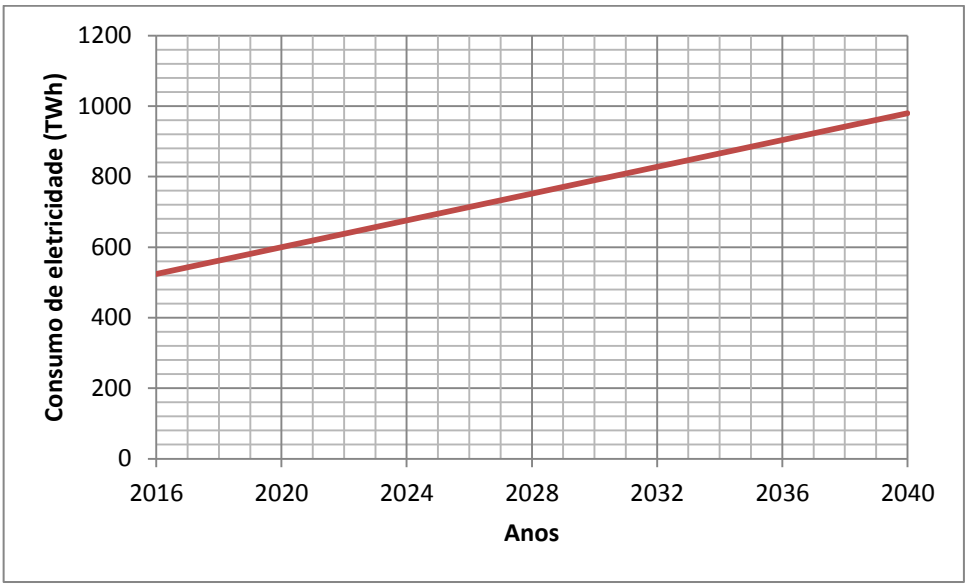


Fonte: Elaboração própria

Observando a Figura 15 pode-se ver que existe uma boa correlação linear entre o tempo em anos e o consumo nacional de energia elétrica (R^2 = 0,97), validando dessa forma a utilização de um modelo linear para o comportamento do consumo de energia elétrica em função do tempo.

A equação que correlaciona o consumo de energia elétrica em função do tempo (Figura 15) foi utilizada para se prever o aumento do consumo elétrico nacional a partir do ano 2016 até o ano de 2040, tal resultado encontra-se na Figura 16.

Figura 16: Previsão do consumo nacional de energia elétrica até o ano de 2040



Fonte: Elaboração própria

Outro dado importante para estimar a demanda de energia elétrica para recarga de veículos elétricos é o crescimento da frota de automóveis em função do tempo. Para a construção do modelo de crescimento da frota nacional de automóveis até o ano de 2040, foram utilizados dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2015) do ano de 2007 até o ano de 2014, conforme mostrado na Tabela 5.

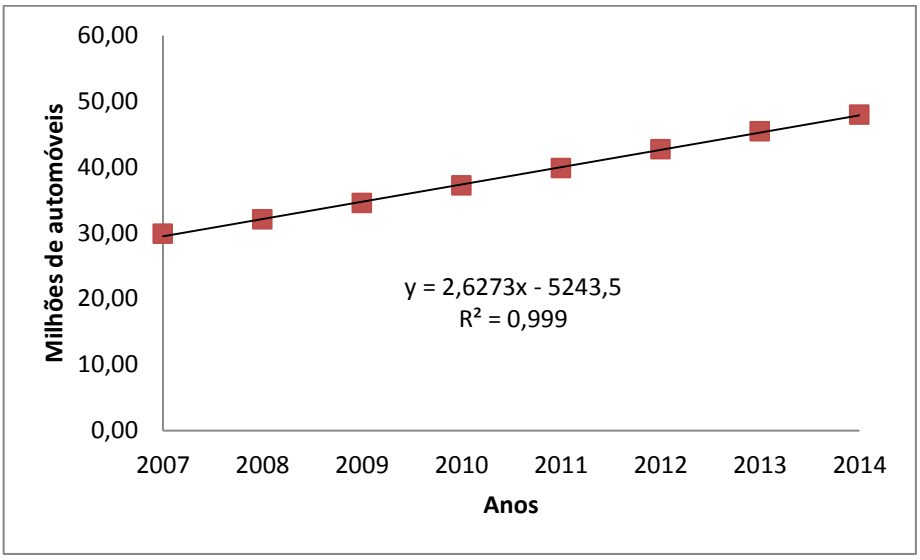
Tabela 5: Crescimento da frota nacional de automóveis de 2007 a 2014

Anos	Frota
2007	29851610
2008	32054684
2009	34536667
2010	37188341
2011	39832919
2012	42682111
2013	45444387
2014	47946665

Fonte: Adaptado do (DENATRAN, 2015)

Com os dados da Tabela 5 plotou-se a frota em função do tempo e um modelo linear foi utilizado para correlacionar os dados, obtendo-se o resultado apresentado na Figura 17.

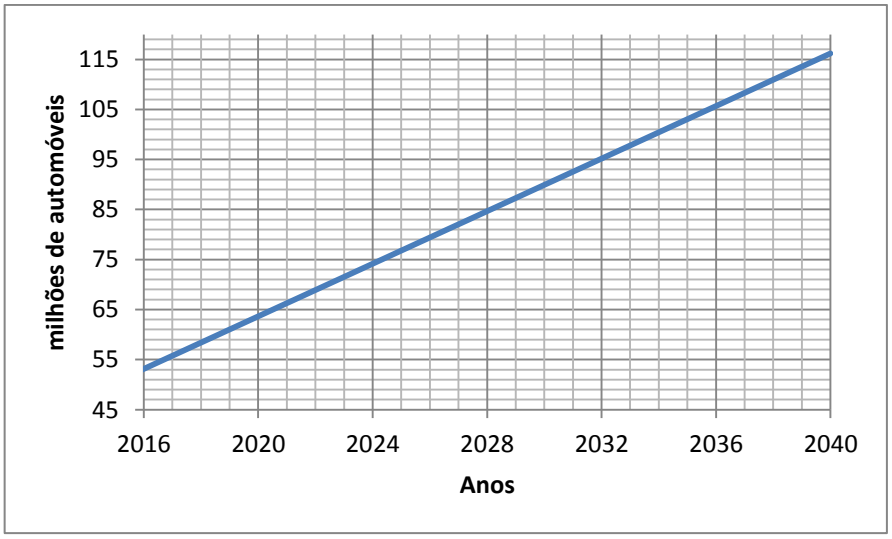
Figura 17: Crescimento da frota nacional de automóveis de 2007 a 2014



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (DENATRAN, 2015)

Observa-se da Figura 17 que houve uma correlação linear praticamente perfeita entre a frota nacional de automóveis e o tempo (R^2= 0,999). Com a equação de correlação obtida modelou-se o crescimento da frota nacional de automóveis do ano 2016 até o ano de 2040. O resultado é mostrado na Figura 18.

Figura 18: Previsão de crescimento da frota nacional de automóveis até o ano de 2040



Fonte: Elaboração própria

Para a construção de um modelo de demanda elétrica, para recarga de baterias de frotas de veículos elétricos, foram utilizados os dados do modelo Leaf da Nissan (maiores informações sobre este modelo encontram-se no capítulo 7). O Nissan Leaf é um modelo puramente elétrico que, segundo informações de catálogo (NISSAN, 2014), percorre 199 km a cada recarga, sendo a capacidade de carga da bateria igual a 24 kWh.

A energia acumulada na bateria e a autonomia do Nissan Leaf permitem calcular o consumo de energia por quilômetro (eficiência energética), segundo a equação (1).

$$E_K = \frac{\text{Capacidade de carga}}{\text{Autonomia}} = \frac{24\ \text{kWh}}{199\ \text{km}} = 0{,}1206\,\frac{\text{kWh}}{\text{km}} \qquad (1)$$

Em que:

E_K - energia elétrica consumida por quilômetro rodado [kWh/km]

Desta forma um modelo de Veículo elétrico similar ao Nissan Leaf (modelo de maior aceitação de mercado em países como Portugal e Estados Unidos) consome apenas 0,1206 kWh a cada quilômetro rodado.

Para se comparar o consumo de energia elétrica com recarga de frotas de veículos elétricos com o consumo de energia elétrica nacional é necessário calcular o consumo de energia elétrica anual de um modelo de veículo elétrico, pois os dados de consumo de energia elétrica são normalmente apresentados de forma anualizada em anuários estatísticos.

Para se calcular o consumo de energia elétrica anual de um modelo de veículo elétrico deve-se conhecer a quilometragem percorrida anualmente pelo modelo. Segundo dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a média anual de quilômetros percorridos por automóveis no Brasil é de 15 000 km/ano (BRUNI; BALES, 2013).

Desta forma, supondo que um veículo elétrico, circulando em território nacional, percorra a quilometragem média anual dos veículos convencionais, pode-se calcular o gasto médio anualizado de energia elétrica com recarga de bateria como mostrado na equação (2).

$$E_{anual} = E_K . Q_a = 0{,}1206\,\frac{\text{kWh}}{\text{km}} . 15000\,\frac{\text{km}}{\text{ano}} = 1809\,\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \qquad (2)$$

Em que:

E_{anual} – gasto anual de energia elétrica com recarga de bateria [kWh/ano]

Q_a – quilometragem anual percorrida [km/ano]

A comparação do gasto de energia elétrica de uma frota de veículos elétricos com o consumo nacional de energia elétrica foi feita supondo-se quatro possíveis cenários de crescimento da frota de veículos elétricos em território nacional. Em todos os quatro cenários de crescimento da frota de veículos elétricos foi suposto que no início de 2016 a frota tem valor insignificante e que a partir de 2016 ocorrerá um crescimento gradual, em termos de uma taxa percentual do total de automóveis emplacados a cada ano, seguindo o modelo de crescimento da frota de automóveis adotado neste trabalho (Figura 18).

A seguir é dada a descrição dos quatro cenários de crescimento de frotas de veículos elétricos:

- **Cenário 1:** Supõe-se um crescimento de 2% ao ano na participação percentual dos veículos elétricos em relação a quantidade média de novos automóveis emplacados a cada ano, ou seja: em 2016 a frota é zero; em 2017 a frota é de 2% dos automóveis emplacados em 2017; em 2018 a frota é igual àquela existente em 2017 mais 4% da frota de novos automóveis emplacados em 2018, e assim por diante, sempre adicionando 2% na taxa de crescimento anual e sempre somando a frota do ano anterior.
- **Cenário 2:** Os mesmos pressupostos do cenário 1, contudo, com uma taxa de crescimento de 3% ao ano.
- **Cenário 3:** Os mesmos pressupostos do cenário 1, contudo, com uma taxa de crescimento de 4%.
- **Cenário 4:** Os mesmos pressupostos do cenário 1, contudo, com uma taxa de crescimento de 5%.

A quantidade de novos automóveis emplacados a cada ano, no modelo de crescimento adotado (Figura 18), é de 2,6273 milhões. O modelo matemático utilizado para calcular a frota de veículos elétricos em função do tempo em anos, para cada um dos quatro cenários de crescimento propostos é mostrado na equação (3).

$$M_n = 2{,}6273. \sum_{j=2016}^{n-1} (n - j).i \quad (3)$$

Em que:

n – anos a partir de 2017 ($2017 \leq n \leq 2040$)

i – taxa de crescimento da frota de veículos elétricos: i = 2% para o cenário 1; i = 3% para o cenário 2; i = 4% para o cenário 3; i = 5% para o cenário 4.

M_n – quantidade de veículos elétricos, em milhões de veículos, para um determinado ano entre 2017 e 2040.

A frota de veículos elétricos foi calculada, utilizando-se a equação (3), para cada um dos cenários de crescimento propostos e foi comparada com a frota nacional de veículos prevista para cada ano (Figura 18). A equação utilizada é apresentada a seguir:

$$\%VE_n = \left(\frac{M_n}{F_n}\right).100\% \quad (4)$$

Em que:

$\%VE_n$ – porcentagem de veículos elétricos em relação à frota nacional

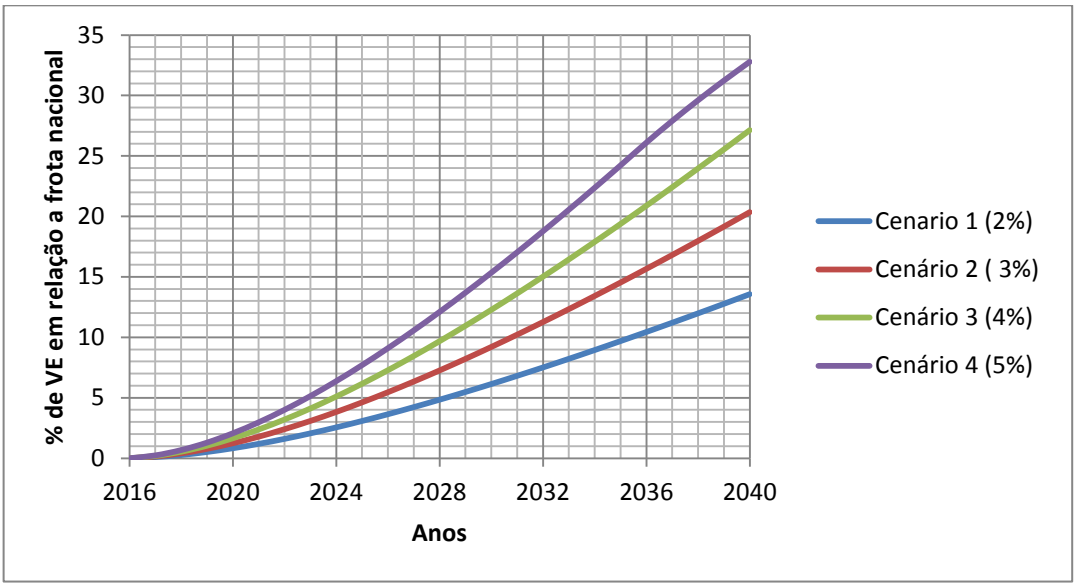
F_n – frota nacional, em milhões de automóveis

Na equação (4) a frota nacional em função do ano (n) é dada por:

$$F_n = 2{,}6273.n - 5243{,}5 \quad (5)$$

Os resultados obtidos para cada um dos cenários são apresentados na Figura 19.

Figura 19: Frota de veículos elétricos, em relação à frota nacional, de 2016 até 2040 para os cenários de crescimento propostos



Fonte: Elaboração própria
Nota: VE - Veículo Elétrico

A Figura 19 proporciona uma ideia de como deve ser o crescimento anual da frota de veículos elétricos para que em um determinado ano essa frota represente uma determinada taxa percentual da frota nacional. Por exemplo, para que em 2040, 20% da frota nacional de automóveis, seja de veículos elétricos deve-se ter um incremento em torno de 3% na taxa de crescimento percentual da frota de veículos elétricos em relação aos novos veículos emplacados a cada ano, ou seja, 3% dos veículos emplacados em 2017 deverão ser elétricos, 6% dos veículos emplacados em 2018 deverão ser elétricos, e assim por diante, sempre adicionando 3% na taxa de crescimento percentual a cada ano.

O consumo de energia elétrica da frota de veículos elétricos para um determinado ano (n) e um determinado cenário de crescimento percentual (i) foi modelado multiplicando-se a equação (3) pelo resultado obtido na equação (2) e posteriormente dividindo por 1000, para obter a energia elétrica em TWh, conforme a equação (6).

$$E_n = 4{,}753. \sum_{j=2016}^{n-1} (n - j).\, i \qquad (6)$$

O consumo de energia elétrica da frota de veículos elétricos para um determinado ano (n) em relação ao consumo de energia elétrica nacional, para o mesmo ano, é dado por:

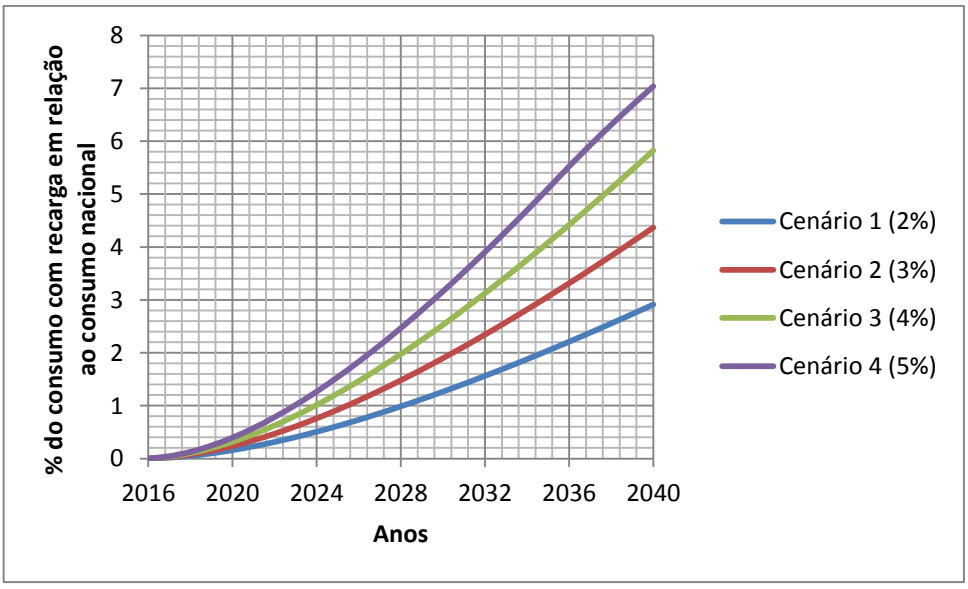
$$\%E_n = \left(\frac{E_n}{C_n}\right) . 100\% \quad (7)$$

Em que C_n é o consumo de energia elétrica nacional, modelado na Figura 15 e dado pela equação (8).

$$C_n = 18{,}99.n - 37760 \quad (8)$$

Utilizando a equação (7) para os quatro cenários de crescimento propostos obteve-se o resultado mostrado na Figura 20.

Figura 20: Participação percentual no consumo nacional de energia elétrica por frotas de veículos elétricos



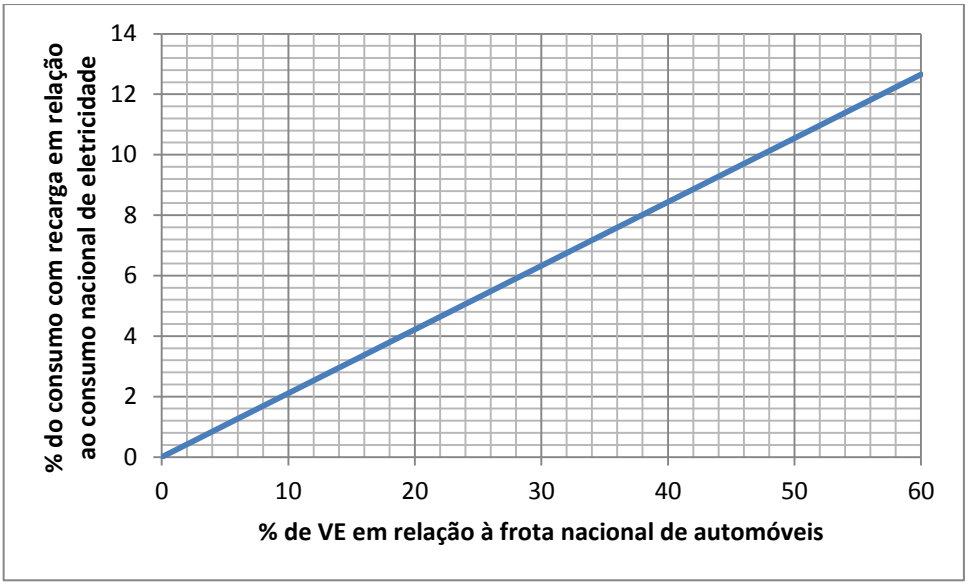
Fonte: Elaboração própria

Tendo em conta que nos últimos anos o sistema elétrico brasileiro tem operado no limite e estipulando que demandas acima de 1% da demanda nacional levam à necessidade de incluir os veículos elétricos no planejamento da geração e distribuição de energia elétrica, conclui-se pela Figura 20 que mesmo no menor cenário de crescimento (cenário 1: Figura 19) há a necessidade de incluir os veículos elétricos no planejamento da geração de energia elétrica a partir de 2028.

Na mesma linha de raciocínio do parágrafo anterior conclui-se que para haver um crescimento similar ao cenário 2 (Figura 19) é preciso levar em conta o crescimento da frota de veículos elétricos no planejamento da demanda elétrica nacional a partir de 2025. Para um cenário de crescimento maior, típico do cenário 4 (Figura 19), há a necessidade de ampliação da oferta elétrica para atender à frota de veículos elétricos a partir de 2023.

Para os modelos de crescimento do consumo de energia elétrica e da frota nacional adotados neste trabalho, pode-se estimar a participação percentual da energia elétrica gasta com recarga em relação ao consumo elétrico nacional para qualquer ano, por meio da Figura 21.

Figura 21: Relação entre o crescimento da frota de Veículos elétricos e o consumo de eletricidade a nível nacional



Fonte: Elaboração própria

Da Figura 21 se conclui que para cada incremento de 5% de veículos elétricos na frota nacional ocorre, em média, um incremento de 1% na demanda nacional de energia elétrica para recarga de bateiras. Assim o crescimento da demanda elétrica para recarga de baterias pode ser desprezado apenas se o crescimento da frota de veículos elétricos for bastante baixo, levando a uma frota de veículos elétricos não superior a 5% da frota nacional para um determinado ano.

Caso se queira um crescimento mais expressivo da frota de veículos elétricos em relação à frota nacional para um determinado ano, por exemplo: 20% da frota nacional em 2030, deve-se planejar a geração elétrica para atender ao crescimento dessa demanda específica, uma vez que para essa participação percentual a demanda elétrica para recarga de baterias estaria em torno de 4% da demanda elétrica nacional (conforme Figura 21).

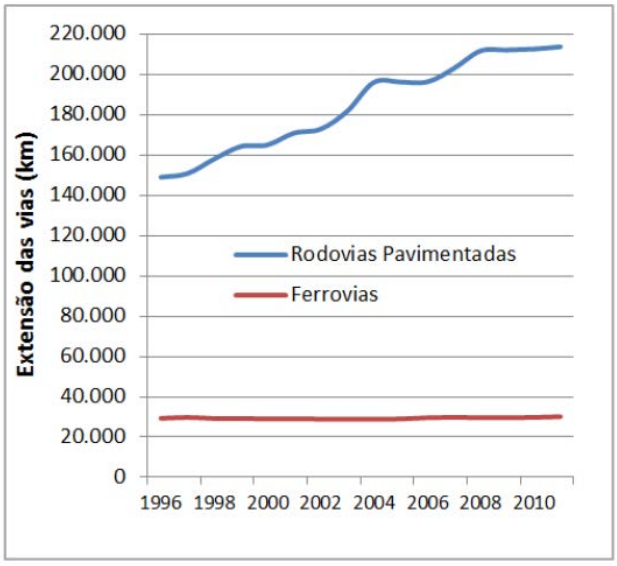
3 SETOR DE TRANSPORTES

3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DO SETOR DE TRANSPORTES

Historicamente até a década de 30 houve no Brasil uma forte influência da indústria ferroviária inglesa, o que levou à construção de mais de 30 mil quilômetros de vias férreas com o objetivo de exportação de produtos primários, principalmente o café. Após a crise de 1929 e com a segunda guerra mundial ocorreu um crescimento da industrialização no Brasil, o que levou a necessidade de construção de estradas para atender a distribuição dos produtos fabricados na região sudeste ao resto do país. Porém o grande crescimento da rede rodoviária ocorreu a partir da segunda metade da década de 1950, motivado pela expansão da indústria automobilística.

De acordo com o Plano Nacional de Logística e Transportes de 2012 (PNLT, 2012) de 1940 a 1970 houve uma expansão da rede rodoviária de 185 mil quilômetros para 1,5 milhão de quilômetros, incluindo vias pavimentadas e não pavimentadas. A malha rodoviária pavimentada continua sendo incrementada, e aumentou 43% entre 1996 e 2011. Considerando o mesmo intervalo temporal, a rede ferroviária em atividade no país, mesmo com a revitalização decorrente da concessão à iniciativa privada da operação de grande parte da malha para transporte de cargas, continuou estacionada em torno dos 30 mil quilômetros, como pode ser observado pela análise da Figura 22.

Figura 22: Extensão das malhas rodoviária e ferroviária



Fonte: (PNLT, 2012)

3.2 DISTRIBUIÇÃO MODAL DO SETOR DE TRANSPORTES E AUMENTO DA FROTA CIRCULANTE NO MODAL RODOVIÁRIO

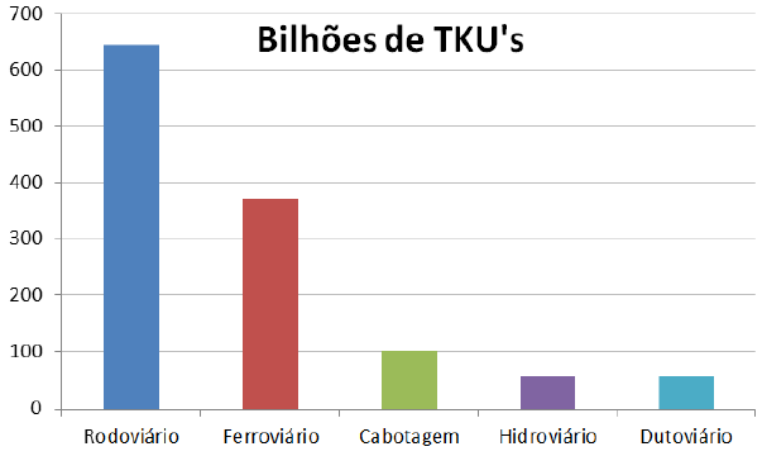
A estrutura do setor de transportes pode ser caracterizada pelos modais que a compõe, são eles: rodoviário, ferroviário, aquaviário, aeroviário e dutoviário. A distribuição destes modais em uma economia tem diversos impactos no que diz respeito à integração do espaço e mercados, a eficiência com que esta integração se dá (em termos de velocidade, flexibilidade e gasto de energia), além da comodidade, e impacto ambiental, são determinantes em grande parte da qualidade de vida de uma determinada região (MORAES, 2005).

A escolha do modal pelo consumidor está condicionada a um conjunto de fatores tais como: preço, comodidade, existência de infraestrutura de vias e qualidade dessa infraestrutura. O modal rodoviário é atualmente predominante em todas as partes do mundo e tende a permanecer assim, no entanto, os países têm estruturas modais características, que dependem da sua estratégia de desenvolvimento, do perfil de industrialização, além da disponibilidade de recursos energéticos e características geográficas (MORAES, 2005).

O setor de transportes brasileiro apresenta uma distribuição modal desbalanceada em favor do transporte rodoviário. A participação do modal rodoviário na matriz de transportes brasileira é atualmente de 52 % da carga movimentada (PNLT, 2012).

A Figura 23 apresenta a distribuição modal do transporte brasileiro no ano de 2011, os percentuais de participação de cada modal foram estimados em função das quantidades toneladas-quilômetro-úteis (TKUs).

Figura 23: Distribuição modal da matriz brasileira de transporte regional de cargas

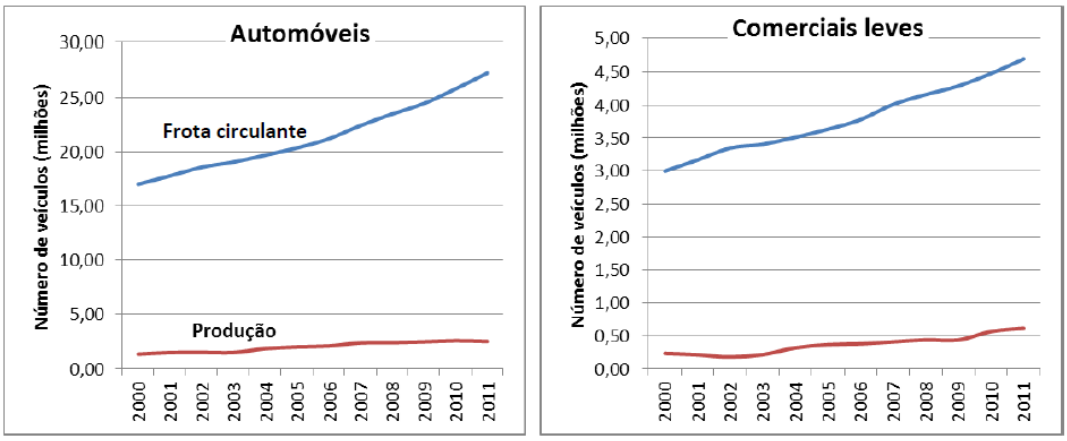


Fonte: (PNLT, 2012)

Em termos de custos logísticos e emissões de gases de efeito estufa, uma matriz com maior participação de modais não rodoviários é desejável. A matriz de transportes brasileira configura-se num quadro de desvantagens comparativas em termos de competitividade internacional dos produtos de exportação, visto que se elevam os seus custos de transporte, o que incide, negativamente, nos custos logísticos totais. No Brasil, os custos logísticos representam, em média, 20% do valor do Produto Interno Bruto (PIB) isso demonstra a importância de dar maior eficiência ao setor de transportes (PNLT, 2012).

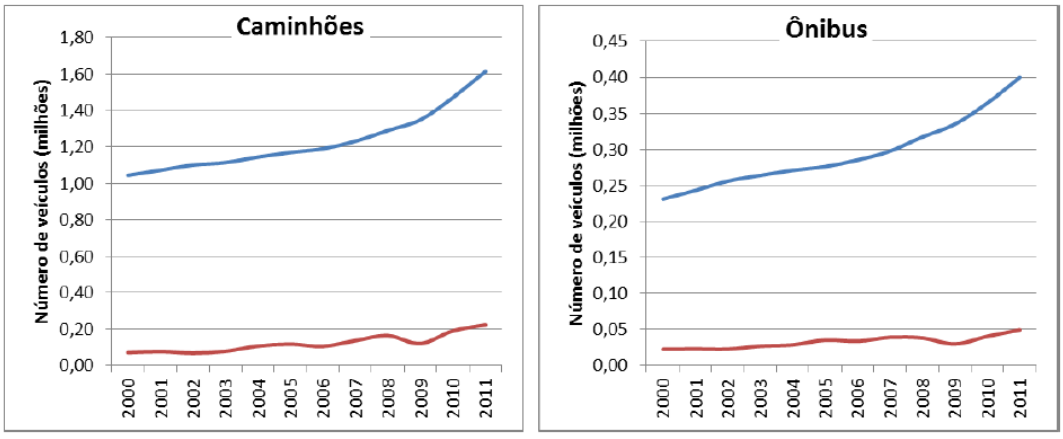
No modal rodoviário observa-se que a frota circulante de veículos no território nacional tem apresentado uma elevada taxa de crescimento, como pode ser verificado pela análise das Figuras 24 e 25.

Figura 24: Evolução da produção e da frota circulante de veículos leves



Fonte: (PNLT, 2012)

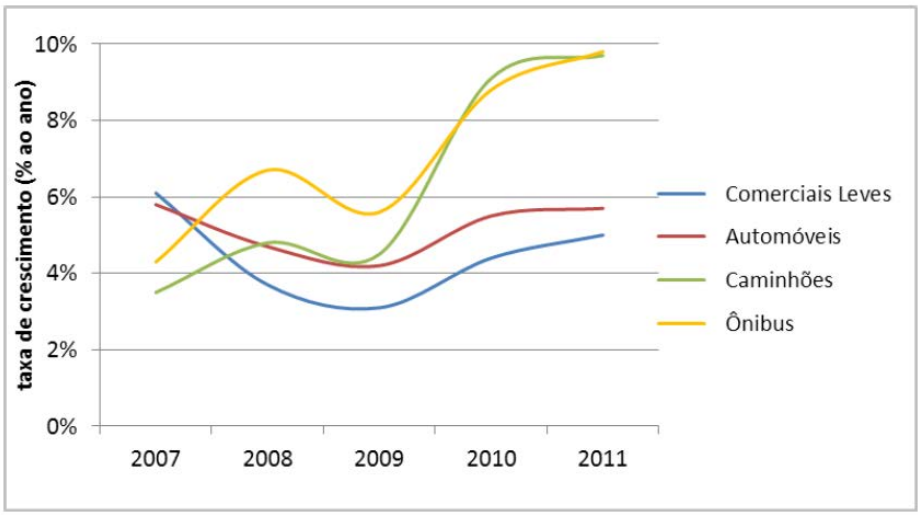
Figura 25: Evolução da produção e da frota circulante de veículos pesados



Fonte: (PNLT, 2012)

A taxa de crescimento relativo dos modais rodoviários no período de 2007 a 2011 é apresentada na Figura 26.

Figura 26: Taxa de crescimento da frota de veículos em circulação no período 2007 a 2011



Fonte: (PNLT, 2012)

No período de 2007 a 2011, conforme mostrado na Figura 26, a frota de automóveis cresceu 21,6 % (em média 5,4% ao ano), a de comerciais leves cresceu 17,2 % (em média 4,1 % ao ano), o número de ônibus cresceu 31,1 % (em média 7 % ao ano) e o número de caminhões cresceu 34,4 % (em média 7,7 % ao ano), esses autos índices de crescimento explicam a grande participação do setor rodoviário na matriz de transportes e mostram um grande desafio para o país em termos de combustíveis, emissões de gases poluentes, ampliação e manutenção de rodovias (PNLT, 2012).

Dados mais recentes do Departamento Nacional de Trânsito (Denatran) apontam que atualmente a frota nacional de automóveis é da ordem de 49,4 milhões. A Tabela 6 apresenta o crescimento da frota de automóveis de maio de 2014 até setembro de 2015.

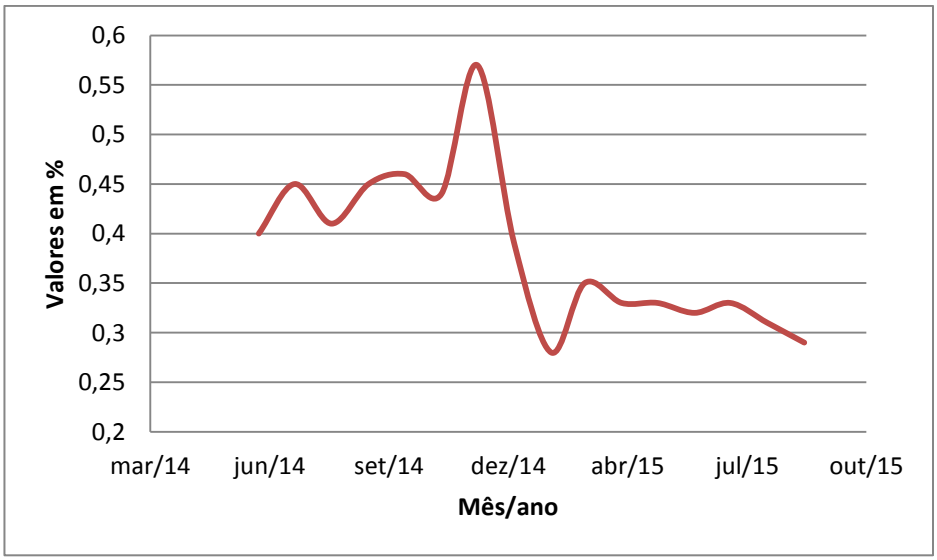
Tabela 6: Crescimento da frota de automóveis de 2014 a 2015

Mês	Frota de automóveis	Crescimento percentual relativo ao mês anterior (%)
Maio/2014	46445672	-
Junho/2014	46633635	0,40
Julho/2014	46842021	0,45
Agosto/2014	47035616	0,41
Setembro/2014	47245819	0,45
Outubro/2014	47462906	0,46
Novembro/2014	47673825	0,44
Dezembro/2014	47946665	0,57
Janeiro/2015	48132327	0,39
Fevereiro/2015	48266804	0,28
Março/2015	48437568	0,35
Abril/2015	48596316	0,33
Maio/2015	48755005	0,33
Junho/2015	48909198	0,32
Julho/2015	49072424	0,33
Agosto/2015	49223550	0,31
Setembro/2015	49367978	0,29

Fonte: Adaptado de (DENATRAN, 2015)

Plotando a taxa de crescimento mensal da frota nacional de automóveis, dada na Tabela 6, em função do tempo obteve-se a Figura 27.

Figura 27: Taxa de crescimento da frota de veículos em circulação de 2014 a 2015

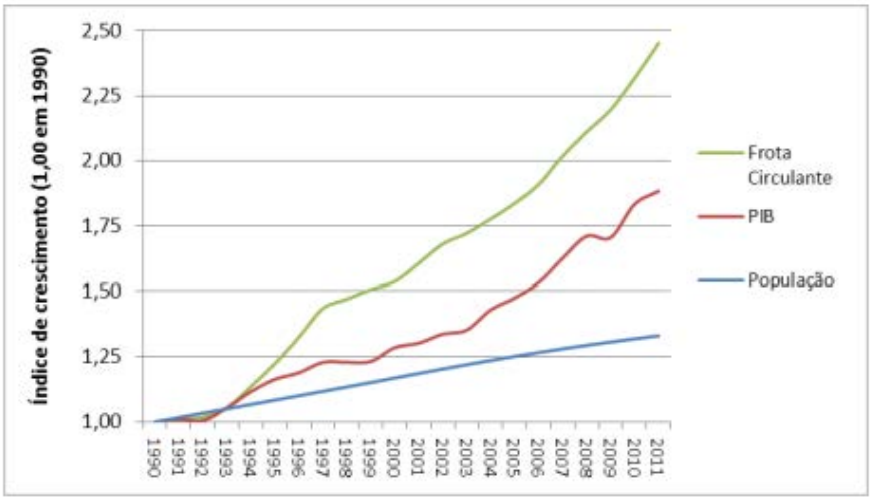


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (DENATRAN, 2015)

Percebe-se pela análise da Tabela 6 e Figura 27 um menor crescimento relativo mês a mês para a frota de automóveis em 2015 em relação a 2014, fato decorrente da atual crise econômica.

De modo geral o crescimento da frota circulante está relacionado com o crescimento populacional e com o crescimento do PIB, como pode ser observado na Figura 28.

Figura 28: Crescimento da frota circulante, PIB e População em relação ao ano de 1990



Fonte: (PNLT, 2012)

Um dos fatores determinantes para o aumento da frota circulante a partir de 1995 foi a queda da inflação, que levou a uma maior estabilidade econômica com um impacto imediato na demanda por bens, principalmente entre as camadas de renda mais baixas que sofreram muitas desvantagens no período inflacionário. Também entre as classes médias as novas condições permitiram o aumento da compra de automóveis, dado que a indústria automobilística começou a oferecer carros compactos populares a uma taxa de juros relativamente baixa. Para as classes mais altas o que determinou o aumento da demanda por automóveis foi a suspensão da proibição de importação de veículos. Assim todos esses aspectos colaboraram para o crescimento da demanda por veículos no país (FREIRE, 2011).

Desta forma pode-se concluir que o crescimento da frota circulante está diretamente relacionado com o crescimento populacional, com o crescimento do PIB, com as facilidades de financiamento e com menores taxas de desemprego.

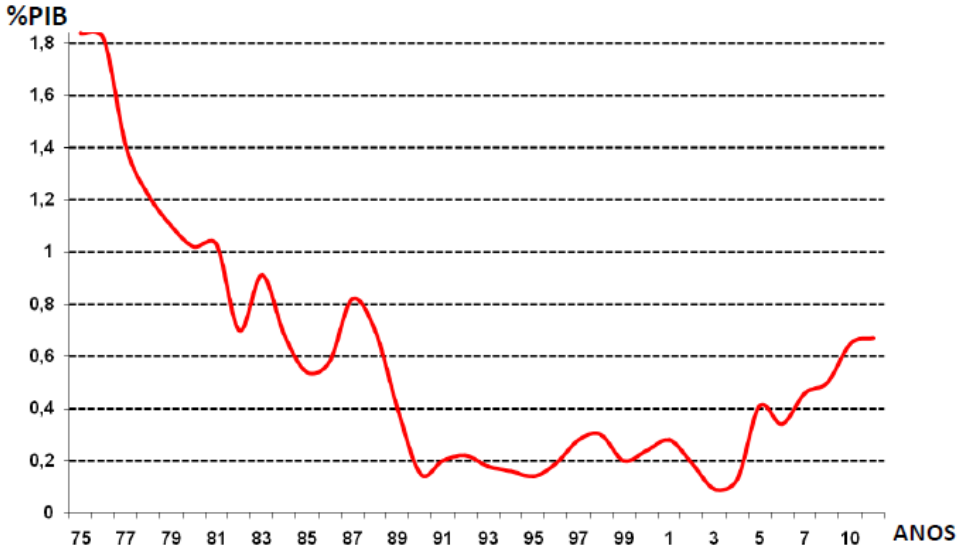
Segundo Moraes (2005), nos países em desenvolvimento a relação entre a posse de novos veículos e a renda é muito mais elástica do que em países desenvolvidos onde o número de veículos por habitante já atingiu um patamar mais elevado. Em países em desenvolvimento a população cresce em geral de forma mais acelerada, resultando em novos jovens em idade de adquirir a habilitação e num contingente considerável de demanda reprimida por automóveis que vai sendo liberado à medida que o padrão de vida nestes países aumenta.

3.3 CARACTERÍSTICAS DA PAVIMENTAÇÃO E CONSERVAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO NA MALHA RODOVIÁRIA BRASILEIRA

A atual malha rodoviária encontra-se em uma situação problemática, decorrente do longo período de inatividade de sua manutenção, conservação e restauração e esforços têm sido tomados no sentido de recuperar a qualidade das vias, como por exemplo, a concessão de parte da malha rodoviária à iniciativa privada (PNLT, 2012).

Segundo dados do ministério dos transportes a parcela do PIB destinada a investimentos em infraestrutura das rodovias pavimentadas teve a variação indicada na Figura 29.

Figura 29: Investimentos em infraestrutura de rodovias



Fonte: (MT, 2013)

Como pode ser observado na Figura 29 os investimentos em infraestrutura de rodovias sofreram queda até o início da década de 90, mantendo-se aproximadamente em torno de 0,2% do início da década de 90 até aproximadamente 2004, esse fato pode ser utilizado para explicar a grande precariedade da maior parte das rodovias estaduais e federais do território nacional.

Em termos de rodovias pavimentadas e não pavimentadas o país demonstra desvantagens em relação a países de primeiro mundo e países emergentes. Como pode ser verificado na Tabela 7, apenas 12 % do total de vias eram pavimentadas em 2012.

Tabela 7: Relação pavimentado/total para países representativos em 2012

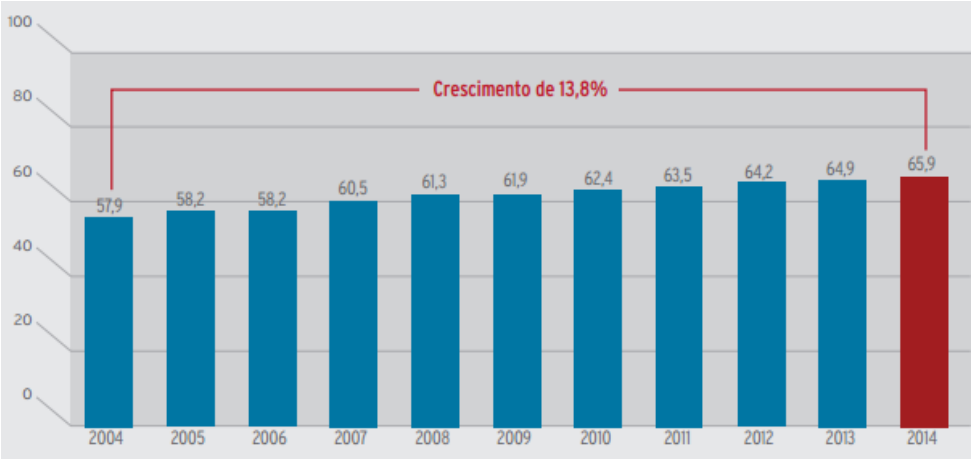
	Pavimentado/Total (%)
Russia	81
United States	65
India	47
China	44
Australia	41
Canadá	40
Brasil	12

Fonte: (MT, 2013)

A pesquisa da Confederação Nacional do Transporte sobre rodovias (CNT, 2014) destaca que, apesar da predominância do modal rodoviário no país, apenas uma parcela da malha rodoviária encontra-se pavimentada e em alguns casos em estado crítico de conservação, oferecendo risco ao usuário.

Em 2014 existiam no país 1.691.522 km de rodovias, dos quais apenas 203.599 encontravam-se pavimentadas, o que representa apenas 12% da malha (mesmo resultado encontrado em 2012), dessa totalidade 65.930 km são federais. A pesquisa CNT de rodovias 2014 ainda destaca que nos últimos 10 anos a extensão da malha rodoviária federal pavimentada cresceu apenas 13,8%, passando de 57,9 mil em 2004 para 65,9 mil em 2014. A Figura 30 apresenta o crescimento da malha rodoviária federal pavimentada nos últimos dez anos.

Figura 30: Extensão das rodovias federais pavimentadas

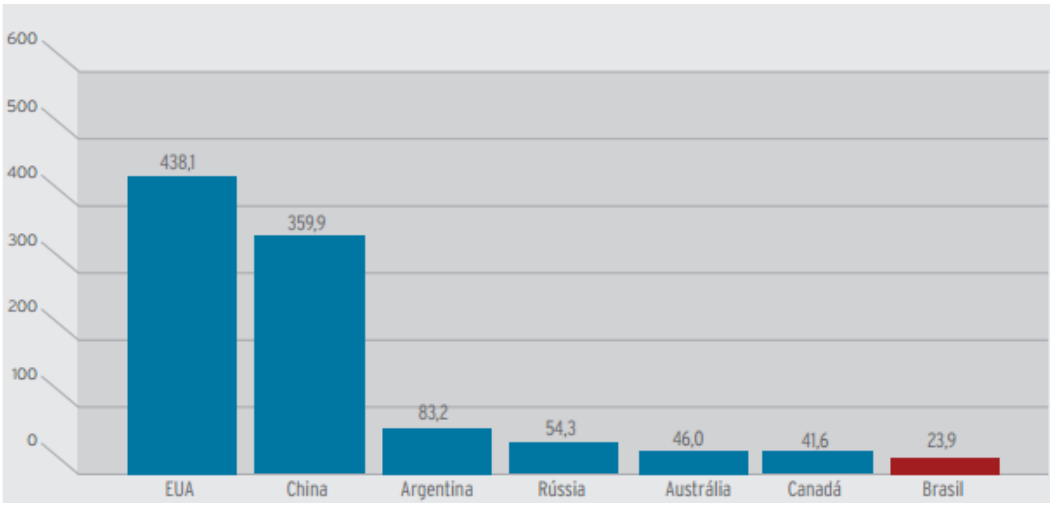


Fonte: (CNT, 2014)

A pesquisa CNT de rodovias 2014 ainda destaca que o país teve um ínfimo crescimento em infraestrutura rodoviária nos últimos dez anos, enquanto que nesse mesmo período a frota total de veículos apresentou um crescimento de 122 % e o número de acidentes em rodovias federais aumentou 77,9% (CNT, 2014).

Quando comparado com os oito países de maior dimensão territorial do mundo, tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento, o Brasil apresenta a menor densidade de malha rodoviária pavimentada, tendo apenas 23,9 km de infraestrutura para cada 1000 km^2 de área territorial, conforme mostra a Figura 31.

Figura 31: Densidade da malha rodoviária pavimentada por país em km/1000 km^2



Fonte: (CNT, 2014)

Além da extensão reduzida da malha rodoviária pavimentada existem problemas relacionados à qualidade da mesma, segundo o índice de competitividade global do Fórum Econômico Mundial, divulgado em setembro de 2014, a qualidade das rodovias brasileiras encontra-se na 122ª posição em um total de 144 países analisados, na avaliação da infraestrutura de rodovias com nota variando de 1 a 7 (1 para extremamente subdesenvolvida; 7 para extremamente eficiente) o país recebeu a nota 2,8. (CNT, 2014).

A avaliação de rodovias feita pela CNT leva em consideração as três principais características da malha rodoviária: pavimentação, sinalização e geometria da via. Estas características são analisadas segundo os níveis de conservação, segurança e conforto percebido pelos usuários. O resultado da avaliação é divulgado na forma qualitativa, em ótimo, bom, regular, ruim ou péssimo (CNT, 2014).

A Tabela 8 apresenta a extensão das rodovias pesquisas, classificadas em federais e estaduais e separadas por unidades de federação.

Tabela 8: Extensão das rodovias analisadas pela CNT em 2014

Rotas	UF Pesquisadas	Extensão das Rodovias (Km)		
		Estaduais	Federais	TOTAL
1	RS	918	3.753	4.671
2	PR, RS, SC	1.517	3.614	5.131
3	MG, MS, PR, SP	5.652	1.286	6.938
4	MG, RJ, SP	2.214	3.975	6.189
5	BA, ES, MG, RJ, SP	2.418	4.365	6.783
6	GO, MS, MT, PR, SP	1.777	5.269	7.046
7	AL, BA, PE, PI	1.795	4.977	6.772
8	CE, MA, PA, PI, TO	1.786	4.290	6.076
9	AC, AM, MT, RO	879	6.029	6.908
10	AL, BA, CE, PB, PE, SE	1.613	4.157	5.770
11	CE, PB, PE, PI, RN	1.322	5.164	6.486
12	BA, DF, GO, MT, TO	2.266	3.511	5.777
13	AM, AP, MT, PA, RR, TO	1.306	4.110	5.416
14	BA, MG	2.207	4.625	6.832
15	DF, GO, MG, MS	1.857	3.962	5.819
16	RS, SC	1.892	3.065	4.957
17	MG, PR, SP	886	18	904
Extensão Total Pesquisada		32.305	66.170	98.475

Fonte: (CNT, 2014)

Como pode ser visto na Tabela 8 a extensão total de rodovias analisadas foi 98.475 km, em 62,1 % da extensão total foi detectado algum tipo de deficiência no pavimento, na sinalização ou na Geometria da Via, apenas 37,9% dos trechos apresentam condições classificadas como ótima ou boa, a Tabela 9 apresenta os resultados da pesquisa.

Tabela 9: Resultados da pesquisa CNT de rodovias 2014

Estado Geral	Extensão Total	
	km	%
Ótimo	9.978	10,1
Bom	27.383	27,8
Regular	37.608	38,2
Ruim	16.709	17,0
Péssimo	6.797	6,9
TOTAL	98.475	100,0

Fonte: (CNT, 2014)

Como pode ser observado da Tabela 9, 23,9% das rodovias podem ser classificadas como ruins ou péssimas, 38,2% como regular e apenas 37,9% como em bom ou ótimo estado de conservação.

A pesquisa ainda aponta uma grande insuficiência da gestão pública na manutenção de rodovias, pois apenas 29,3% da extensão administrada pelo poder público foi classificada em estado bom ou ótimo enquanto que 74,1% das rodovias concedidas a iniciativa privada foram classificadas como em estado bom ou ótimo, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10: Estado das rodovias concedidas e sob administração pública em 2014

Estado Geral	Gestão Concedida		Gestão Pública	
	km	%	km	%
Ótimo	7.099	37,4	2.879	3,6
Bom	6.962	36,7	20.421	25,7
Regular	4.125	21,8	33.483	42,1
Ruim	657	3,5	16.052	20,2
Péssimo	117	0,6	6.680	8,4
TOTAL	18.960	100,0	79.515	100,0

Fonte: (CNT, 2014)

Pode-se concluir pelo exposto nos parágrafos anteriores que existe uma crise no setor de pavimentação e manutenção de rodovias e que os governos federais e estaduais são bastante ineficientes na prestação de serviços de ampliação e manutenção de rodovias, fato que leva o governo à concessão de parte da malha rodoviária.

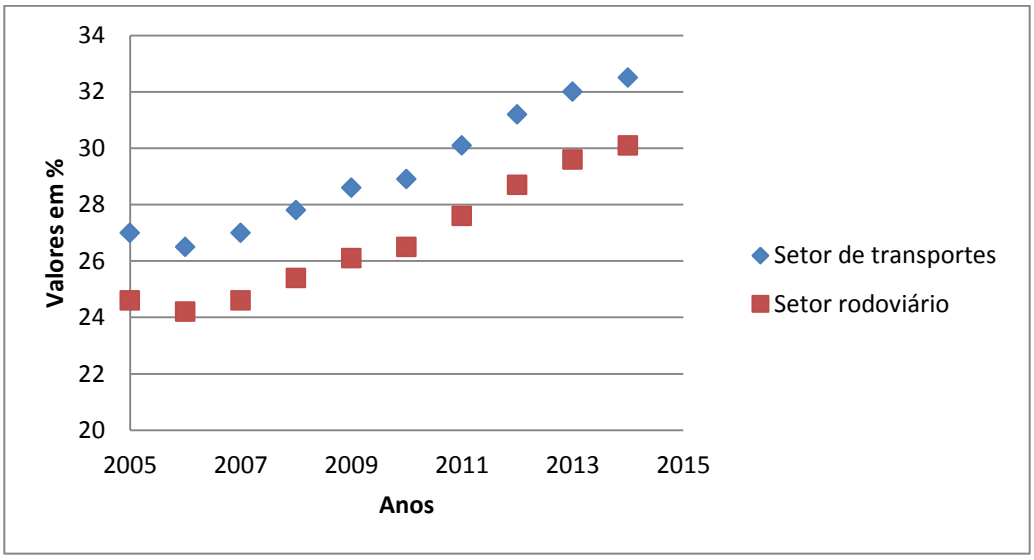
Esta degradação da infraestrutura de transportes afeta o padrão de eficiência energética do modal rodoviário. Segundo coalisão empresas pelo clima (2009), a velocidade média em trechos com buracos sofre uma redução em 23,0 km/h em comparação a trechos de pavimento em perfeitas condições, enquanto trechos com pavimento destruído registram reduções de 31,8 km/h na velocidade média em relação aos em perfeitas condições. Tal perda de velocidade operacional acarreta reduções nos níveis de eficiência energética desse modal, aumentando o consumo de combustível e consequentemente as emissões de poluentes do setor rodoviário.

O PNLT (2012) ainda concluiu que cerca de 80% da malha é composta por trechos com pavimentos que possuem idade superior a 10 anos o que leva a custos mais elevados sob a forma de gastos adicionais e evitáveis na operação e manutenção de veículos.

3.4 CONSUMO DE ENERGIA E COMBUSTÍVEIS NO SETOR DE TRANSPORTES BRASILEIRO

No que diz respeito ao consumo de energia no setor de transportes, verifica-se uma grande tendência de aumento. Até o ano de 2014 o setor de transportes participava do consumo final de energia com uma parcela de 32,5%, na qual o setor rodoviário representa o principal responsável pelo crescimento, como pode ser observado na Figura 32.

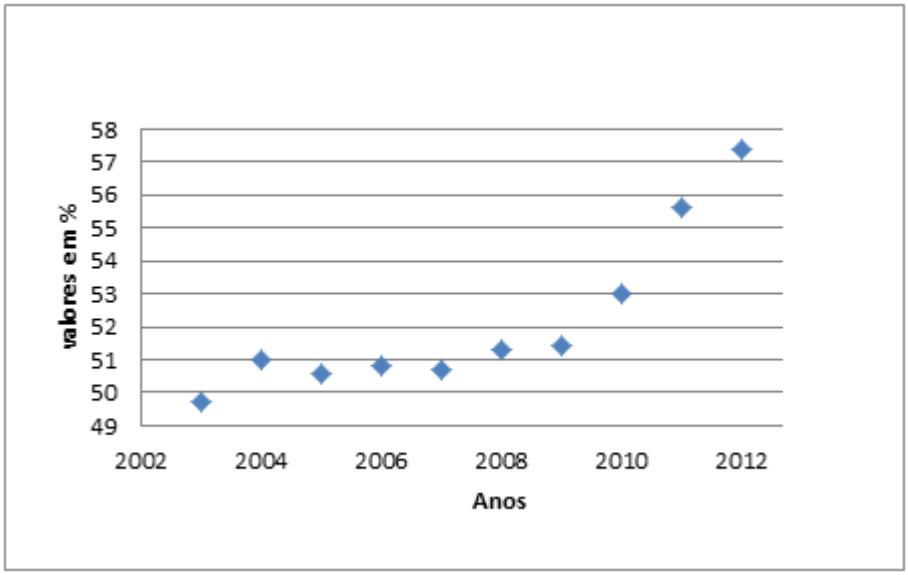
Figura 32: Participação do setor de transportes e rodoviário no consumo final de energia



Fonte: Adaptado de (BEN, 2015)

Em relação ao consumo de petróleo e derivados o setor de transportes lidera a demanda e apresenta tendência de crescimento, conforme pode ser visto na Figura 33.

Figura 33: Participação percentual do setor de transportes no consumo de derivados de petróleo

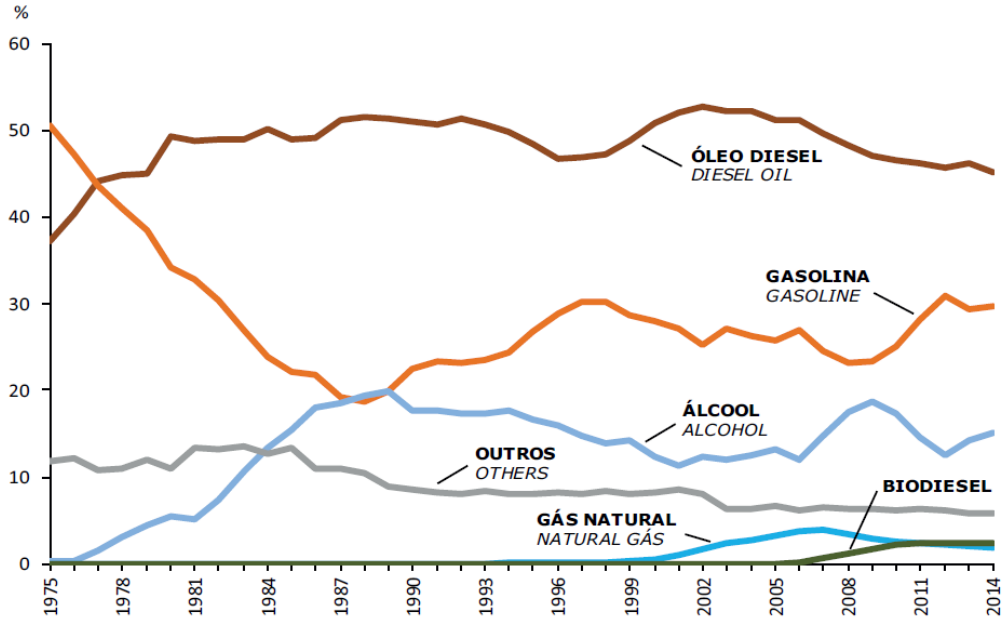


Fonte: Adaptado de (BEN, 2013)

Como pode ser observado da Figura 33, a partir de 2009 houve um grande crescimento percentual do consumo de derivados de petróleo pelo setor de transportes. Um dos fatores responsáveis pelo aumento no consumo de petróleo e derivados no setor de transportes foi a queda na oferta de etanol para o mercado interno. Apesar de ter ocorrido aumento na produção de etanol houve aumento na exportação deste energético, que cresceu 55,3% de 2011 a 2012 (BEN, 2013).

A Figura 34 ilustra a variação percentual do consumo de combustíveis por tipo no setor de transportes, fica evidente a tendência de crescimento do consumo de gasolina em contra partida com a tendência de decréscimo no consumo de álcool a partir de 2009.

Figura 34: Estrutura de consumo de combustíveis no setor de transportes brasileiro



Fonte: (BEN, 2015)

Como pode ser observado na Figura 34 em 1975 não havia ainda consumo significativo de álcool pelo setor de transportes, esse ano marca a criação do programa pró-alcool, criado em função da crise do petróleo que teve início no ano de 1973. A partir de então o consumo de álcool pelo setor de transportes sofreu forte crescimento em detrimento do consumo de gasolina até o ano de 1989, ano no qual o consumo de gasolina voltou a crescer em consequência da redução do preço do barril do petróleo a partir da década de 90. Esse fato levou o mercado interno, para a produção de álcool combustível, a ficar menos lucrativo para os usineiros que então passaram a destinar suas plantações para a produção de açúcar destinado à exportação.

As vendas de etanol voltaram a crescer no período de 2004 a 2009 com a entrada dos veículos flex-fuel no mercado e preços competitivos em relação à gasolina. Porém a crise econômica iniciada em 2008 afetou significativamente os produtores de cana. A falta de investimentos no setor, sobretudo no tocante à renovação dos canaviais, fez com que a produção de etanol não acompanhasse a o crescimento da demanda, gerando uma pressão de alta sobre seus preços e levando o consumidor a optar pela gasolina (ANP, 2013).

3.5 IMPLICAÇÕES DA ATUAL SITUAÇÃO DO SETOR DE TRANSPORTES SOBRE A IMPLANTAÇÃO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

Como foi discutido ao longo do capítulo 3, o setor de transportes brasileiro é bastante intensivo na utilização de energia, sendo que o setor rodoviário é o que mais contribui no consumo de energia, apresentando uma grande tendência de aumento deste consumo (Figura 32). Foi visto também que o setor de transportes é o maior responsável pelo consumo de derivados de petróleo (Figura 33) e apresenta uma grande tendência de crescimento da frota circulante (Figuras 24, 25, 26 e Tabela 6), assim medidas para melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões da frota circulante são plenamente justificáveis, como por exemplo, a implantação de frotas de veículos elétricos ou híbridos.

Contudo ao se analisar a atual situação da malha viária brasileira encontra-se uma situação lastimável, na qual apenas 12 % das vias existente no país são pavimentadas (Tabela 7), sendo que uma parte considerável destas estão em mau estado de conservação e carecem de manutenção (Tabela 9), além do fato do Brasil possuir uma das menores densidades em termos de vias pavimentadas por área territorial, quando comparado com os países de maior extensão territorial (Figura 31) .

O governo federal e governos estaduais mostram assim total incapacidade em ampliar a malha rodoviária pavimentada e manter a qualidade da malha existente, pois como foi visto, a qualidade da malha concedida a iniciativa privada é bastante superior à qualidade da malha sob o domínio do poder público (Tabela 10).

Analisando então estes fatos, é uma utopia imaginar que o governo federal e governos estaduais irão investir em infraestrutura que permita a circulação de veículos elétricos pelo território nacional, como por exemplo, estações de carregamento rápido de baterias, já que os governos não são capazes de manter nem mesmo as qualidades mínimas dos pavimentos da malha rodoviária existente.

Boas condições de tráfego são desejáveis para que qualquer modelo de veículo possa operar com sua máxima eficiência energética (economizando combustível e desta forma emitindo menor quantidade de poluentes), com menor custo operacional e com maior segurança. Desta forma, antes de pensar na implantação de frotas de veículos híbridos ou elétricos é necessário pensar na expansão da malha pavimentada e na manutenção da qualidade da já existente.

4 ASPECTOS AMBIENTAIS

4.1 AQUECIMENTO GLOBAL E CONCEITUAÇÃO DE POLUENTES

A questão ambiental vem adquirindo cada vez mais relevância à medida que os danos à humanidade tornam-se progressivamente mais evidentes. Segundo estudos realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em conjunto com o Met Office Hadley Centre (MOHC) do Reino Unido, existem atualmente indícios de um aquecimento global de 0,7ºC na temperatura média do planeta desde a revolução industrial. Esse aquecimento tem contribuído para o início do degelo das calotas polares e aumentos de frequência e de intensidade de instabilidades climáticas (INPE; MOHC, 2001).

Além do aquecimento global existem os efeitos locais da alta concentração de poluentes atmosféricos, como por exemplo: aumento de problemas ligados ao sistema respiratório e chuvas ácidas. Uma das principais causas do aquecimento global e de efeitos locais é a queima de combustíveis de origem fóssil, uma vez que a queima desses combustíveis libera para a atmosfera gases como óxidos de carbono, nitrogênio, enxofre e hidrocarbonetos.

Reduzir as emissões de CO_2 é uma estratégia essencial para controlar o aquecimento global, fato este que foi posto em pauta na conferência das nações Unidas sobre desenvolvimento sustentável, Rio +20, ocorrida em junho de 2012 no Rio de Janeiro. Na referida conferência foi destacado que o CO_2 é um dos principais responsáveis pelo fenômeno de aquecimento global, e, segundo os estudos realizados, o máximo de emissões que podem ser atingidas por ano para que a temperatura média global não sofra um incremento de 2ºC é de 32,6 bilhões de toneladas, pico que deve ocorrer em 2017 (ROSOLEM. et.al, 2012) .

O conceito de poluição é definido na Legislação brasileira (LEI FEDERAL N° 6.938, de 02 de setembro de 1981), a Lei nº 6.938/1981 define poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;

c) afetem desfavoravelmente a biota;

d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;

e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (art. 3º, inciso III).

Segundo Ipea (2011) os poluentes atmosféricos podem ser classificados de acordo com a abrangência dos impactos causados por suas emissões. Dessa forma pode-se classificar os poluentes em locais e globais.

- **Poluentes locais:** São aqueles que causam impactos no entorno de onde é realizado o serviço de transporte, por exemplo, a fuligem expelida pelos escapamentos, que se acomodam nas ruas, passeios e fachadas dos imóveis, e a névoa formada pela concentração de ozônio no ar (efeito smog). Nesta categoria, estão ainda os poluentes que se deslocam de uma região para outra pelas correntes de ar, muitas vezes sobre fronteiras de países, como é o caso dos gases que causam a chuva ácida.
- **Poluentes globais:** Impactam todo o planeta, como no caso da emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE). O principal poluente nessa categoria, devido à grande quantidade emitida na queima de combustíveis, é o dióxido de carbono (CO_2), que serve também como unidade de equivalência para os demais GEEs.

4.2 POLUENTES EMITIDOS POR MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

De acordo com o Ipea (2011); Carvalho (2011) e Dallarosa (2005) os principais poluentes veiculares são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono(CO_2), os Hidrocarbonetos (HC) ou compostos orgânicos voláteis (COV), os materiais particulados (MP), os óxidos de nitrogênio (NOx) , os óxidos de enxofre (SOx) e o Ozônio (O_3).

Abaixo são listadas algumas das características desses poluentes segundo os referidos autores.

- **NO_x:** Nesse grupo estão o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO_2). O NO é principalmente gerado na reação de combustão de motores a combustão interna, em seguida ele é oxidado na atmosfera para NO_2. Os óxidos de nitrogênio são irritantes ao sistema respiratório e podem prejudicar a função pulmonar, esses óxidos estão ainda envolvidos na formação de chuvas ácidas, pois reagem com água formando os ácidos nítrico (HNO_3) e nitroso (HNO_2).

- **Compostos de enxofre:** Um dos principais poluentes atmosféricos que contém enxofre é o dióxido de enxofre (SO_2), o qual é gerado em processos de combustão de combustíveis que contenham enxofre (S), devido ao seu caráter reativo o dióxido de enxofre reage com o oxigênio da atmosfera gerando o trióxido de enxofre (SO_3), que ao reagir com água presente na atmosfera forma o ácido sulfúrico (H_2SO_4). Outros efeitos que podem ser citados para o dióxido de enxofre são: é bastante irritante para as membranas mucosas e vias respiratórias, podendo causar edema pulmonar e bronquite.
- **Ozônio (O_3):** Na estratosfera o ozônio age como um filtro da radiação UV. Na troposfera esse poluente é formado devido a numerosas reações químicas e fotoquímicas com NO_2 e hidrocarbonetos. O ozônio reage com NO para formar NO_2, e é um dos poluentes mais observados em zonas urbanas. Ele provoca irritação das vias respiratórias e da mucosa ocular, quando inalado, o ozônio pode desencadear uma série de problemas, incluindo-se dores no peito, tosse, irritação de garganta e congestão nasal. Em casos piores, pode levar a bronquites, enfisema pulmonar e asma. Ele é ainda responsável pelo efeito Smog (fenômeno fotoquímico caracterizado pela formação de uma espécie de neblina) nas cidades além de participar ativamente do efeito estufa.
- **Material particulado (MP):** É constituído de partículas de composição diversa e tamanhos variando de 0,001 a 50 μm. O material particulado contém substâncias tóxicas como metais pesados e hidrocarbonetos. Essas partículas são emitidas principalmente por veículos a Diesel e podem penetrar profundamente nos alvéolos pulmonares e causar problemas respiratórios e câncer. Sua deposição degrada materiais e bloqueia a respiração das plantas.
- **Monóxido de carbono (CO):** È gerado na combustão incompleta de combustíveis, em locais cobertos (túneis, estacionamentos) sua concentração é maior. Atua no sangue, reduzindo sua oxigenação, e pode causar morte após determinado período de exposição a uma concentração elevada, assim como os óxidos de nitrogênio e os hidrocarbonetos, este está envolvido na formação do ozônio em camadas inferiores da atmosfera.

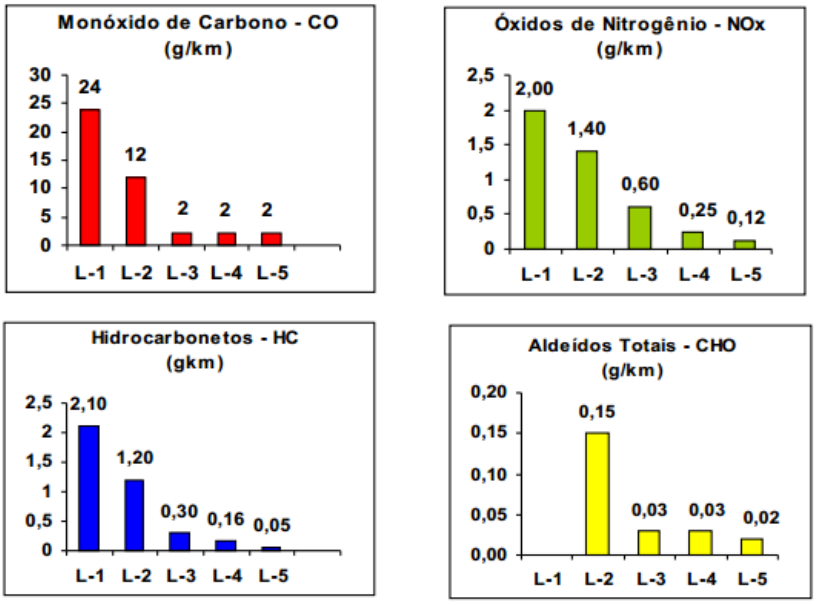
- **Compostos orgânicos Voláteis (COVs):** As emissões veiculares são apontadas como a maior fonte de emissão de COVs e essas emissões podem ser originadas tanto pelas emissões de escapamento quanto provindas da evaporação dos combustíveis, nesta classificação estão incluídos os hidrocarbonetos (HC), os solventes e alguns outros compostos orgânicos. Alguns dos HC como os HAP (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos), como por exemplo, o Benzeno, são cancerígenos, os HC participam ainda do efeito estufa pela formação de metano (CH_4).
- **Dióxido de carbono (CO_2):** Este é um dos produtos de qualquer reação de combustão com combustíveis a base de carbono, em altas concentrações pode provocar asfixia. É o principal responsável pelo efeito estufa.

4.3 POLÍTICAS DE CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES

Como foi visto na seção anterior a atividade do setor de transportes leva à emissão de várias substâncias perigosas na atmosfera, assim, historicamente se busca através de legislações (para determinar limites máximos de emissões) e mudanças técnicas, limitar as emissões veiculares. No Brasil quem estabelece limites para emissões é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da implementação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE).

A partir da implementação das fases do PROCONVE (A descrição das fases encontram-se no anexo A) as emissões de CO, NO_x, aldeios e HC (hidrocarbonetos) por veículos leves foram bastante reduzidas, conforme pode-se ver na Figura 35.

Figura 35: Redução das emissões de CO, HC, NO_x e CHO na implementação das fases do PROCONVE



Fonte: (MMA, 2011)

Atualmente encontra-se em andamento a fase L6, que teve início em 2014, para a qual os requisitos de emissões dos principais poluentes para automóveis de motores com ciclo Otto e Diesel são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11: Limites de emissões do proconve – fase L6 para motores ciclo Diesel e Otto

Poluente	Limite de emissão (g/km)
CO	1,30
HC	0,30
NO_x	0,08
CHO (Otto)	0,02
MP (Diesel)	0,025

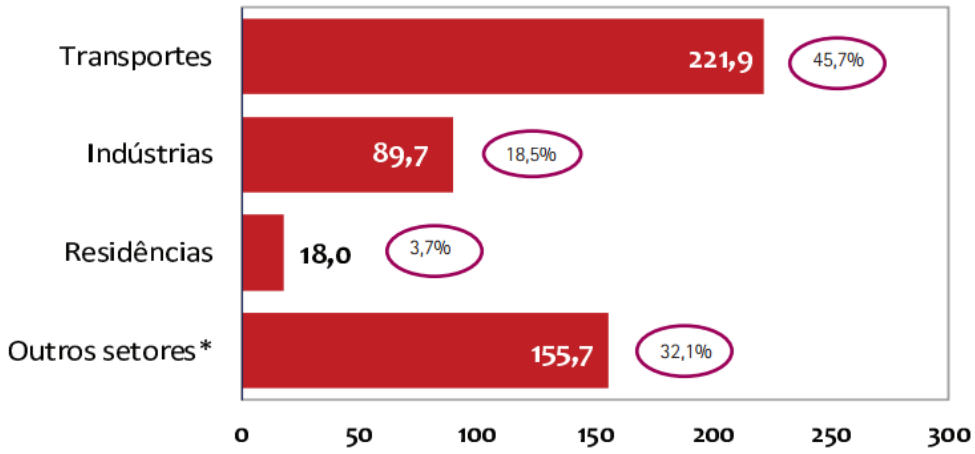
Fonte: Adaptado de (MMA, 2011)

4.4 EMISSÕES RELACIONADAS À MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Em comparação com outros países o Brasil tem uma matriz energética com grande participação de fontes renováveis (Hidroeletricidade e biocombustíveis) fato que contribui para que as emissões de gases do efeito estufa sejam relativamente baixas. Porém as emissões do país podem aumentar significativamente, dado o crescimento previsto para o setor energético, assim, mesmo considerando a participação de fontes renováveis, os níveis de emissões de CO_2 devem aumentar com o tempo no país.

A Figura 36 mostra a distribuição percentual das emissões de CO_2eq destacadas no relatório do balanço energético nacional de 2015 (BEN, 2015).

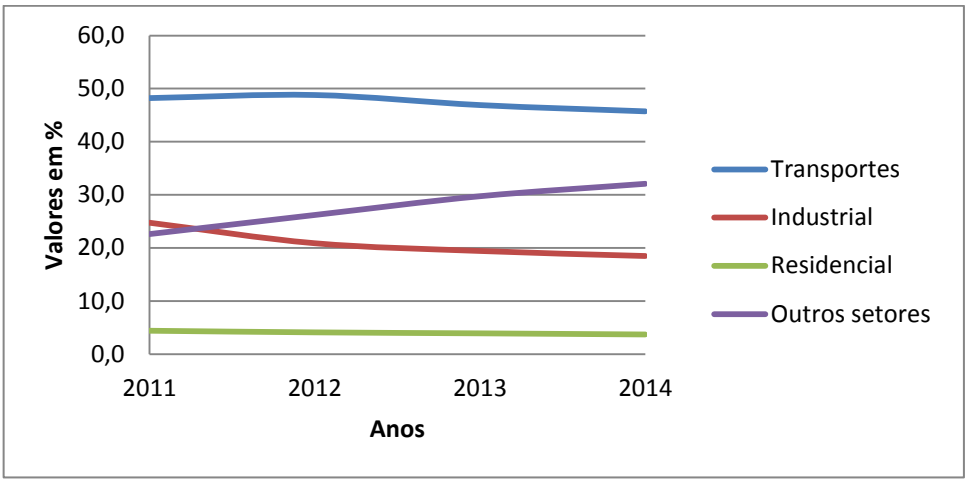
Figura 36: Emissões em milhões de toneladas de CO_2eq por setor em 2014



Fonte: (BEN, 2015)
Nota: Outros setores - agropecuário, serviços, energético e elétrico

Analisando as emissões de CO_2eq por setor (Figura 37) verifica-se que nos últimos quatro anos as emissões do setor de transportes estiveram entre 45 e 50 % das emissões totais, desta forma o setor de transportes representa historicamente o setor com maior participação nas emissões totais de CO_2eq. Verifica-se também uma tendência atual de aumento das emissões na geração elétrica.

Figura 37: Emissões percentuais de CO_2eq por setor dos últimos quatro anos



Fonte: Adaptado de Ben(2012);Ben(2013);Ben(2014); Ben(2015)
Nota: outros setores- inclui o setor de geração elétrica

Pela análise das Figuras 36 e 37 torna-se evidente que o setor mais crítico na emissão de poluentes é o setor de transportes, deste modo se justifica o planejamento e execução de medidas para a redução das emissões neste setor, como por exemplo, a implantação de frotas de veículos híbridos e elétricos.

A Figura 37 destaca também uma tendência de aumento nas emissões associadas à geração elétrica. Segundo o Anuário estatístico de energia elétrica 2014, a queda na geração hidrelétrica, devido às baixas nos reservatórios, está sendo compensada por um aumento na geração termelétrica, sobretudo proveniente do gás natural, esse aumento da participação das térmicas na geração elétrica elevou as emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Sistema Interligado Nacional (SIN), a Tabela 12 mostra o crescimento das emissões de GEE no SIN.

Tabela 12: Emissões de GEE no SIN em milhões de toneladas de CO_2 equivalente

Combustível Fóssil	2009	2010	2011	2012	2013	Δ% (2013/2012)	Part. % (2013)
Total	**9,96**	**20,80**	**14,89**	**28,95**	**52,83**	**82,5**	**100,0**
Óleo Diesel	0,01	1,00	1,06	2,92	3,06	4,8	5,8
Óleo Combustível	0,30	1,62	1,61	2,32	8,01	245,3	15,2
Carvão	5,80	6,83	6,34	8,58	15,68	82,8	29,7
Gás Natural	3,85	11,35	5,88	15,13	26,08	72,4	49,4

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica (2014)

Na Tabela 12 foi considerado somente a emissão de GEE associadas ao SIN, sendo excluídas as emissões de sistemas isolados e autoprodutores, que em 2013 emitiram respectivamente 7,52 e 10,68 milhões de toneladas de CO_2 equivalente ($MtCO_2eq$), de modo que as emissões totais associadas à geração elétrica brasileira em 2013 foram de 71,03 $MtCO_2eq$, valor que representou um crescimento de 51 % em relação ao ano de 2012 (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA; 2014).

Pela análise da Tabela 12 pode-se observar a grande tendência de aumento das emissões de GEE na geração elétrica, de 2011 a 2012 houve aumento de 94,4 % de emissões e de 2012 a 2013 houve aumento de 82,5 % nas emissões do SIN.

Desta forma atualmente se verifica uma grande tendência de aumento na utilização de termelétricas, motivada pela baixa nos reservatórios e também pela dificuldade em se expandir o parque hidrelétrico nacional, pois o mesmo está próximo do seu limite teórico e muitas bacias se encontram em áreas de proteção ambiental e terras indígenas, apresentando impasses de legalidade na sua utilização.

A ampliação das termelétricas é também uma estratégia de segurança energética dada a queda de confiabilidade das fontes renováveis de energia devido às mudanças climáticas (SCHAEFFER et al, 2009).

4.5 IMPLANTAÇÃO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS SOBRE O PONTO DE VISTA DO ATUAL CENÁRIO AMBIENTAL

4.5.1 Emissões de CO_2 dos veículos elétricos associadas à geração de eletricidade

No momento atual, a quantidade de gases de efeito estufa emitida na geração elétrica apresenta tendência de crescimento, dado que a geração a partir de fontes não renováveis tem crescido nos últimos anos, esse é um fator desfavorável, em longo prazo, à implantação de frotas de veículos elétricos, uma vez que o principal motivo para a implantação dos mesmos se encontra nas emissões nulas ou desprezíveis.

A Tabela 13 apresenta as emissões associadas à geração elétrica em milhões de toneladas equivalentes de CO_2 ($MtCO_2eq$).

Tabela 13: Emissões totais de gases de efeito estufa na geração elétrica

Anos	Total de emissões ($MtCO_2eq$)
2009	24,48
2010	38,40
2011	32,12
2012	47,16
2013	71,03

Fonte: Adaptado do anuário estatístico de energia elétrica (2014)

Percebe-se pela análise da Tabela 13 uma tendência de aumento das emissões associadas à geração elétrica no país, essa tendência de aumento nas emissões pode ser explicada pelo aumento da participação de fontes não renováveis na geração elétrica, conforme pode ser observado na Tabela 14.

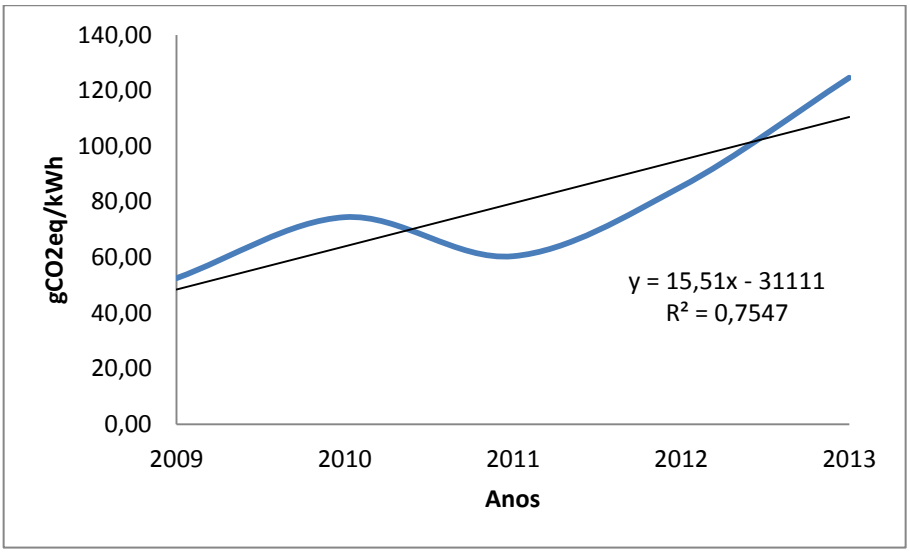
Tabela 14: Geração elétrica brasileira por fonte, valores em TWh

Anos	Total	GN	Hidráulica	DP	Carvão	Nuclear	Biomassa	Eólica	Outras
2009	466,158	13,332	390,988	12,724	5,429	12,957	21,851	1,238	7,639
2010	515,799	36,476	403,29	14,216	6,992	14,523	31,209	2,177	6,916
2011	531,758	25,095	428,333	12,239	6,485	15,659	31,633	2,705	9,609
2012	552,498	46,760	415,342	16,214	8,422	16,038	34,662	5,050	10,010
2013	570,025	69,003	390,992	22,090	14,801	14,640	39,679	6,576	12,244

Fonte: Adaptado do anuário estatístico de energia elétrica (2014)
Notas: i) DP- Derivados de petróleo
ii) GN-Gás natural
iii) Biomassa- Lenha, bagaço de cana e lixívia
iv) Outras – recuperações, gás de coqueria e outras secundárias

Com os dados das Tabelas 13 e 14 é possível determinar o perfil médio das emissões de CO_2 por unidade de energia elétrica gerada em função do tempo. Tomando as emissões associadas à geração em gramas de CO_2eq/kWh de energia elétrica gerada, plotou-se a Figura 38.

Figura 38: Emissões de CO_2eq por unidade de energia elétrica gerada em função do tempo



Fonte: Elaboração própria.

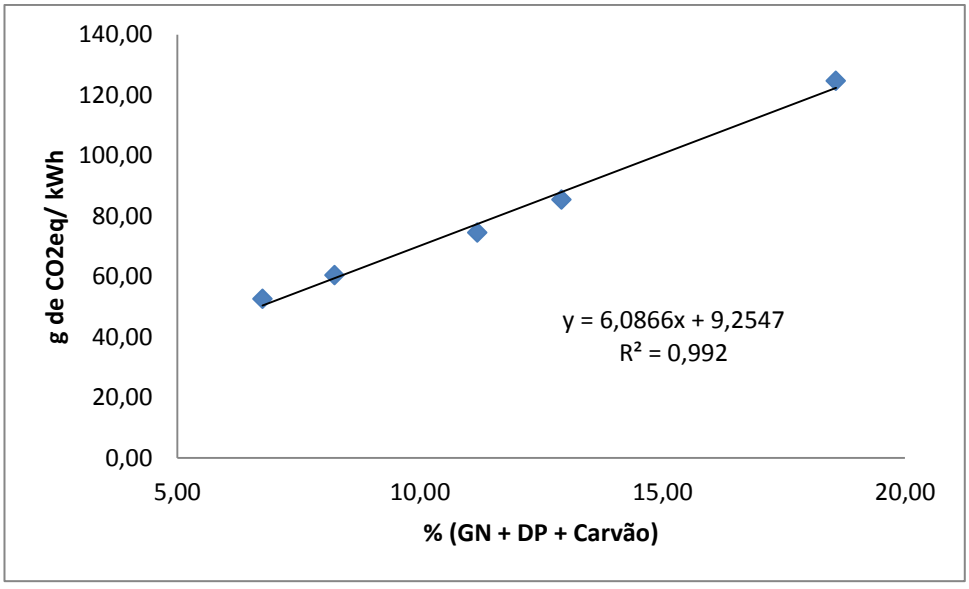
Conclui-se pela análise da Figura 38 que, embora não haja uma forte correlação linear entre as emissões associadas à geração elétrica e o tempo em anos, existe uma tendência média de aumento das emissões de 2009 a 2013, sendo que de 2011 a 2013 o crescimento das emissões foi mais acentuado, sendo praticamente linear neste período.

Levando em conta o comportamento médio observado, na Figura 38, de 2009 a 2013 e o comportamento praticamente linear observado de 2011 a 2013 e supondo que esses padrões de emissão se mantenham até o final do ano de 2015, pode-se estimar que as emissões atuais da geração elétrica estão entre 140 e 180 gCO_2eq/kWh.

Embora não haja uma boa correlação linear entre as emissões associadas à geração elétrica e o tempo, há uma grande correlação linear entre as emissões e a participação de fontes não renováveis na geração elétrica. Considerando as fontes não renováveis, na geração elétrica, como sendo essencialmente gás natural, derivados de petróleo e carvão Plotou-se a Figura 39, na qual a participação percentual de fontes não renováveis na geração elétrica é definida como a soma das participações percentuais de gás natural (GN), derivados de petróleo (DP) e carvão, obtidas a partir da Tabela 14.

As emissões por unidade de energia gerada foram obtidas em gramas de CO_2 equivalente por kWh gerado, utilizando os dados das Tabelas 13 e 14.

Figura 39: Correlação entre emissões e participação percentual de fontes não renováveis na geração elétrica nacional



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do anuário estatístico de energia elétrica (2014)
Notas: i) GN – Gás natural
ii) DP – Derivados de petróleo

Definindo a participação percentual de fontes não renováveis na geração elétrica como f_{nr} e a emissão de CO_2 equivalente por unidade de energia gerada como E_{ge} obteve-se a equação (9)

$$E_{ge} = 6{,}0866.f_{nr} + 9{,}2547 \quad (9)$$

Em que:
E_{ge} – [g de CO_2eq / kWh]

A soma das emissões das fontes não consideradas no modelo (nuclear, eólica, hidráulica, biomassa e outras) corresponde à intersecção da reta de regressão com o eixo das ordenadas, ou seja, corresponde a 9,2547 g de CO_2 eq / kWh.

Na Equação (9), f_{nr} é a taxa percentual de participação de fontes não renováveis (consideradas como Gás natural, Derivados de petróleo e Carvão) na geração elétrica, definido pela equação (10).

$$f_{nr} = \left(\frac{E_{GN} + E_{DP} + E_C}{E_T}\right).100\% \quad (10)$$

Em que:
E_{GN} – energia gerada a partir do gás natural [TWh]
E_{DP} – energia gerada a partir de derivados de petróleo [TWh]
E_C – energia gerada a partir do carvão [TWh]
E_T – energia total gerada [TWh]

As emissões de CO_2 equivalente em g/km, associadas à operação de veículos elétricos podem ser calculadas através da equação (11).

$$E_{gve} = E_{ge}.E_K \quad (11)$$

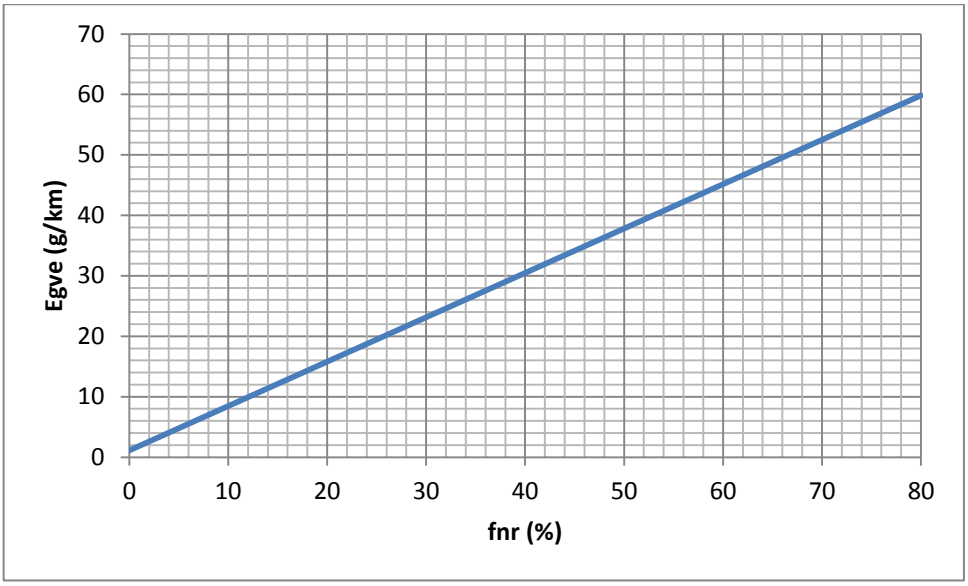
Em que:
E_{gve} – emissões de CO_2 equivalente associadas à circulação de veículos elétricos [g/km]
E_{ge} – emissões de CO_2 equivalente da geração elétrica [g/kWh]
E_K – eficiência energética do veículo elétrico, definida na equação (1) [kWh/km]

Substituindo o resultado da equação (9) na equação (11) e levando em conta o valor de E_K dado pela equação (1) obtém-se a equação (12).

$$E_{gve} = 0{,}734.f_{nr} + 1{,}116 \qquad (12)$$

Plotando um gráfico de E_{gve} versus f_{nr} obtém-se a Figura 40.

Figura 40: Emissões de um veículo elétrico, similar ao nissan leaf, em função da participação percentual de fontes não renováveis na geração elétrica nacional



Fonte: Elaboração própria

No momento atual um veículo elétrico, similar ao nissan leaf, circulando em território nacional emitiria indiretamente em torno de 20 g de CO_2eq / km, pois a participação de fontes não renováveis na geração elétrica atual está em torno de 25 % (Tabela 14).

Esse valor de emissão é bem menor que a emissão média de um veículo convencional a gasolina, que, segundo medições do inmetro (2013), está em torno de 115 g/km (Conforme Apêndice A). Contudo se a participação de fontes não renováveis na geração elétrica crescer, as emissões indiretas dos veículos elétricos terão um aumento diretamente proporcional a este crescimento.

Assim do ponto de vista ambiental a implantação de frotas de veículos elétricos só se justifica se houver investimentos na geração elétrica a partir de fontes renováveis de energia, como solar, eólica e hídrica.

4.5.2 Comparação de emissões de CO_2 dos veículos elétrico, híbrido e convencional

Segundo medições do inmetro (2013) as emissões médias de um veículo convencional estão em torno de 115 g de CO_2 /km (média dos valores tabelados no Apêndice A). As emissões de um modelo híbrido estão em torno de 82 g de CO_2 /km (média dos valores da Tabela 20).

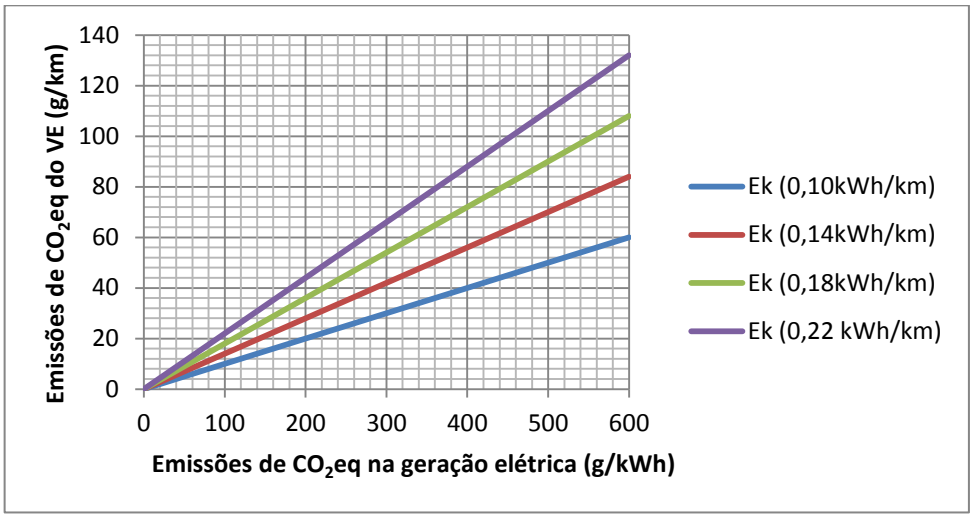
As emissões indiretas de um veículo elétrico dependem das emissões associadas à geração elétrica. No atual cenário, como visto na Figura 40, essas emissões estão em torno de 20 g de CO_2 / km para um modelo de veículo elétrico similar ao Nissan Leaf.

Desta forma um veículo elétrico emitiria indiretamente em torno de 75 % menos que um veículo híbrido e em torno de 83 % menos que um veículo convencional no cenário atual. Já um veículo híbrido emitiria em torno de 30 % menos que um veículo convencional.

Porém se a participação de fontes não renováveis na geração elétrica crescer ao longo do tempo o veículo elétrico perderá grande parte de sua vantagem ecológica em relação aos veículos híbrido e convencional.

Dependendo das emissões na geração elétrica e da eficiência energética do veículo elétrico as emissões de CO_2, associadas à geração, podem até superar as emissões dos veículos híbridos e chegar bem próximo das emissões de um veículo convencional, conforme pode ser visto na Figura 41.

Figura 41: Emissões indiretas de CO_2eq de veículos elétricos em função da emissão na geração elétrica e eficiência energética do modelo



Fonte: elaboração própria

Notas: E_k – eficiência energética do veículo elétrico em kWh/km
VE – veículo elétrico
E_k = 0,10 kWh/km corresponde a um VE com autonomia de 250 km/carga de bateria
E_k = 0,14 kWh/km corresponde a um VE com autonomia de 180 km/carga de bateria
E_k = 0,18 kWh/km corresponde a um VE com autonomia de 140 km/carga de bateria
E_k = 0,22 kWh/km corresponde a um VE com autonomia de 110 km/carga de bateria

Como foi analisado no capítulo 2, o plano nacional de energia 2030 (2007) prevê que no ano 2030 o consumo de energia elétrica estará entre 950 e 1250 TWh, isso corresponde a mais da metade do consumo atual. Foi visto também que existe uma limitação para a expansão do parque hidrelétrico nacional, pelo fato deste estar próximo de seu limite teórico e pelo fato de parte das bacias estarem em regiões de proteção ambiental e terras indígenas. Assim, se o país não investir maciçamente em fontes alternativas como, por exemplo, a eólica e a solar, haverá a necessidade de maior utilização e ampliação de termelétricas, o que levará ao aumento nas emissões associadas à geração elétrica.

Como visto na Figura 41, dependendo da eficiência energética do veículo elétrico e das emissões na geração elétrica, o veículo elétrico pode emitir indiretamente uma quantidade de CO_2 bem próxima da de um veículo híbrido, ou até mesmo superar as emissões deste, portanto o veículo elétrico só representa uma solução do ponto de vista ambiental se o país investir maciçamente na geração renovável de energia elétrica.

5 BATERIAS PARA VEÍCULOS HÍBRIDOS E ELÉTRICOS

5.1 CARACTERÍSTICAS DE BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

Os veículos híbridos e elétricos necessitam de baterias com grande densidade de energia, uma vez que nesses modelos, além de acionar acessórios, a bateria passa a ser responsável pelo sistema de propulsão do veículo, assim as baterias atuais de chumbo-ácido não são compatíveis com esse tipo de tecnologia, pois apresentam uma pequena densidade energética, o que aumentaria muito o volume e peso das baterias necessárias, desta forma o mercado de baterias para veículos elétricos e híbridos está direcionado para a utilização de baterias de íon- lítio.

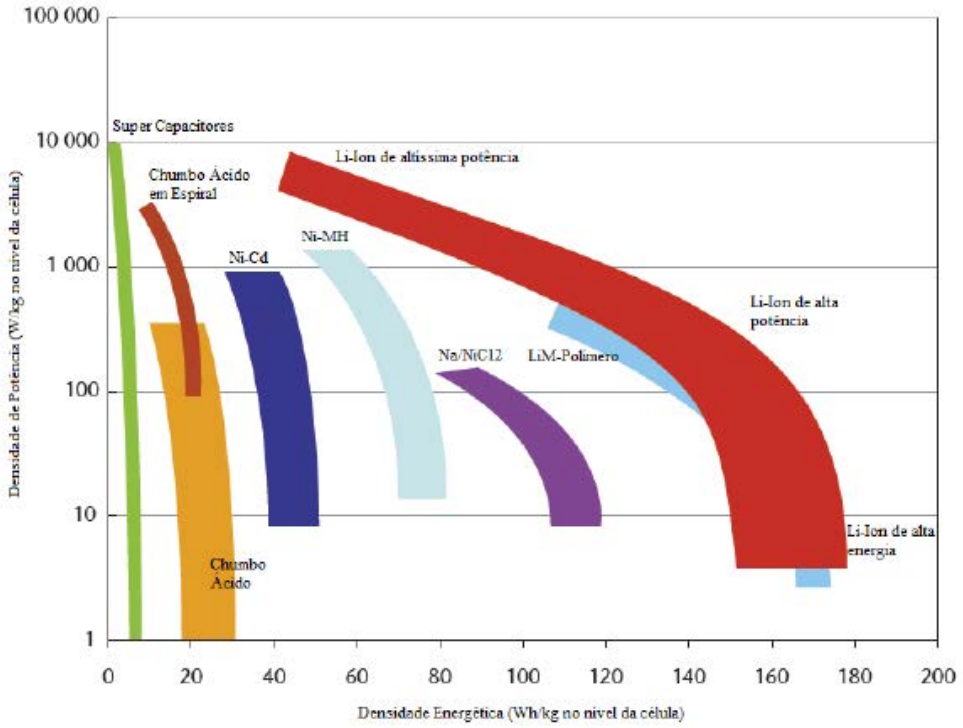
Segundo Rosolem et al.(2012) as principais características das baterias que são determinantes para veículos elétricos são a capacidade de potência (medida em kW) e a energia armazenada (medida em kWh). Algumas características que uma bateria de veículo elétrico deve ter são:

- Alta confiabilidade.
- Alto desempenho (ciclos de vida e profundidade de descarga).
- Alta densidade energética (Wh/kg e Wh/l).
- Ampla faixa de temperatura de operação.
- Tempo de recarga reduzido.
- Vida útil elevada.
- Peso e volume reduzidos.
- Custo razoável.
- Segurança.
- Não agressividade ao meio ambiente.

Para Baran (2012) conforme o uso e com o passar do tempo, o desempenho da bateria (o que inclui potência, capacidade de armazenamento e segurança) pode se degradar. Os principais indicadores da longevidade da bateria são: tempo de uso, número de ciclos profundos, número de ciclos rasos e temperatura.

Quando se compara diferentes tecnologias de baterias, é comum utilizar a densidade de potência (ou potência por quilograma da bateria (W/kg)) e a densidade energética (ou energia por quilograma de bateria (Wh/kg)) como parâmetros. A Figura 42 compara as densidades de energia e de potência de diversos tipos de tecnologias de baterias.

Figura 42: Densidade energética e densidade de potência de diferentes tipos de bateria



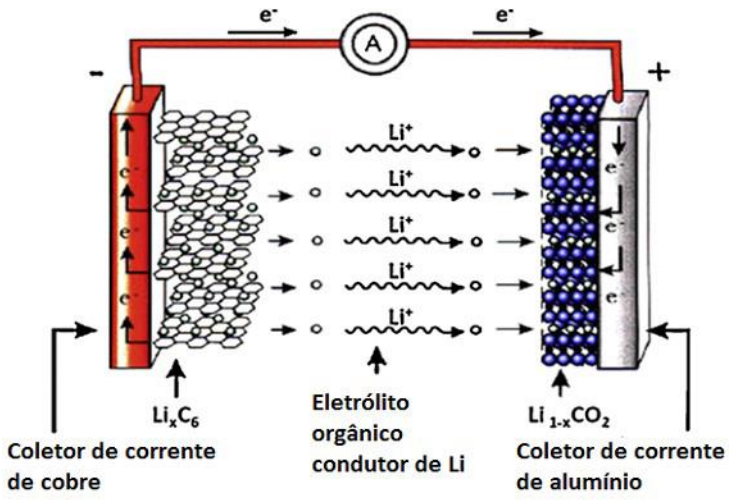
Fonte: (BARAN, 2012)

Como pode ser observado da Figura 42 existe uma relação inversa entre densidade de energia e densidade de potência, porém as baterias de íon-lítio apresentam clara vantagem em relação às demais tecnologias, tanto em termos de energia quanto de potência por unidade de massa, uma vez que o lítio é um elemento pequeno, leve e apresenta um alto potencial redox, essa característica constitui um dos principais atrativos para a utilização desta tecnologia como fonte de energia para veículos elétricos e híbridos.

De acordo com Rosolem et al.(2012) em uma bateria de íon – lítio os materiais ativos de ambos os eletrodos, ânodo e cátodo, possuem compostos com propriedades de intercalação, isto é, possibilitam inserir e extrair íons de lítios de modo reversível entre os dois eletrodos, com a concomitante remoção e adição de elétrons pelo circuito externo da bateria. Nesse tipo de bateria, o íon de lítio não sofre processo de oxidação e redução – ele somente é inserido e extraído dos materiais dos eletrodos.

A oxidação e a redução ocorrem em outros componentes constituintes dos materiais dos eletrodos positivos e negativos (grafite, cobalto, manganês, ferrofosfato, etc) a Figura 43 apresenta um esquema do funcionamento da bateria de íons de lítio.

Figura 43: Esquema de funcionamento de uma bateria de íons de lítio



Fonte: Rosolem et al.(2012)

O material mais utilizado no eletrodo negativo é o grafite, sendo o eletrodo positivo composto por materiais à base de óxidos metálicos de lítio, tais como: $LiCoO_2$, $LiNiO_2$ e $LiFePO_4$. O eletrólito normalmente é um sal de lítio ($LiPF_6$) diluído em solventes orgânicos e embebido num separador (material isolante elétrico polimérico, que possui porosidade suficiente para o transporte dos íons de lítio e é inerte perante o eletrólito e materiais dos eletrodos). As baterias de lítio possuem as seguintes vantagens (ROSOLEM et al., 2012):

- **Tensão elevada**: a bateria de lítio possui tensão mais elevada que a de níquel-hidreto metálico (NiMH) e a bateria de chumbo-ácido.
- **Elevada energia específica:** das tecnologias atualmente aplicáveis em VE, a bateria de lítio é a que apresenta maior energia específica – o dobro em relação à bateria de níquel-hidreto metálico e quatro vezes superior à bateria chumbo-ácida.

- **Elevado número de ciclos de carga e descarga**: as baterias de lítio-íon apresentam excelente desempenho em ciclabilidade, sendo que várias tecnologias conseguem atingir capacidade igual ou superior a 80% em relação ao seu valor nominal quando submetidas a mais de 1.000 ciclos de carga/descarga.

Essas características colocam as baterias a base de íon-lítio em posição de destaque para a aplicação em veículos elétricos e híbridos.

5.2 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERÍSTICAS DAS RESERVAS NATURAIS DE LÍTIO

Segundo Braga e Sampaio (2008) o metal lítio foi descoberto em 1817, por Arfwedson quando este estudava as propriedades do mineral conhecido como petalita ($LiAlSi_4O_{10}$) porém Arfwedson não foi capaz de isolar o metal. Em 1855 Bunsen e Matthiessen, usando a técnica de eletrólise do cloreto de lítio fundido, isolaram o lítio. O lítio é um metal branco-prateado e é o mais leve de todos os metais, com massa específica de 0,534 g/cm^3, tem um elevado potencial eletroquímico (assim como todos os elementos da família dos metais alcalinos), é encontrado nas rochas magmáticas e é um dos metais com maior densidade energética, características muito atrativas para utilização em sistemas de armazenamento de energia, que necessitam de elevadas densidades de potência e energia como para aplicações em veículos elétricos e híbridos.

O lítio, devido a ser um metal bastante eletropositivo (grande tendência a doar o elétron da última camada eletrônica), não ocorre livre na natureza e mesmo combinado não se caracteriza como um recurso abundante. É encontrado na forma de um mineral ou como um sal estável (BRAGA; SAMPAIO, 2008).

Ainda de acordo com Braga e Sampaio (2008) na forma mineral o lítio se encontra em pegmatitos silicatados (Os pegmatitos são rochas ígneas com granulometria grossa formadas pela cristalização de líquidos pós-magmáticos). O lítio também ocorre, em altas concentrações, nas salmouras de lagos do deserto da Califórnia (Searles Lake), de Nevada (Clayton Valley) e de Utah (Great Salt Lake). Também é encontrado em numerosas salmouras, no Chile (Atacama, Pedernales e outros), na Bolívia (Salar de Uyuni), na Argentina (Salar del Hombre Muerto, El Rincon), no Tibet (Lake Zabuye), onde foi descoberto o carbonato de lítio natural, e na República Popular da China (Qinghai Basin).

A Figura 44 mostra um exemplo de salar, o salar Uyuni localizado na Bolívia.

Figura 44: Salar de Uyuni, Bolívia

Fonte: http://umhistoriador.wordpress.com

Segundo Braga e Sampaio (2008) na forma mineral o lítio é extraído principalmente do espodumênio e da petalita.

A Tabela 15 apresenta os principais minerais de lítio com seu teor de óxido de lítio. Observa-se que o teor de lítio nos minerais é baixo, tornando dispendiosa a separação.

Tabela 15: Alguns minerais de lítio com seus respectivos teores de óxido de lítio e algumas características físicas

Minerais	**Fórmula**	**% Li_2O típica**
Ambligonita	$LiAl(P0_4)(F,OH)$	5,0
Eucryptita	$LiAl(SiO_4)$	5,0
Lepidolita	$K(Li,Al_3)\ (Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$	3,0 – 4,0
Petalita	$LiAl(Si_4O_{10})$	3,0 – 4,5
Espodumênio	$LiAl(Si_2O_6)$	1,5 – 7,0
Zinnwaldita	$K(Li,Al,Fe)_3(Al,Si)_4O_{10}(F,OH)_2$	2,0 – 5,0

Fonte :Adaptado de (BRAGA; SAMPAIO, 2008)

De acordo com Braga e Sampaio (2008) os lugares onde podem ser encontrados Evaporitos de lítio em salmouras que apresentam viabilidade econômica normalmente são camadas desérticas próximas a vulcões geologicamente recentes (menos de 50 milhões de anos). Eles foram formados pela atividade vulcânica e pela retenção dos sais em bacias de drenagem, a taxa de evaporação, devido à energia solar, maior que a taxa de precipitação pluviométrica, levou ao enriquecimento na forma de elementos contidos (Mg, Na, K, Li, I, B).

5.3 RESERVAS MUNDIAIS DE LÍTIO CONFIRMADAS E POSICIONAMENTO BRASILEIRO

Segundo Garcia (2013) as reservas mundiais de lítio, na forma de óxido de lítio contido (Li_2O), confirmadas até 2012 estavam em torno 12,9 milhões de toneladas, onde o Chile se destacava como detentor de 57,8%, a China com 27,0%, a Austrália com 7,7% e a Argentina com 6,5%, a Bolívia pode ter a maior reserva de lítio do planeta, porém não divulgou seus dados. No Brasil, as reservas lavráveis confirmadas estão sob a forma mineral (espodumênio, ambligonita, lepidolita e petalita) localizadas em Minas Gerais e nos municípios de Araçuaí e Itinga, no Vale do Jequitinhonha e representaram em 2012, 48 mil tonelada (menos de 1% do total mundial) de Li_2O.

Atualmente a produção mundial de concentrados de lítio continua em alta, liderada por Chile, Austrália e China. Em 2012 foram produzidas no mundo 36.410 toneladas de concentrados com Li_2O contido, equivalente a um crescimento de 6,7% em relação a 2011 (GARCIA, 2013).

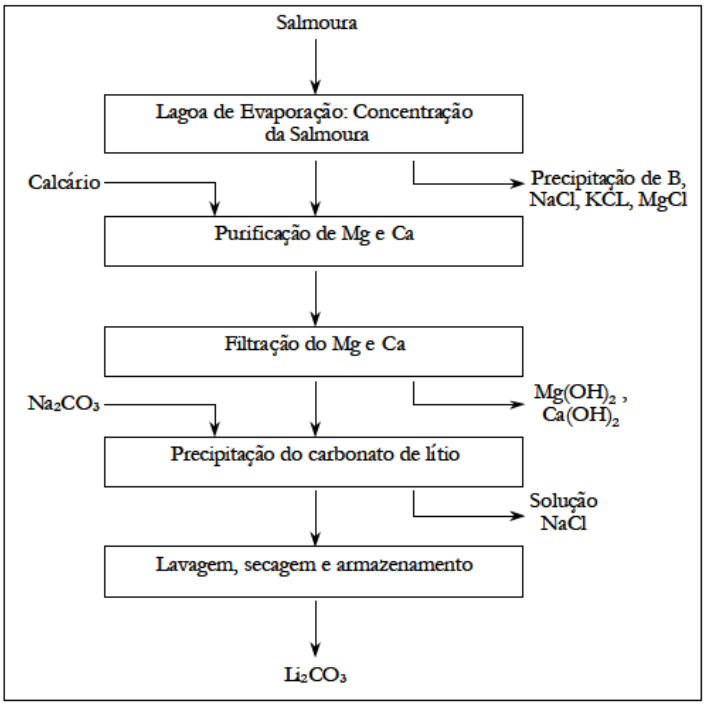
No atual momento a produção brasileira de compostos de lítio continua a ser destinada para usos convencionais (graxas e lubrificantes). Outros usos estão na indústria metalúrgica (alumínio primário), cerâmica e nuclear (selante de reatores), atualmente não são produzidos compostos de lítio para fabricação de baterias e há uma reavaliação de reservas sendo feita pela parceria de empresas do setor de mineração.

5.4 PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO DO LÍTIO A PARTIR DE SALMOURAS E FORMA MINERAL

Segundo Braga e Sampaio (2008) os métodos utilizados na extração e processamento de salmouras ricas em lítio são mais simples e mais baratos que os métodos empregados na extração de lítio a partir de minerais pegmatílicos. Como exemplo é citado o Salar de Atacama, no Chile onde as salmoura são bombeadas de uma profundidade de 30 m, para lagoas de evaporação na superfície, então o NaCl cristalizado é retirado das lagoas, e a salmoura remanescente, enriquecida com potássio, lítio e boro, é bombeada para novas lagoas de evaporação, onde são precipitados na forma de silvita. Após a remoção destes, a salmoura remanescente contém 1% de Li e, depois de contínuas evaporações, é precipitada no seu ponto de saturação, com 6% de Li (equivalente a 38% de LiCl), mais 1,8% de Mg e 0,8% de B. O produto cristalizado é purificado para retirada de Mg e B e depois encaminhado à usina de carbonato de lítio.

A Figura 45 ilustra o processo em diagrama de blocos.

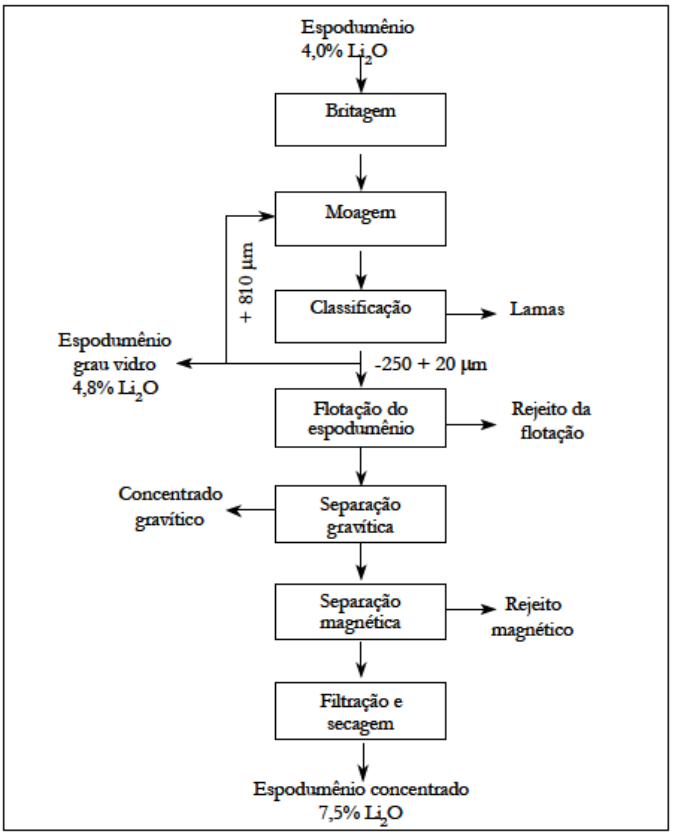
Figura 45: Processo de obtenção de carbonato de lítio a partir de salmouras



Fonte: (BRAGA; SAMPAIO, 2008)

Com respeito à obtenção de lítio a partir de minérios as operações são bastante dispendiosas devido ao baixo teor do metal . A Figura 46 mostra o diagrama em blocos do processo de obtenção do lítio a partir do espodumênio.

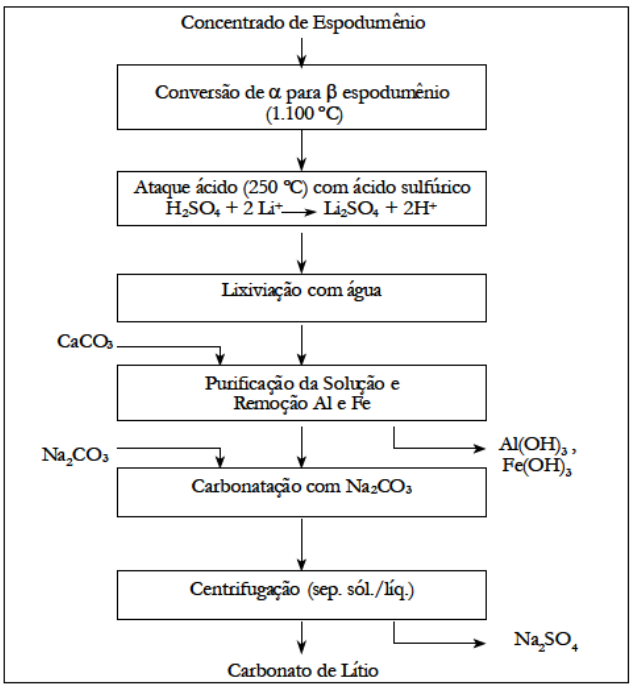
Figura 46: Processo de concentração do espodumênio



Fonte: (BRAGA; SAMPAIO, 2008)

De acordo com Braga e Sampaio (2008) no Brasil a produção industrial de compostos de lítio é obtida diretamente do mineral espodumênio. O concentrado de lítio requer uma etapa específica de tratamento térmico (decrepitação) em fornos calcinadores rotativos a 1.000-1.100°C, para conversão do α-espodumênio em β-espodumênio. Então é adicionado ao concentrado uma solução ácida ou básica, de modo a se obter no final um carbonato ou um hidróxido de lítio respectivamente. Normalmente o ácido utilizado no processo é o ácido sulfúrico, como agente lixiviante, o sulfato de lítio formado é então lixiviado com água, purificado e precipitado para a obtenção do carbonato de lítio. O processo ácido em diagrama de blocos é apresentado na Figura 47.

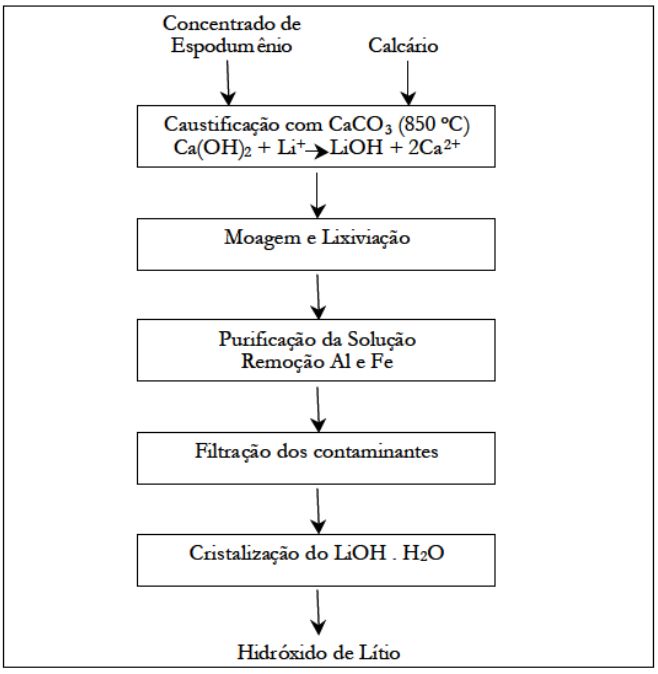
Figura 47: Processo ácido para a obtenção do carbonato de lítio



Fonte: (BRAGA; SAMPAIO, 2008)

O processo alcalino de obtenção de hidróxido de lítio a partir do espodumênio concentrado é mostrado na Figura 48.

Figura 48: Processo básico para a obtenção do hidróxido de lítio



Fonte: (BRAGA; SAMPAIO, 2008)

Atualmente, os minerais de lítio, como a petalita e o espodumênio, têm seu uso exclusivo como um mineral industrial, com aplicações específicas na indústria de vidros e cerâmicas, não sendo mais utilizados para produção de compostos de lítio (carbonato e hidróxido). No Brasil, a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) faz a lavra subterrânea de minério de lítio, em pegmatitos, nos municípios de Araçuaí e Itinga-MG. O concentrado de lítio produzido é transferido para a fábrica da CBL, em Divisa Alegre, MG, na qual é transformado em carbonato e hidróxido (BRAGA; SAMPAIO, 2008).

5.5 DESCARTE DE BATERIAS

Segundo Reidler e Günther (2003) a primeira legislação brasileira específica sobre descarte de pilhas e baterias ocorreu em 1999 (Resoluções CONAMA: nº 257, de 30/06/99; e nº 263, de 12/11/99), porém a legislação abrange somente pilhas e baterias que contêm mercúrio, chumbo e cádmio. Algumas Pilhas e baterias que não são regulamentadas pela legislação brasileira, sendo permitido seu descarte junto ao resíduo sólido comum são:

- **Pilhas de Lítio (Li):** São isentas de Hg e de Cd, porém deveriam ser coletadas, tratadas e dispostas adequadamente, devido a várias outras substâncias tóxicas presentes em seu sistema, como por exemplo, Cobalto e lantanídeos.
- **Baterias de Níquel-Metal Hidreto (Ni-MH):** A liga de MH é composta basicamente por quatro metais: níquel; vanádio; titânio; e nióbio, os quais formam hidretos superficiais transitórios, que fazem o papel do cádmio na tradicional bateria de Ni-Cd. Outras baterias utilizam como componentes da liga MH, metais extremamente tóxicos como: cromo; estanho; antimônio; alumínio; cobalto; zircônio; germânio, lantânio e seus compostos; deveriam ser segregadas, armazenadas, tratadas e dispostas adequadamente, apesar de a legislação brasileira não exigir tais procedimentos.
- **Bateria de Lítio-íon (Li-íon):** Deve-se evitar: altas temperaturas; vazamentos de líquidos; ondas eletromagnéticas; impactos mecânicos; incineração; e outras condições anormais de segurança, pois correm riscos de explosão ou de vazamento. Deveriam ser coletadas, armazenadas, tratadas e dispostas adequadamente, mesmo quando exauridas, apesar de a legislação brasileira não exigir tais procedimentos.

5.6 RISCOS DOS METAIS PESADOS NOS ECOSSISTEMAS E TOXIDADE

De acordo com Reidler e Günther (2003), a presença de metais pesados no ambiente pode causar alguns efeitos biológicos, uma vez que muitos dos metais são tóxicos a todo tipo de vida a partir de determinadas concentrações, levando a danos ao meio ambiente e aos seres vivos, muitas vezes graves e irreversíveis. Quando um elemento potencialmente tóxico é absorvido pelo organismo humano, em concentrações elevadas, pode causar danos à sua estrutura, penetrando nas células e alterando seu funcionamento normal, com inibição das atividades enzimáticas. Em alguns casos, os sintomas da intoxicação só serão observados em longo prazo, pois vários serão os fatores interferentes nos efeitos negativos causados por esses elementos.

Os metais pesados presentes nas pilhas e baterias são introduzidos no meio aquático por lixiviação e no meio aéreo por gases resultantes de processos de incineração, sendo então distribuídos através dos ciclos geológico e biológico. Em presença de água os contaminantes são expostos a diversas transformações químicas e bioquímicas podendo afetar a disponibilidade biológica de modo a diminuí-la ou aumentá-la. Pode ocorrer a bioconcentração em plantas e animais e a incorporação na cadeia alimentar, principalmente, por meio da água e do solo, muitos animais e plantas podem desenvolver uma tolerância para certas concentrações de um metal particular de modo a introduzi-los na cadeia alimentar. As principais vias de introdução no organismo são: através do ar inalado, por via oral (água e alimentos) e por via dérmica (REIDLER; GÜNTHER, 2003).

A Tabela 16 apresenta os principais efeitos à saúde de alguns metais presentes em pilhas e baterias de lítio.

Tabela 16: Efeitos à saúde de alguns componentes de pilhas e baterias de lítio

Componente	Efeitos à saúde
Co	• Lesões pulmonares e no sistema respiratório • Distúrbios hematológicos • Lesões e irritação na pele • Distúrbios gastrintestinais • Efeitos cardíacos
Ni	• Câncer • Lesões no sistema respiratório • Distúrbios gastrintestinais • Alterações no sistema imunológico • Dermatites • Teratogênico, genotóxico e mutagênico.
Li	• Disfunções renais e respiratórias • Disfunções no sistema neurológico • Cáustico sobre a pele e mucosas • Teratogênico

Fonte: adaptado de (REIDLER; GÜNTHER**,** 2003)

Nem todos os tipos de pilhas e baterias apresentam o mesmo grau de periculosidade. No entanto, do ponto de vista químico, mesmo os metais que representam menores riscos em sua forma elementar, quando descartados sem controle junto com o resíduo sólido comum podem se transformar em substâncias extremamente perigosas e tóxicas à saúde e ao ambiente, pela possibilidade de reação com outras substâncias presentes no resíduo sólido urbano, ou no ecossistema, devido a inúmeros fatores, tais como: condições climáticas e geológicas; características físicas, químicas e bioquímicas do ambiente (REIDLER; GÜNTHER, 2003).

Como pode ser observado da Tabela 16 os metais normalmente presentes em pilhas e baterias de lítio são bastante tóxicos, dessa forma, é preciso se dispor de forma adequada as baterias de lítio após o fim da vida útil, ou reciclá-las, pois muitos elementos utilizados em baterias de lítio são elementos raros na natureza (lantanídeos, por exemplo).

5.7 RESERVAS NACIONAIS DE LÍTIO E O CRESCIMENTO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS.

Como foi visto neste capítulo, atualmente as baterias de lítio são as mais apostadas para aplicação em veículos elétricos e híbridos, devido a sua elevada densidade de energia e devido a sua elevada densidade de potência (Figura 42). Foi visto também que as reservas confirmadas de lítio do Brasil estão sob a forma mineral e atualmente representam menos de 1% do total mundial de óxido de lítio contido, além do fato do Brasil não dominar a tecnologia de fabricação de baterias de íon-lítio, que é atualmente dominada por empresas asiáticas.

Outro limitante é o fato da extração de lítio, a partir de matéria prima mineral, ser muito mais intensa do ponto de vista energético (britagem, moagem, tratamento térmico em fornos calcinadores a 1100 ºC, além de conter etapas com adição de ácidos fortes ou bases fortes) e por isso mais cara que a extração de lítio a partir de salmouras onde o processo é mais simples, envolvendo basicamente sucessivas evaporações e concentrações.

Conclui-se que enquanto o país não desenvolver uma bateria com componentes abundantes no território nacional e compatível, em termos de densidade de energia e densidade de potência, com a bateria de íon-litio, haverá a necessidade de importação de baterias de íon-lítio. Isso leva ao encarecimento do preço final dos modelos elétricos e híbridos em território nacional reduzindo as chances de crescimento de mercado destes modelos.

Outro fator a ser considerado para que o veículo elétrico seja sustentável é a necessidade da criação de uma boa infraestrutura de reciclagem das baterias, para evitar problemas ambientais e pelo motivo de alguns metais componentes serem escassos.

6 PETRÓLEO NO BRASIL E NO MUNDO

6.1 RESERVAS DE PETRÓLEO NO BRASIL E NO MUNDO

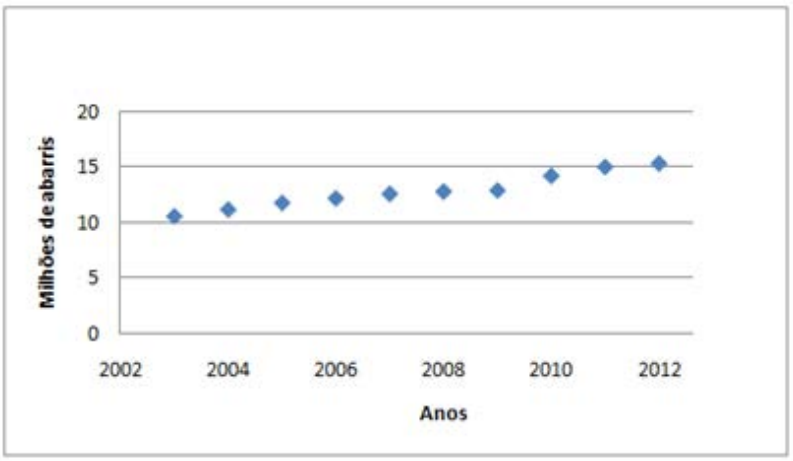
Segundo o anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis de 2013 (ANP, 2013) em 2012, as reservas provadas de petróleo no mundo atingiram a marca de 1,7 trilhão de barris, o que representou um aumento percentual de 0,9% em relação a 2011.

Dentre regiões o Oriente Médio se destacou como região que concentra a maior parte das reservas mundiais, de 2011 para 2012 registrou aumento de 1,2% em suas reservas de petróleo, que chegaram a 807,7 bilhões de barris (48,4% do total mundial), impulsionadas pelo acréscimo de 4,8% nas reservas do Iraque e de 1,6% nas do Irã. Dentre os países, a Venezuela seguiu como detentora do maior volume de reservas petrolíferas, com 297,6 bilhões de barris (17,8% do total mundial) (ANP, 2013).

As reservas das Américas Central e do Sul registraram alta de 0,5%, somando 328,4 bilhões de barris (19,7% do total mundial), impulsionadas por Brasil, Colômbia e Equador, cujas reservas cresceram 1,8%, 10,7% e 14,3%, nesta ordem. Com este incremento, o Brasil ficou na 14ª posição do ranking mundial de reservas provadas de petróleo, com um volume de 15,3 bilhões de barris (ANP, 2013).

A Figura 49 mostra a evolução das reservas provadas de petróleo no Brasil.

Figura 49: Reservas brasileiras provadas de petróleo



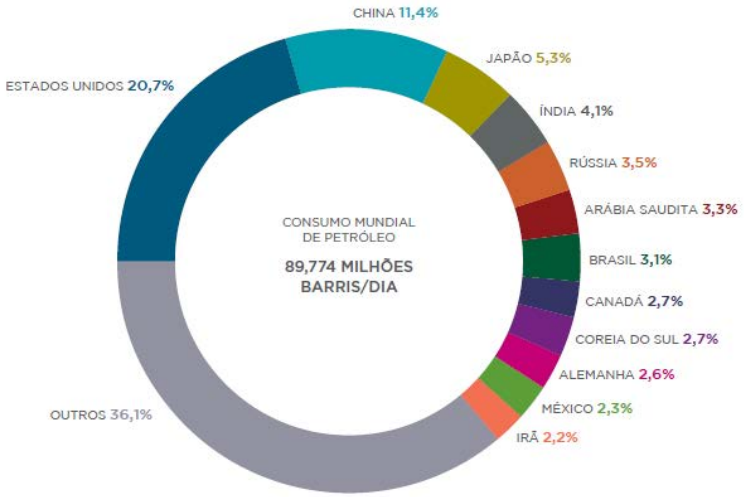
Fonte: Adaptado de (ANP, 2013)

6.2 CONSUMO MUNDIAL DE PETRÓLEO

De acordo com o anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis de 2013 (ANP, 2013) em 2012 o consumo mundial de petróleo atingiu a marca de 89,8 milhões de barris/dia, esse valor significou um aumento de 1 % (+ 895 mil barris/ dia) em relação a 2011, ficando abaixo da média de crescimento de 1,3 % dos últimos 10 anos. O Brasil ficou em sétimo lugar, após sofrer um aumento de 2,4 % (64 mil barris/dia) tendo um consumo de 2,8 milhões de barris/dia (3,1 % do total mundo).

A Figura 50 mostra a participação percentual de alguns países no consumo mundial de petróleo.

Figura 50: Participação de alguns países no consumo mundial de petróleo



Fonte: (ANP, 2013)

Analisando o volume de reservas provadas mundiais de petróleo (1,7 trilhões de barris) e o consumo atual diário (89,8 milhões de barris/ dia) pode-se observar a limitação do petróleo como insumo energético, pois mesmo que a demanda mundial continue em torno de 89,8 milhões de barris/ dia e não fosse provada a existência de mais reservas, a duração máxima das reservas atuais seria:

Duração= $1{,}7.10^{12}$ barris / $89{,}8.\ 10^{6}$ barris/dia = $0{,}019.10^{6}$ dias.

Em anos: Duração = $1{,}9\ .\ 10^{4}$ dias / 365 dias/ano = 52 anos.

Ou seja, mesmo que a demanda mundial estacionasse em 89,8 milhões de barris/dia e não fosse provada a existência de mais reservas o horizonte máximo de consumo estaria em torno de 50 anos. Contudo pelas análises já realizadas sabemos que existem fortes indícios de aumento da demanda de petróleo, de modo que, se não for provada a existência de novas reservas, esse horizonte deve ficar bem mais curto e o petróleo deve ficar economicamente inviável como combustível em não mais que 50 anos.

Desta forma o petróleo é um recurso finito e à medida que se torna mais escasso seu preço tende a aumentar até níveis em que não se torna mais economicamente viável como recurso energético, deve-se questionar, portanto, se investimentos na indústria petrolífera terão sentido em longo prazo e quais devem ser os investimentos dispensados a fim de restringir a utilização dos derivados, através de políticas para dar maior eficiência ao setor de transportes e a valorização de modais menos intensivos em energia.

Paralelamente se deve incentivar fontes de energia alternativa para que estas se tornem viáveis e comercializáveis numa escala capaz de substituir o petróleo.

6.3 RESERVAS, PRODUÇÃO E CONSUMO DE PETRÓLEO NO BRASIL

O anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis de 2013 (ANP, 2013), concluiu que no final de 2012 as reservas totais de petróleo do Brasil atingiram a marca de 28,6 bilhões de barris, o que representou um decréscimo de 5,1% em relação a 2011. Já as reservas provadas aumentaram 1,8%, totalizando 15,3 bilhões de barris. Das reservas provadas, 94% se localizavam no mar, com destaque para o Rio de Janeiro (que deteve 84,8% das reservas provadas offshore e 79,7% do total). Em 2012, o Brasil ocupou a 14ª posição no ranking mundial de países com as maiores reservas provadas de petróleo.

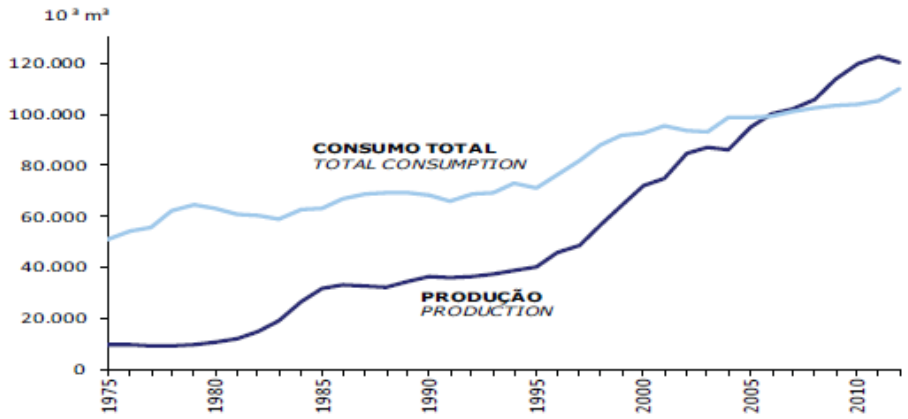
Em 2012, a produção nacional de petróleo diminuiu 1,8%, atingindo 754,4 milhões de barris (2,06 milhões de barris/dia), o que situou o Brasil na 13ª colocação do ranking mundial de produtores de petróleo. No acumulado dos últimos 10 anos, o crescimento médio da produção foi de 3,7%. A relação reserva/produção (R/P) de petróleo passou de 19,4 anos, em 2003, para 20,3 anos em 2012, crescendo a uma taxa média de 0,5% ao ano no período (ANP, 2013).

Segundo a Petrobrás (PETROBRÁS, 2014) no ano de 2014 a extração de petróleo na camada pré-sal atingiu a marca de 500 mil barris/ dia, um fato bastante impactante, dado que as primeiras descobertas ocorreram em 2006, ou seja, em apenas 8 anos de exploração e contando com 25 poços produtores atingiu-se a marca de 500 mil barris/dia . A companhia destaca que desde o início da exploração de petróleo foram necessários 31 anos de exploração para que a marca de 500 mil barris/dia fosse atingida, com a contribuição de 4108 poços produtores em 1984. Quando comparada com a Bacia de Campos foram necessários 21 anos e a contribuição de 411 poços para que a atual marca fosse atingida, tais fatos demonstram o grande potencial da camada pré-sal.

A camada pré-sal tem atualmente uma produção que corresponde a 20 % da produção total nacional. A Petrobras ainda prevê que até 2018 a camada pré-sal será responsável por 52 % da produção de petróleo da companhia. Esse grande potencial de produção segundo a Petrobrás coloca o país em uma posição estratégica frente à grande demanda de energia mundial para as próximas décadas (PETROBRÁS, 2014).

Segundo o anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis de 2013 (ANP, 2013) a camada do pré-sal contribuiu para aumentar em 50 % as reservas provadas de petróleo no Brasil em relação às reservas de 10 anos atrás quando o petróleo da camada pré-sal ainda não tinha sido descoberto. Esses novos blocos de petróleo colocaram o Brasil em uma posição de relativa independência na relação interna consumo / produção como pode ser verificado na Figura 51.

Figura 51: Produção versus consumo de petróleo no Brasil



Fonte: (BEN, 2013)

Da análise da Figura 51 observa-se que a partir de 2006 (primeiras descobertas de petróleo na camada pré-sal) o país produz mais petróleo do que consome, o que o coloca em uma posição de relativa independência em relação a este insumo.

6.4 IMPACTOS DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA E INTERESSES POLÍTICOS EM TORNO DO PETRÓLEO NA IMPLANTAÇÃO DE FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS.

Como foi analisado neste capítulo as descobertas de petróleo na camada pré-sal colocaram o país em uma posição de destaque internacional em relação a este insumo, sendo que atualmente o país ocupa a 14ª posição no ranking de reservas provadas de petróleo e é o sétimo maior consumidor do insumo. Apesar de atualmente ainda importar derivados de petróleo, esse posicionamento coloca o país em uma posição de relativa independência com respeito a este insumo.

Deve-se considerar que apesar do petróleo ser um recurso não renovável, com a possibilidade de escassez em um futuro próximo, atualmente é um insumo que move um grande volume monetário na economia mundial, atrelando a ele uma grande cadeia de bens e serviços e, portanto, gera um grande interesse econômico e político por parte das nações.

Existe, desta forma, uma grande cadeia de bens e serviços relacionada com a exploração de petróleo que move grandes volumes monetários na economia nacional. Levando em conta que o setor de transportes é atualmente o maior consumidor nacional de derivados de petróleo (Figura 33) pode-se concluir que dificilmente o governo irá apoiar maciçamente tecnologias automotivas que dispensem totalmente a uso de combustíveis derivados de petróleo ou de etanol.

Assim, desse ponto de vista, é esperado que o governo de maior apoio ao crescimento de frotas de veículos híbridos ao invés de apoiar o crescimento de frotas de veículos elétricos.

7 CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE ALGUNS MODELOS

7.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS: VANTAGENS E DESVANTAGENS

As vantagens comumente apontadas para veículos elétricos segundo Rezende, Mota e Duarte (2010); Barbosa, Oliveira e Souza (2010); Cesvi(2011); Erber(2010); Rocha(2013); Noce(2009); Tanaka(2013) e Lopes(2010) são:

- **Grande redução da poluição ambiental:** Devido ao fato do veículo elétrico não emitir poluente quando em operação**.**
- **Gasto operacional pequeno quando comparado com um veículo de combustão interna:** Pois a energia elétrica é mais barata quando comparada com combustíveis de origem fóssil. Os gastos seriam da ordem de 3,5 vezes menor que o de um veículo convencional (ROCHA, 2013).
- **Diminuição da poluição sonora**: Motores elétricos praticamente não emitem ruídos.
- **Não consome energia quando fica parado no transito**: O motor elétrico tem alto torque em baixa rotação, de modo que não é necessário manter o mesmo ligado em paradas do veículo.
- **Possibilidade de integração do veículo à rede elétrica no conceito de Smart Grid.**
- **Maior eficiência em operação:** Devido a maior eficiência do motor elétrico (normalmente entre 90 a 95%) em comparação com o motor de combustão interna (normalmente inferior a 30 %).
- **Menor necessidade de manutenção em comparação a um veículo convencional:** Não há caixa de engrenagens, existe menor quantidade de partes móveis no motor elétrico em relação a um motor de combustão interna, não há necessidade de trocas de óleo, não há bomba de combustível, etc.
- **Elevado torque de partida:** Devido às características do motor elétrico, que exerce alto valor de torque em baixa rotação, não há a necessidade de sistemas de embreagem e câmbio, que dissipam até 20 % da energia (CESVI, 2011).

De acordo com Rocha (2013) quanto ao quesito de emissão de poluentes deve-se considerar que em operação de fato os veículos elétricos não emitem poluentes gasosos, contudo dependendo da matriz energética mais ou menos emissões podem ocorrer na geração elétrica (fato já discutido e detalhado no capítulo 4), principalmente se a geração for em usinas termelétricas que utilizam carvão mineral (caso da China por exemplo). Assim para ser realmente eficiente do ponto de vista ambiental a energia empregada no carregamento das baterias deve ser gerada a partir de fontes renováveis.

Um ponto importante é a necessidade da criação de uma infraestrutura de reciclagem dos metais das baterias, sem a qual o veículo elétrico não seria sustentável, uma vez que os metais empregados nas baterias ocorrem em quantidades reduzidas mundialmente e vários componentes empregados em baterias tem toxidades variadas que podem causar muito prejuízo à saúde humana se não forem corretamente tratados (conforme visto no capítulo 5), assim o descarte de baterias de maneira inadequada após o fim da vida útil não só levaria a insustentabilidade do veículo elétrico como levaria a degradação ambiental.

Segundo cesvi (2011), embora o veículo elétrico necessite de menos manutenção do que um veículo convencional deve-se atentar para o fato que na possibilidade de haver uma frota considerável desse tipo de veículo, haverá a necessidade de treinamento dos reparadores veiculares, pois a reparação de um veículo elétrico rompe com os padrões e práticas de reparação que são feitas nos veículos com motores a combustão interna, assim, na hipótese da existência de uma frota considerável de veículos elétricos os reparadores automotivos terão que atualizar seus conhecimentos para a manutenção deste tipo de veículo, pois a propulsão elétrica demanda procedimentos específicos no reparo, como, por exemplo:

- Identificar rotas de cabos dos circuitos eletrônicos de potência, e dos dispositivos de controle, como inversores e conversores elétricos.
- Elimina a necessidade de acoplamento por correias para dispositivos de assistência periféricos, como ar-condicionado, direção hidráulica e alternador.
- Elimina a necessidade de troca de óleo.
- O sistema que gerencia o funcionamento do motor elétrico não é mais o mesmo da injeção eletrônica, e sim um exclusivo para gerenciamento do fluxo elétrico entre a bateria e o motor.
- Nos veículos elétricos, tanto o freio quanto a transmissão exploram princípios elétricos.

As Desvantagens associadas a carros elétricos segundo Rezende, Mota e Duarte (2010); Barbosa, Oliveira e Souza (2010); Cesvi(2011); Erber(2010); Rocha(2013); Noce(2009) e Tanaka(2013) são:

- **Preço bastante elevado:** o preço está muito além do poder de compra da maioria dos consumidores, da ordem de R$ 200.000, 00 para a maioria dos modelos no atual cenário brasileiro.
- **Baixa autonomia:** normalmente entre 100 e 200 km para os modelos atualmente disponíveis no mercado**.**
- **Inexistência de infraestrutura adequada para carregamento rápido no caso do Brasil.**
- **Tempo de recarga muito alto:** Em torno de 8h em uma tomada de 110 V e 4 h em tomadas de 220 V.
- **Necessidade de troca das baterias após o fim da vida útil:** o que representa um elevado investimento dado o preço das baterias.

O Alto preço dos veículos elétricos está associado ao alto custo das baterias, que atualmente são baseadas em íons de lítio, por apresentarem maior densidade de energia que as demais, e também está relacionado a fatores políticos, como a alta carga tributária incidente sobre a importação deste tipo de veículo para o caso do Brasil (ROCHA, 2013; COUTINHO, CASTRO E FERREIRA, 2010).

O preço e a autonomia são fatores limitantes ao crescimento de mercado dos veículos elétricos, uma vez que no ato da compra o consumidor irá optar por um veículo de preço acessível a sua renda e com uma autonomia que permita a ele realizar qualquer tipo de viagem para qualquer localidade do território nacional, sem problemas adicionais de operacionalidade do veículo.

Altos tempos de recarga também são fatores que podem inibir o interesse do consumidor em adquirir um modelo elétrico, pois, em geral, o consumidor não estará pré-disposto a gastar de 4 a 8 h para carregar as baterias do seu veículo durante um percurso, assim a falta de infraestrutura de carregamento rápido se torna um grande obstáculo para o crescimento de mercado de veículos elétricos no Brasil.

7.2 ALGUNS MODELOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS DISPONÍVEIS NO MERCADO OU EM FASE DE TESTE.

7.2.1 Nissan Leaf

O Nissan Leaf é um dos modelos elétricos mais vendidos atualmente e segundo informações retiradas do catálogo (NISSAN, 2014), a autonomia do modelo é de 199 km. O painel de instruções ajuda a maximizar a autonomia do veículo mostrando o consumo instantâneo de energia e de regeneração, o estado da carga, a energia restante, os níveis de capacidade das baterias e a distância que poderá percorrer até ficar sem carga.

Segundo informações do catálogo o carregamento em estações de carregamento rápido leva 30 minutos, com a bateria atingindo 80 % da carga total, em uma unidade de carregamento doméstico o tempo de recarga é de 8h (em potência de 3,6 kW) ou 4h (em potência de 6,6 kW).

O Modelo Nissan Leaf é oferecido em 4 versões (Leaf Acenta, Leaf Tekna, Leaf Visia e Leaf Visia+) cujas diferenças se baseiam basicamente nas opções de acessórios. Na Tabela 17 são apresentadas algumas informações técnicas do Modelo Nissan Leaf, conforme informado no catálogo do fabricante.

Tabela 17: Informações técnicas do modelo Nissan Leaf 2014

Motor e Transmissão	
Tipo de motor	AC síncrono
Potência máxima do motor (kW / rpm)	80/ 3008 – 10000
Binário máximo (N.m)	254
Tração	Dianteira
Bateria e Recarga	
Tipo	Laminada de íons 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
Pesos e dimensões	
Peso bruto (kg)	1945
Carga máxima (kg)	395
Comprimento/Largura/Altura (mm)	4445/1770/1550
Distância entre eixos (mm)	2700
Capacidade bagageira (l)	370 (Visia, Visia+ e Acenta); 355 (Tekna)
Performance	
Autonomia (km)	199
Velocidade máxima (km/h)	144

Fonte: Adaptado de (NISSAN, 2014)

A Figura 52 apresenta um modelo do Nissan Leaf.

Figura 52: Nissan Leaf

Fonte: http://www.kbb.com/car-pictures

Caso o modelo Leaf fosse disponibilizado para compra no Brasil seu valor estaria em torno de R$ 210.000,00, razão pela qual no atual momento não existem modelos Nissan Leaf disponíveis no mercado nacional. O presidente da Nissan no Brasil, Christian Meunier, afirmou que para ser competitivo o preço do Nissan Leaf, no mercado nacional, deveria estar próximo ao preço de um Honda Civic, que varia de R$ 70.000,00 a R$ 100.000,00. Para chegar a esse preço no momento atual, além de incentivo fiscal, o governo precisaria oferecer bônus para a aquisição, como já ocorre em alguns países, assim atualmente não existe interesse por parte da Nissan de importar modelos ou fabricá-los no Brasil (RIATO, 2011).

7.2.2 Mitsubishi i – MiEV

O i – MiEV é um modelo puramente elétrico desenvolvido em parceira da Mitsubishi com a Citroën e a Peugeot, começou a ser vendido em 2009 nos mercados europeus e Japão, antes de outros modelos como o Nissan Leaf, que entraram em cena em 2010 (BRITO, 2011).

A Figura 53 apresenta o modelo i – MiEV.

Figura 53 : i-MiEV

Fonte: http://www.goingelectric.de/elektroautos/mitsubishi-i-miev/

Algumas características técnicas do modelo i – MiEV são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18: Algumas características técnicas do modelo i-MiEV

Posição do motor	Dianteira
Tipo do motor	Síncrono de ímã permanente
Potência máxima	67 cv / 2500 – 8000 rpm
Potência nominal	48 cv
Tipo de baterias	Baterias de íons de lítio
Voltagem total das baterias	330 V
Capacidade de carga das baterias	16 kWh
Carga convencional	6h
Carga rápida	30 min
Peso	1110 kg
Peso máximo	1450 kg
Capacidade do porta malas	235 l
Velocidade máxima	130 km/h
Aceleração de 0 a 100 km/h	15,9 s
Consumo de energia elétrica	0,135 kWh/km
Autonomia	150 km
Número de lugares	4

Fonte: http://www.arpem.com

Com a atual carga tributária brasileira e sem incentivos governamentais o preço do modelo i-MiEV no Brasil está em torno de R$ 200.000,00, inviabilizando o crescimento de mercado desse modelo (BRITO, 2011).

7.2.3 BMW – i3

O modelo BMW – i3 é o primeiro veículo elétrico da marca para produção em série. De acordo com a marca no Brasil não existiria concorrência, contudo no exterior a marca rivaliza com o Nissan Leaf e outros modelos (OLIVEIRA, 2014).

A Figura 54 apresenta o modelo BMW – i3.

Figura 54: Modelo BMW i3

Fonte: (OLIVEIRA, 2014)

O preço divulgado pela montadora partirá de R$ 225.950,00. Segundo a BMW o modelo no atual momento não causará impactos de vendas e terá vendas limitadas a algumas cidades, porém a montadora afirma que o mercado brasileiro é o maior da América latina para o modelo (OLIVEIRA, 2014).

Algumas características do modelo são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19: Algumas características Técnicas do modelo BMW i3

Potência do motor	170 cv
Torque máximo do motor	25,5 kgf.m
Tração	Traseira
Velocidade máxima	150 km/h
Arranque	Acelera de 0 a 100 km/h em 7,9 s
Autonomia	De 130 a 160 km
Tipo de baterias	De íons de lítio
Tempo de recarga	8 h em uma tomada de 220 V
Durabilidade das baterias	100.000 km e garantia de 8 anos
Número de lugares	4
Peso/capacidade de carga	1315 kg /415 kg
Capacidade do porta malas	260 l

Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA, 2014)

7.3 VEÍCULOS HÍBRIDOS: VANTAGENS E DESVANTAGENS

Os modelos híbridos elétricos se caracterizam como aqueles que empregam tanto motores elétricos como motores a combustão interna em seu sistema de propulsão, o papel do motor a combustão é auxiliar a propulsão do veículo em manobras que demandam grandes potências e acionar um gerador, que carrega as baterias do veículo quando necessário.

Os modelos híbridos apresentam algumas vantagens em relação aos puramente elétricos, sendo que a maior delas é a grande autonomia, podendo superar até mesmo um modelo convencional nesse quesito. Até velocidades da ordem de 70 km/h e em percursos que não exijam muita potência o modelo híbrido pode operar somente utilizando a propulsão elétrica, fato que leva a economia de combustível e redução de emissões locais, dados que essas características são as encontradas nos trânsitos de grandes centros urbanos.

As vantagens comumente apontadas para os veículos híbridos segundo Cesvi(2011); Queiroz(2006); Baran(2012); Catálogo do prius(2014) e Filho(2009) são:

- **Eficiência energética:** Um veículo híbrido faz menos uso do motor à combustão interna do que um veículo convencional, fazendo com que ele use mais frequentemente os motores elétricos de que dispõem, os quais apresentam um rendimento mais elevado que os motores à combustão interna. Segundo Cesvi(2011,p.11) a economia de combustível dos modelos híbridos está entre 25 a 40 % em relação a um modelo convencional, segundo Filho (2009, p.48) a faixa desta economia é de 10 a 50 %. Se o modelo híbrido for do tipo Plug-in ainda existe a opção de carregamento das baterias com a energia da rede elétrica e neste caso a economia de combustível poderá ser de até 65 % (CESVI, 2011, p.11).
- **Redução das emissões de gases de efeito estufa:** A redução de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera é bastante menor com veículos híbridos quando comparada com veículos convencionais. Estimativas apontam para reduções de até 50 % na quantidade de CO_2 emitido (FILHO, 2009, p.48).

- **Custos de Operação menores que os veículos convencionais:** Os custos de operação são mais baratos devido à possibilidade de operar maior tempo utilizando o motor elétrico (em velocidades até da ordem de 70 km/h a propulsão pode ser totalmente elétrica), que utiliza energia provinda das baterias, as quais são carregadas durante frenagens e podem também ser carregadas na rede (Caso o modelo seja Plug-in). Outro fator que determina economia de combustível é o desligamento total do sistema de propulsão quando se realizam paradas, como, por exemplo, nos semáforos.
- **Diminuição da frequência dos reabastecimentos devido à economia de combustíveis.**
- **Não necessitam de investimentos maciços em infraestrutura de carregamento:** pois além do motor elétrico, que depende da carga das baterias, contam com motores à combustão interna, os quais operam com combustíveis convencionais.
- **Possibilidade de produção de energia elétrica em casa:** Embora não seja viável economicamente devido ao preço dos combustíveis fósseis isso seria uma alternativa interessante em situações de emergência, como em panes elétricas.
- **Em geral são mais baratos que os modelos puramente elétricos.**

As principais desvantagens apontadas para os veículos híbridos segundo Cesvi (2011); Queiroz (2006); Baran (2012) e Filho (2009) são:

- **Emitem mais poluentes que os elétricos, pois utilizam motor à combustão interna.**
- **O custo de aquisição é também bastante elevado em comparação com um modelo convencional.**
- **Possuem uma mecânica mais complexa que os veículos elétricos, possuindo maior integração de sistemas mecânicos, sistemas eletrônicos e de controle, de modo que haverá maior necessidade de manutenção**.

Com respeito à redução de emissões os modelos híbridos apresentam uma folga em relação às exigências do PROCONVE fase L6, como pode ser visto na Tabela 20.

Tabela 20: Comparação entre as emissões de modelos híbridos e as requeridas pelo PROCONVE fase L6

Poluente	**Toyota Prius**	**Ford fusion hybrid**	**PROCONVE L6**
CO (g/km)	0,083	0,632	1,3
NO_x (g/km)	0,004	0,008	0,08
HC (g/km)	0,008	0,024	0,3
CO_2 (g/km)	86,0	78,5	Não definido

Fonte: Adaptado do MMA (2011); Inmetro (2013) e Inmetro (2014)

Analisando a Tabela 20 observa-se que os modelos híbridos emitem muito menos que as metas de redução de emissões para a fase L6 do PROCONVE, sendo assim, representam também uma solução do ponto de vista ambiental.

Os veículos híbridos são também vantajosos sobre os convencionais em relação às emissões de CO_2, que não são previstas pelo PROCONVE pelo fato do CO_2 não ser considerado um poluente dado a sua baixa toxidade (MMA, 2011).

7.4 ALGUNS MODELOS HÍBRIDOS DISPONÍVEIS NO MERCADO

7.4.1 Toyota Prius

Segundo informações de catálogo (CATÁLOGO DO PRIUS, 2014) o Prius é primeiro carro híbrido produzido em série no mundo, sendo um sucesso de vendas mundiais. Segundo a Toyota algumas vantagens do modelo incluem:

- Não requer carga externa.
- Não necessita de troca periódica de baterias.
- O sistema mantém a bateria carregada de forma automática.
- Eliminam-se carregamentos e descarregamentos bruscos que diminuem a vida útil.

As características operacionais do Prius, segundo informações de catálogo, são:

- Ao dar a partida, ou ao dirigir em baixas velocidades, o sistema híbrido do Prius utiliza somente o motor elétrico. Caso a carga elétrica das baterias atinja um estado crítico o motor a combustão entra em ação carregando as baterias.
- Em velocidades mais altas e constantes o sistema híbrido monitora as condições de percurso, fazendo o balanceamento entre os motores e otimizando a eficiência.
- Em altas acelerações ou subidas, que demandam maior potência, tem-se o motor a combustão e o motor elétrico trabalhando juntos.
- Durante desacelerações ou frenagens o motor elétrico passa a exercer a função de gerador, transformando energia cinética em energia elétrica e carregando as baterias.
- Ao parar ambos os motores se desligam levando a um menor gasto de energia e menor emissão de CO_2.
- Para ligar os motores novamente de forma instantânea basta um toque no acelerador.

Segundo informações do catálogo (CATÁLOGO DO PRIUS, 2014) o Prius possui um motor a combustão de 1,8 litro VVT-i 16V DOHC (em que a sigla VVT –i significa comando de válvulas variável inteligente e a sigla DOHC significa duplo comando de válvulas no cabeçote) , com 4 cilindros e 99 cv.

Outras especificações técnicas encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21: Especificações técnicas do modelo Toyota Prius 2014

Motorização a combustão	
Motor	1,8 litro VVT-i 16V DOHC
Combustível	Gasolina
Potência (cv/rpm)	99 / 5.200
Torque (kgf.m/rpm)	14,5 / 4.000
Cilindrada (cm^3)	1.798
Alimentação	Injeção eletrônica
Motorização elétrica	
Potência (cv)	82
Torque (kgf.m)	21,1
Dimensões e capacidade	
Capacidade do tanque (l)	45
Comprimento (mm)	4.480
Largura (mm)	1.745
Altura (mm)	1.510
Capacidade do porta malas (l)	445
Peso (kg)	1.415

Fonte: (CATÁLOGO DO PRIUS, 2014)

Quanto ao consumo de combustível, testes do INMETRO apontam que o modelo Prius consome em média 15,7 km /l rodando em cidade e 14, 3 km/l rodando em estrada. O fato de consumir menos rodando em cidade se deve a maior utilização do motor elétrico nos centros urbanos, devido as menores exigências de potência e velocidade (INMETRO, 2014).

A Figura 55 apresenta o modelo Toyota Prius.

Figura 55: Toyota Prius

Fonte: http://images.dealer.com/evox/perspectives/9309/png/9309_31.png

Embora com todas as características de economia de combustível, autonomia e redução de emissões em grandes centros urbanos, o preço ainda é um grande entrave para o crescimento de mercado dos modelos híbridos. Para se ter uma ideia o preço de catálogo do prius 2015 é de R$ 114 .350, 00 (TOYOTA- a, 2015).

7.4.2 Ford Fusion Hybrid

Outro modelo híbrido bastante popular no mercado é o modelo Ford Fusion Hybrid, as características do modelo Ford Fusion Hybrid 2015 segundo a Ford (FORD, 2015) são apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22: Algumas especificações técnicas do modelo Ford Fusion Hybrid

Motor a combustão	2.0 Aktinson
Combustível	Gasolina
Potência do motor a combustão	143 cv
Torque do motor a combustão	175 N.m
Número de cilindros	4
Tração	Dianteira
Transmissão	Sequencial automática eCVT
Volume do tanque de combustível	51 l
Potência do motor elétrico	88 kW
Potência combinada máxima	190 cv
Peso bruto total	2036 kg
Capacidade de carga	386 kg
Capacidade do porta malas	392 l
Comprimento do veículo	4871 mm
Largura do veículo com espelhos	2121 mm

Fonte: (FORD, 2015)

A Figura 56 apresenta o modelo ford fusion hybrid.

Figura 56: Ford Fusion Hybrid

Fonte: http://www.cars.com/ford/fusion-hybrid/

O preço do modelo Ford Fusion Hybrid 2015 no Brasil é a partir de R$ 142.000,00 (FORD, 2015).

Segundo medições do inmetro o Ford Fusion Hybrid apresenta consumo de combustível de 16, 8 km/l na cidade e 15, 8km/ l na estrada (INMETRO, 2013; INMETRO,2014).

7.4.3 Influência da carga tributária no custo dos modelos elétricos e híbridos

O alto custo dos veículos elétricos e híbridos está associado basicamente à alta carga tributária que esses modelos encontram no país e ao elevado custo das bateiras. Para se ter uma ideia de como a carga tributária tem uma participação considerável no preço final observa-se atualmente que os impostos incidentes sobre o preço final são: 35 % de imposto de importação, 25 % de IPI, 13 % de PIS – COFINS e 12 a 18% de ICMS.

Em lei não é nem mesmo definido um IPI específico para a categoria veículos elétricos e híbridos, desta forma, a tributação incidente contribui significativamente para a elevação do custo final destes modelos (TRIGUEIRO, 2013; PEREIRA, 2013; COUTINHO, CASTRO e FERREIRA, 2010).

8 ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS VEÍCULOS HÍBRIDOS E ELÉTRICOS EM RELAÇÃO AOS VEÍCULOS CONVENCIONAIS.

Para a análise de viabilidade econômica dos modelos de automóveis será utilizado o método do valor presente líquido (VPL), o qual tem por critério de decisão de investimento um VPL ≥ 0, sendo que quanto mais positivo, maior o retorno do investimento.

O valor presente líquido de um investimento pode ser definido pela equação (13).

$$\mathrm{VPL} = -\mathrm{INV} + \sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{Fc_t}}{(1+\mathrm{i})^t} \tag{13}$$

Em que:
INV – valor inicial investido no período t=0
Fc_t – fluxos de caixa para cada período t
n – numero de períodos do investimento
i - custo de capital

Na equação (13) i é definido por:

i = custo de oportunidade + inflação + risco (14)

O custo de oportunidade é o que se perde deixando-se de aplicar o valor inicial em um fundo de investimento. Para esse trabalho o custo de oportunidade será tomado como o valor do Certificado de Deposito Interbancário (CDI) que é uma taxa de referência para as aplicações de renda fixa (VARGA; WENGERT, 2011).

A variação do CDI de 2004 a 2014 é dada na Tabela 23.

Tabela 23: Variação do CDI de 2004 a 2014

Ano	CDI
2004	16,15
2005	18,99
2006	15,03
2007	11,81
2008	12,38
2009	9,88
2010	9,75
2011	11,59
2012	8,40
2013	8,06
2014	10,81

Fonte: https://www.cetip.com.br

O valor médio do CDI no período de 2004 a 2014 foi de 12,08 %, conforme pode ser verificado pela Tabela 23.

Para o cálculo do custo de capital (equação 14) é necessário incluir a taxa inflacionária anual. A taxa de inflação é medida através de alguns índices, um deles é o índice de preços ao consumidor amplo (IPCA). A variação do IPCA de 2004 a 2014 é dada na Tabela 24.

Tabela 24: Inflação anual de 2004 a 2014

2004	7,60
2005	5,69
2006	3,14
2007	4,46
2008	5,90
2009	4,31
2010	5,91
2011	6,50
2012	5,84
2013	5,91
2014	6,41

Fonte: IBGE (2015)

O valor médio da taxa inflacionária no período considerado na Tabela 24 foi de 5,61 %.

Para estimar o risco de investimento, será considerado que o investidor opta sempre por investimentos com baixos índices de risco, de modo a ser adotado um valor nulo para este parâmetro.

Com as considerações feitas acima se estima o custo de capital em: i= 17,7 %.

8.1 MODELAMENTO MATEMÁTICA PARA A ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO ELÉTRICO EM RELAÇÃO AO VEÍCULO CONVENCIONAL.

A aquisição de um veículo elétrico (VE) será comparada à aquisição de um veículo convencional (VC) considerando-se:

- O preço de aquisição de ambos os modelos.
- Custos de operação de ambos os modelos.
- Gastos com manutenção preventiva anual.
- Gastos com IPVA.
- Gasto com a substituição da bateria após a vida útil para o veículo elétrico.
- Período de posse do veículo em 10 anos.
- Rodagem média de 15 000 km/ano

Serão desconsiderados no modelo econômico:

- Eventuais custos com troca ou retífica dos motores à combustão interna, pois para o período de utilização proposto normalmente não há a necessidade de retifica ou substituição do motor a combustão interna. Além do fato que o desgaste do motor depende de vários fatores relacionados à correta manutenção preventiva e aos cuidados do usuário na condução do veículo.
- Custos de seguros veiculares.
- Custos comuns aos dois modelos (como: taxa de Licenciamento, custos de estacionamento e higiene).

8.1.1 Cálculo dos custos de operação dos veículos elétrico e convencional.

O custo de operação de um veículo convencional, para um dado período, depende do custo médio do combustível empregado e do consumo de combustível. A equação (15) apresenta uma relação para o cálculo do custo de operação de um veículo convencional.

$$c_{vc} = \frac{C_{mc}}{Q_{Lc}} \tag{15}$$

Em que:
c_{vc} – custo de operação do veículo convencional [R$/km]
C_{mc} – custo médio do combustível empregado [R$/L]
Q_{Lc} – consumo de combustível por quilômetro de um veículo convencional [km/L]

O custo de Operação de um veículo elétrico depende da eficiência energética do veículo e do custo da energia elétrica empregada para recarregar a bateria. A equação (16) apresenta uma relação para o cálculo do custo de operação de um veículo elétrico.

$$c_{ve} = E_k . C_{me} \tag{16}$$

Em que:
c_{ve} – custo de operação do veículo elétrico [R$/km]
E_k – consumo de energia do veículo elétrico por quilômetro rodado [kWh/km]
C_{me} – custo médio de eletricidade para recarga [R$/kWh]

A economia monetária, por quilômetro rodado, do veículo elétrico em relação ao veículo convencional pode ser calculada por:

$$E_{kve} = c_{vc} - c_{ve} \tag{17}$$

Em que:
E_{kve} – economia monetária com a operação do veículo elétrico [R$/km]

A economia relativa com operação do veículo elétrico quando comparado com um veículo convencional, em valor percentual pode ser calculada por:

$$E_{rve} = \frac{(c_{vc} - c_{ve}).100\%}{c_{vc}} \quad (18)$$

E_{rve} – economia relativa percentual do veículo elétrico [%]

O ganho anualizado com a operação de um veículo elétrico em relação a um veículo convencional é dado na equação (19):

$$G_{ove} = (c_{vc} - c_{ve}).Q_a \quad (19)$$

Em que:
G_{ove} – ganho com a operação do veículo elétrico [R$/ano]
Q_a – rodagem anual [km/ano]

Para o cálculo dos custos operacionais é necessário o fornecimento das tarifas de energia elétrica e custo de combustível. Segundo dados da Aneel (2015) as tarifas de energia elétrica, vigentes até 28/07/2015, por concessionária, variaram entre 0,29 e R$ 0,59/kWh. Segundo o Portal Brasil (2015) o preço médio nacional da gasolina está atualmente em torno de R$ 3,29/l (sendo o maior valor de R$ 4,05/l e o menor de R$ 2,88/l). Esses valores serão tomados como parâmetro de referência para a análise de viabilidade econômica.

8.1.2 Cálculo dos gastos com impostos.

Na estimativa dos gastos com impostos será considerado apenas o Imposto sobre a Propriedade de Veículo Automotor (IPVA), pois é o de maior valor significativo e o único dependente do tipo e preço de veículo.

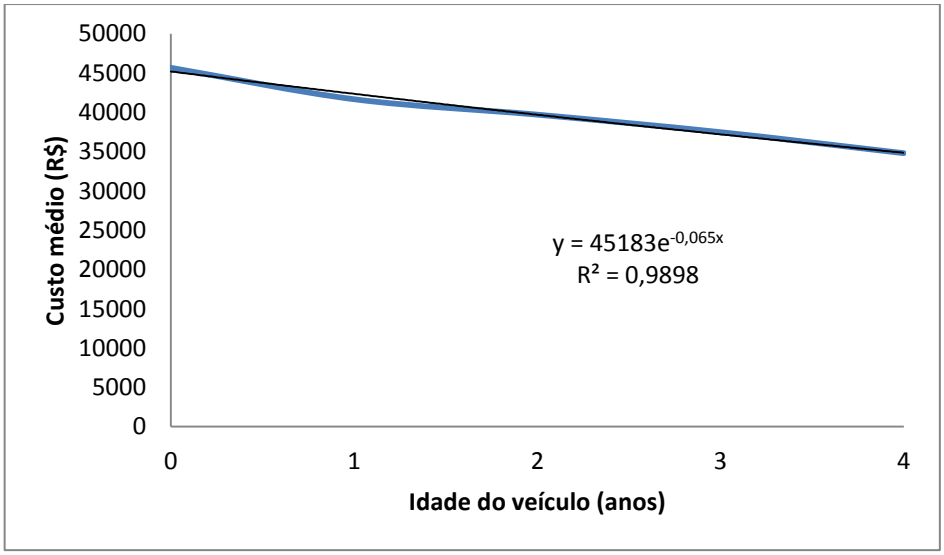
As alíquotas aplicadas no IPVA variam de estado para estado, para o estado de São Paulo tem-se (G1, 2014):

- IPVA = 4% do valor venal do veículo (gasolina ou flex)
- IPVA = 3 % do valor venal do veículo (álcool, elétrico ou a gás)

O valor venal é o valor médio aplicado pelo mercado para um dado veículo e é tabelado, em função do modelo e da idade do veículo, pelo ministério da Fazenda (MF, 2015).

Para fins de cálculo de gastos com IPVA ao longo do tempo optou-se por modelar a depreciação do preço dos veículos em função da idade em anos, para tal foram escolhidos os modelos mais populares de veículos, por marca e faixa de preços (Os modelos escolhidos são especificados no Apêndice B), e uma correlação exponencial foi adotada para o comportamento dos preços médios em função da idade. O resultado obtido é mostrado na Figura 57.

Figura 57: Comportamento do valor venal médio em função da idade do veículo



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da (MF, 2015)

Da Figura 57 pode-se concluir que o valor venal do veículo em função da idade pode ser estimado por:

$$V_v = C_{av}.\, e^{-0{,}065.t} \qquad (20)$$

Em que:

V_v – valor venal [R$]

C_{av} – custo de aquisição do veículo [R$]

t – idade do veículo [anos]

Desta forma os valores de IPVA em função da idade dos veículos podem ser calculados por:

$$\mathrm{IPVA} = \mathrm{t_j}.\mathrm{V_v} \tag{21}$$

Em que:
t_j – taxa percentual de IPVA para a categoria de veículo considerada [%]

Os gastos anuais adicionais com IPVA de um veículo elétrico no atual cenário podem ser calculados por:

$$\mathrm{G_{Ive}} = (\mathrm{IPVA_{ve}} - \mathrm{IPVA_{vc}}) \tag{22}$$

Em que:
$\mathrm{G_{Ive}}$ – gasto adicional com IPVA de veículo elétrico [R$]
$\mathrm{IPVA_{ve}}$ – valor de IPVA pago pela posse de um veículo elétrico [R$]
$\mathrm{IPVA_{vc}}$ – valor de IPVA pago pela posse de um veículo convencional [R$]

Na hipótese do poder público reduzir futuramente a taxa de IPVA para a categoria veículo elétrico ou até mesmo isentar essa categoria desse imposto, o gasto anual da equação (22) se converterá em um ganho anual.

8.1.3 Cálculo dos custos com manutenção.

Os custos com os principais itens de manutenção são mostrados na Tabela 25, na qual os custos obtidos das referências de 2008 e 2009 foram corrigidos levando-se em conta a variação inflacionária média até 2014 (Tabela 24).

Tabela 25: Custos médios com manutenção preventiva de um veículo convencional

Componente	Quando trocar (km)	Custo (R$)
Óleo	De 5.000 a 10.000km, dependendo do óleo.	60 a 120
Filtro de óleo	A cada troca de óleo	30 a 70
Velas (kit)	A cada 20.000 km (uso normal) ou 15.000 km (uso severo)	40 a 150
Cabos de vela (kit)	A cada 40.000 km	100 a 200
Filtro de Combustível	A cada 10.000 km (uso normal) ou 8.000 km (uso severo)	20 a 40
Balanceamento e alinhamento	A cada 10.000 km (uso normal) ou 5.000 km (estradas em má conservação)	60 a 120
Filtro de ar	A cada 15.000 km (uso normal) ou 7.500km (uso severo)	40 a 70
Embreagem (disco + platô)	A cada 60.000 km	100 a 400
Pneu (unidade)	A cada 50.000 km	150 a 300
Amortecedores (kit)	Entre 40.000 a 60.000 km.	200 a 400
Disco de freio (par)	A cada 20.000 km	100 a 200
Pastilhas de freio (par)	A cada 10.000km	100 a 200
Fluido de freio	De 10.000 a 30.000 km	20 a 30
Correia Dentada + tensor	Entre 40.000 e 50.000 km	100 a 200
Óleo de câmbio	A cada 50.000 km	50 a 100

Fonte: Adapatado de (POGGETTO, 2008); (FONSECA, 2009) e (MERCADOLIVRE, 2015)

Considerando que a rodagem anual média do brasileiro é de 15.000 km e os valores médios de custos da Tabela 25, estimou-se o gasto médio anualizado com manutenção de um veículo convencional (C_{mvc}) em:

$$C_{mvc} = \text{R\$ } 1700{,}00 \text{ / ano} \quad (23)$$

Segundo Delicato (2013), um estudo realizado pela audatex (empresa de atuação mundial na área de serviços e reparos automotivos) indicou que em uma rodagem de 120 mil quilômetros, o custo anual de manutenção de um veículo híbrido foi 57,0 % mais caro que o custo anual de manutenção de um veículo convencional, enquanto que o custo de manutenção de um veículo elétrico foi 56,7 % mais barato que o custo de manutenção anual de um veículo convencional.

Neste trabalho, para efeitos de análise econômica, será considerado que o custo de manutenção de um veículo elétrico é 50% menor que o custo de manutenção de um veículo convencional a gasolina. Para o veículo híbrido será considerado um custo de manutenção 50% maior que o custo de manutenção do veículo convencional a gasolina.

Considerando o pressuposto do parágrafo anterior define-se o custo de manutenção de um veículo elétrico por:

$$C_{mve} = i_{mve} \, . \, C_{mvc} \quad (24)$$

Em que:
C_{mve} – custo de manutenção anual médio de um veículo elétrico [R$/ano]
C_{mvc} – custo de manutenção anual médio de um veículo convencional [R$/ano]
i_{mve} – taxa percentual com manutenção do veículo elétrico em relação ao veículo convencional [%]

O ganho anual devido ao menor custo de manutenção do veículo elétrico em relação ao veículo convencional pode ser calculado por:

$$G_{mve} = C_{mvc} - C_{mve} \quad (25)$$

Em que:
G_{mve} – ganho anual com manutenção do veículo elétrico [R$/ano]

8.1.4 Gasto com a troca de bateria de um veículo elétrico.

Para estimar o gasto com a troca de bateria será considerada como parâmetro a vida útil da bateria do modelo BMW-i3 (Tabela 19). Ou seja, a vida útil de uma bateria de veículo elétrico será considera como sendo de 100.000 km.

Rodando a quilometragem anual brasileira media (15.000 km/ano) tem-se a necessidade de troca da bateria em seis anos e meio. Para a análise econômica aqui realizada se considerará a necessidade de troca da bateria no sétimo ano após a compra do veículo elétrico.

Segundo Rolli (2010) o custo de uma bateria para veículo elétrico está entre 50 e 70 % do custo de aquisição do veículo. Para este trabalho será considerado um custo médio de bateria em torno de 50% do custo de aquisição do veículo e posteriormente serão feitas simulações reduzindo o custo para 10% e 0% (caso no qual se despreza o gasto com a troca de bateria) do valor inicial do veículo elétrico.

O gasto com a troca de bateria pode ser definido como:

$$G_{bve} = i_{bve}.C_{cve} \quad (26)$$

Em que:

G_{bve} – gasto com a aquisição de uma bateria de veículo elétrico [R$]

I_{bve} – percentual do custo da bateria em relação ao custo do veículo [%]

C_{cve} – custo de aquisição do veículo elétrico [R$]

8.1.5 Resultados da análise econômica para o veículo elétrico.

Neste trabalho foram simulados quatro cenários econômicos, tendo como base os seguintes pressupostos:

- Ambos os modelos de veículo percorrem anualmente a média nacional de 15.000 km/ano.
- O veículo elétrico tem consumo energético igual ao do Nissan Leaf.
- A bateria do veículo elétrico tem uma vida útil de 100.000 km.
- O custo de capital é de 17,7%.
- Taxa de IPVA de 4% para veículos a gasolina.
- Custo de manutenção anual do veículo convencional fixo em R$ 1700,00/ano.

A seguir são apresentados os resultados da análise de viabilidade econômica para os cenários considerados.

8.1.5.1 Cenário econômico atual.

No cenário econômico atual tem-se um custo de energia elétrica médio de R$ 0,45/kWh (ANEEL, 2015) e um custo de gasolina médio de R$ 3,30/L (PORTAL BRASIL, 2015).

Para avaliar a viabilidade econômica do veículo elétrico no cenário atual o custo de aquisição foi fixado em R$ 200.000,00 (valor aproximado que os modelos custariam atualmente no Brasil, conforme visto no capítulo 7). O custo do veículo convencional foi variado de 30.000,00 até R$ 200.000,00, sendo verificado o valor do VPL para cada preço estipulado, considerando-se um período de dez anos de posse do veículo.

Para efeitos de comparação foi considerado no modelo um veículo convencional que percorre 10 km/L, custo de manutenção do veículo elétrico em 50 % do custo de manutenção do veículo convencional, custo da troca de bateria em 50% do custo de compra do veículo elétrico e uma taxa de IPVA para veículos elétricos de 3% do valor venal.

Seguindo as considerações dos parágrafos anteriores se obteve os valores da Tabela 26.

Tabela 26: Viabilidade do veículo elétrico no cenário econômico atual

Variável	valor
Gasto com a operação do veículo convencional (c_{vc})	R$ 0,330 /km
Gasto com a operação do veículo elétrico (c_{ve})	R$ 0,054/km
Economia com a operação de veículo elétrico (E_{kve})	R$ 0,276 /km
Ganho anual com a operação do veículo elétrico (G_{ove})	R$ 4135,95 /ano
Gasto anual médio com IPVA (G_{ive})	R$ 1423,35/ano
Ganho anual com manutenção (G_{mve})	R$ 850,00/ano
Gasto com troca de bateria do veículo elétrico (G_{bve})	R$ 100000,00 a cada 7 anos
Custo estipulado para o Veículo convencional (C_{cvc})	R$ 200000,00
Custo médio do veículo elétrico (C_{cve})	R$ 200000,00
VPL	-2296,71

Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado da Tabela 26, no cenário econômico atual, o veículo elétrico é totalmente inviável (VPL negativo). O veículo elétrico não apresenta viabilidade econômica mesmo quando comparado com um veículo convencional de mesmo custo, isso se deve ao elevado custo com a troca de bateria que o usuário teria ao final da vida útil da mesma.

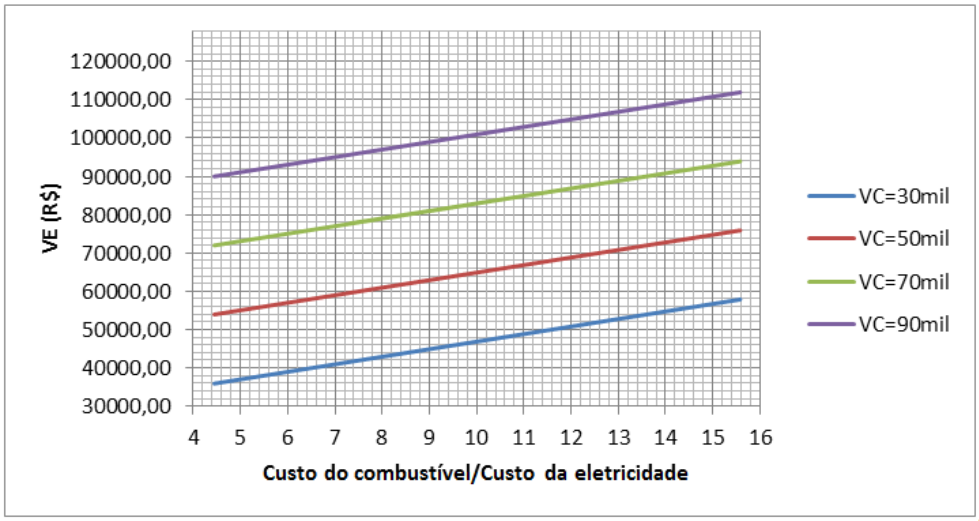
8.1.5.2 Custo máximo que o veículo elétrico deveria ter para ser viável economicamente em relação a um veículo convencional no atual cenário econômico.

As considerações adotadas na análise foram:

- Preço do veículo convencional variando de 30.000,00 a R$ 90.000,00
- Consumo do modelo convencional igual a 12,3 km/l (média dos modelos mais populares, como pode ser calculado a partir dos dados do Apêndice A).
- Custo de IPVA para Veículo elétrico igual a 3% do valor venal
- Custo de manutenção do Veículo elétrico igual a 50 % do custo de manutenção do veículo convencional.
- Custo da troca de bateria, após 7 anos, igual a 50% do custo do veículo elétrico.

Com as premissas acima o preço do veículo elétrico foi variado até se obter um VPL nulo, ou seja, o resultado (Figura 58) mostra o custo máximo que um veículo elétrico deveria ter em relação a um veículo convencional para ser economicamente viável no atual cenário econômico.

Figura 58: Valor máximo que um veículo elétrico deveria ter para ser competitivo em relação a um veículo convencional no cenário econômico atual



Fonte: Elaboração própria
Nota: VC – Custo do veículo convencional similar

Para a atual situação econômica brasileira, em valores médios, a relação preço do combustível/preço da eletricidade, considerando a gasolina como combustível, está em torno de 7,4. Desta forma pode-se ver da Figura 58, que para ser viável economicamente um veículo elétrico deveria custar no máximo:

- R$ 42.000,00 em relação a um veículo convencional de R$ 30.000,00.
- R$ 60.000,00 em relação a um veículo convencional de R$ 50.000,00.
- R$ 78.000,00 em relação a um veículo convencional de R$ 70.000,00
- R$ 96.000,00 em relação a um veículo convencional de R$ 90.000,00.

Para outras relações entre o custo do combustível e o custo da eletricidade conclui-se que o veículo elétrico fica mais viável à medida que o custo relativo do combustível cresce. Por exemplo, em uma situação na qual o custo do combustível seja de R$ 4,00/L e o custo da eletricidade seja de R$ 0,30 /kWh (custo relativo de 13,3), pode-se ver da Figura 58 que um veículo elétrico seria viável para valores entre R$ 18.000,00 e R$ 24.000,00 a mais que um veículo convencional de modelo similar.

8.1.5.3 Cenário econômico 1

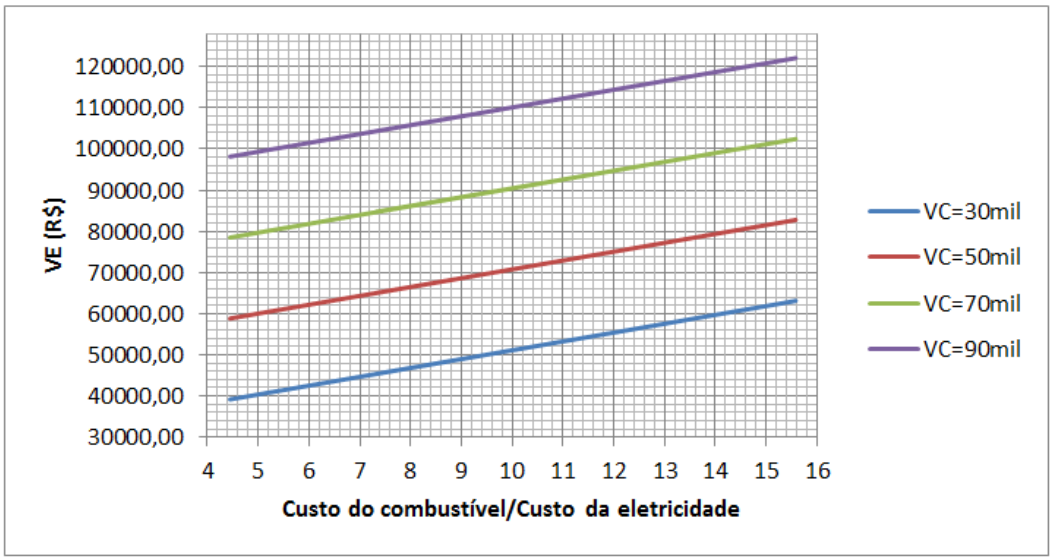
Neste cenário foi suposto que o governo, para estimular o crescimento de mercado, isentou totalmente o veículo elétrico do pagamento do IPVA.

Premissas do cenário econômico 1.

- Preço do veículo convencional variando de 30.000,00 a R$ 90.000,00.
- Consumo do modelo convencional igual a 12,3 km/l (média dos modelos mais populares conforme Apêndice A).
- Custo nulo de IPVA para Veículo elétrico.
- Custo de manutenção do Veículo elétrico igual a 50 % do custo de manutenção do veículo convencional.
- Custo da troca de bateria, após 7 anos, igual a 50% do custo do veículo elétrico.

Com as premissas acima o preço do veículo elétrico foi variado até se obter um VPL nulo. O resultado é mostrado na Figura 59.

Figura 59: Valor máximo que um veículo elétrico deveria ter para ser competitivo em relação a um veículo convencional no cenário econômico 1



Fonte: Elaboração própria
Nota: VC – custo do veículo convencional similar

Em um cenário de isenção de IPVA para veículos elétricos, levando-se em conta um custo relativo da gasolina em relação à eletricidade de 7,4 (Valor médio atual para o país), o veículo elétrico, para ser economicamente viável, deveria custar no máximo:

- R$ 46.000,00 em relação a um veículo convencional de R$ 30.000,00.
- R$ 65.000,00 em relação a um veículo convencional de R$ 50.000,00.
- R$ 85.000,00 em relação a um veículo convencional de R$ 70.000,00.
- R$ 104.000,00 em relação a um veículo convencional de R$ 90.000,00.

Ou seja, mesmo com isenção total de IPVA as montadoras teriam que encontrar outras formas de redução de custos para tornar o veículo elétrico viável economicamente, uma vez que em média, para esse cenário o veículo elétrico poderia custar no máximo R$ 15.000,00 a mais que um convencional, em cada faixa de preços, para se tornar viável ao consumidor.

A diferença média de custo máximo do cenário com isenção de IPVA para veículos elétricos em relação ao cenário atual (no qual a legislação prevê 3% para a categoria elétricos) é de R$ 6.000,00, ou seja, com a isenção total do IPVA os modelos elétricos poderiam custar, em média, R$ 6.000,00 a mais em relação ao cenário atual.

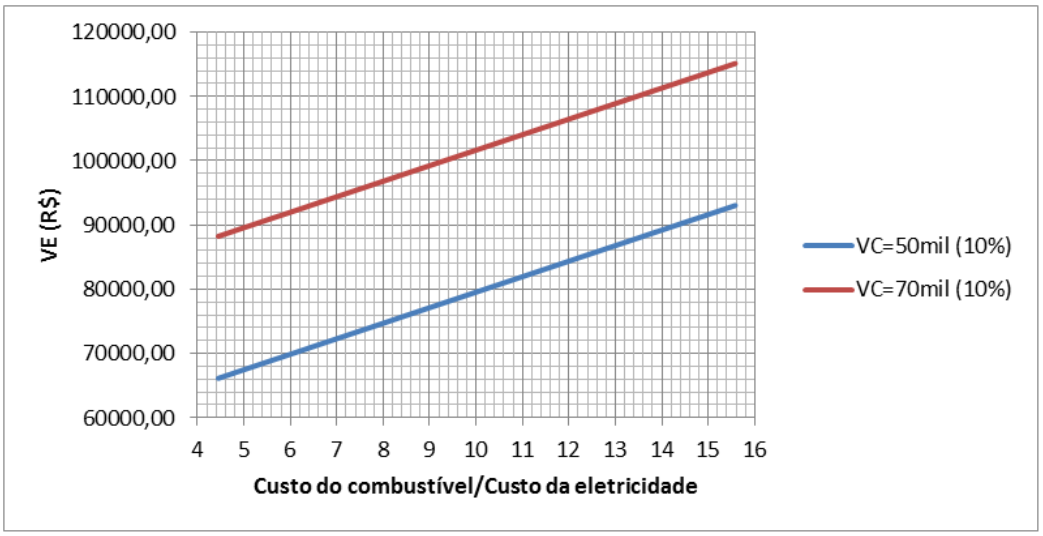
8.1.5.4 Cenário econômico 2.

Atualmente o maior entrave econômico para o veículo elétrico é o custo das baterias, que segundo foi visto neste capítulo, representa em torno de 50 a 70% do custo do veículo (ROLLI, 2010).

Assim foram simulados cenários nos quais o gasto com a troca de bateria, após o fim da vida útil, representa 10% e 0% do custo do veículo, e o custo máximo para a viabilidade do veículo elétrico foi calculado (custo que anula o VPL).

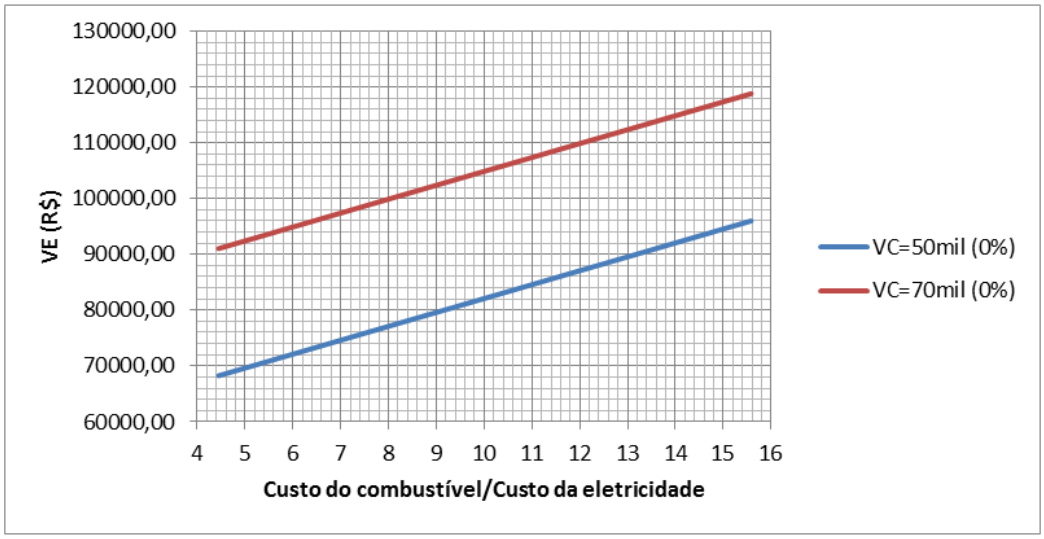
Na simulação do cenário econômico 2 foi estipulado um IPVA nulo para o veículo elétrico, afim de se obter um cenário de máxima viabilidade.

Figura 60: Valor máximo que um veículo elétrico deveria ter para ser competitivo em relação a veículo convencional no cenário econômico 2, com custo de bateria igual a 10% do custo do veículo elétrico



Fonte: Elaboração própria
Nota: VC – Custo do veículo convencional

Figura 61: Valor máximo que um veículo elétrico deveria ter para ser competitivo com um veículo convencional no cenário econômico 2, desprezando o custo de troca da bateria.



Fonte: Elaboração própria
Nota: VC – custo do veículo convencional

Como pode ser observado nas Figuras 60 e 61, se o custo de troca das baterias e o IPVA forem bem pequenos ou nulos, o custo máximo do veículo elétrico pode estar entre R$ 23.000,00 e R$ 28.000,00 a mais em relação ao custo de um veículo convencional na faixa de preços de R$ 50.000,00 a R$ 70.000,00.

8.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO HÍBRIDO EM RELAÇÃO AO VEÍCULO ELÉTRICO.

Considerando veículos híbridos sem a possibilidade de recarga com energia elétrica da rede pode-se utilizar as equações desenvolvidas na seção 8.1.1. Dessa forma os dados necessários para a realização da análise econômica são essencialmente os custos e consumos dos modelos.

Na análise serão considerados como veículos híbridos os modelos Toyota prius e Ford fusion hydrid. O modelo elétrico será considerado como sendo o Nissan Leaf.

A Tabela 27 apresenta dados dos modelos híbridos medidos pelo INMETRO.

Tabela 27: Parâmetros de eficiência do Toyota Prius e Ford fusion hybrid

Fabricante	Modelo	Motor	CO_2 (g/km)	Cidade (km/l)	Estrada (km/l)	Consumo energético (MJ/km)
Medições do Inmetro (2013)						
Ford	fusion hybrid	2.0 - 16V	76	16,8	16,9	1,24
Toytota	Prius	1.8 - 16V	86	15,7	14,3	1,40
Medições do Inmetro (2014)						
Ford	fusion hybrid	2.0 - 16V	81	16,8	14,7	1,33
Toytota	Prius	1.8 - 16V	86	15,7	14,3	1,40

Fonte: inmetro(2013); inmetro(2014)

Na análise econômica foi considerado os valores médios entre cidade e estrada para o consumo de combustível dos modelos. O consumo energético do Nissan Leaf é de 0,1206 kWh/km (Conforme demonstrado na equação(1), capítulo 2).

Os custos de aquisição dos modelos são atualmente (conforme visto no capítulo 7):

- R$ 210.000,00 para um Nissan Leaf.
- R$ 114.000,00 para um Toyota Prius.
- R$ 142.000,00 para um Ford Fusion hybrid.

Na análise econômica os modelos híbridos foram tratados como veículos convencionais que possuem alta eficiência no consumo de combustível, e o preço máximo que um Nissan Leaf deveria ter para ser viável em relação aos híbridos foi calculado.

No cenário econômico foi considerado:

- Isenção de IPVA para o Nissan Leaf.
- Custo de bateria igual a 50 % do custo de compra do Nissan Leaf.
- Custo de manutenção dos híbridos 50% mais caro que o custo de manutenção de veículos convencionais (ou seja, em média R$ 2250,00 /ano).
- Custo de manutenção do Nissan Leaf em média 50% mais barato que o custo de manutenção de um veículo convencional (ou seja, em média R$ 850,00 /ano).
- Vida útil da bateria do Nissan Leaf de 7 anos.
- Vida útil da bateria dos modelos híbridos por toda a vida útil do modelo (TOYOTA-b, 2015).

Os resultados da análise econômica aplicando-se as equações (13) a (26) são mostrados na Tabela 28.

Tabela 28: Viabilidade do veículo elétrico em relação aos híbridos no cenário econômico atual

Variável	Leaf / prius	Leaf /fusion hybrid
Gasto com a operação do veículo Híbrido (c_{vh})	R$ 0,220 /km	R$ 0,202/km
Gasto com a operação do veículo elétrico (c_{ve})	R$ 0,054/km	R$ 0,054/km
Economia com operação de veículo elétrico (E_{kve})	R$ 0,166 /km	R$ 0,148 /km
Ganho anual com a operação do veículo elétrico (G_{ove})	R$ 2486,00 /ano	R$ 2222,00 /ano
Ganho anual médio com IPVA (G_{ive})	R$ 3255,00/ano	R$ 4042,00/ano
Ganho anual com manutenção (G_{mve})	R$ 1700,00/ano	R$ 1700,00/ano
Gasto com troca de bateria do veículo elétrico (G_{bve})	R$ 105000,00 a cada 7 anos	R$ 105000,00 a cada 7 anos
Custo do modelo híbrido (C_{cvh})	R$ 114.350,00	R$ 142.000,00
Custo do modelo elétrico (C_{cve})	R$ 210000,00	R$ 210000,00
VPL	- 94.154	- 63.822

Fonte: Elaboração própria

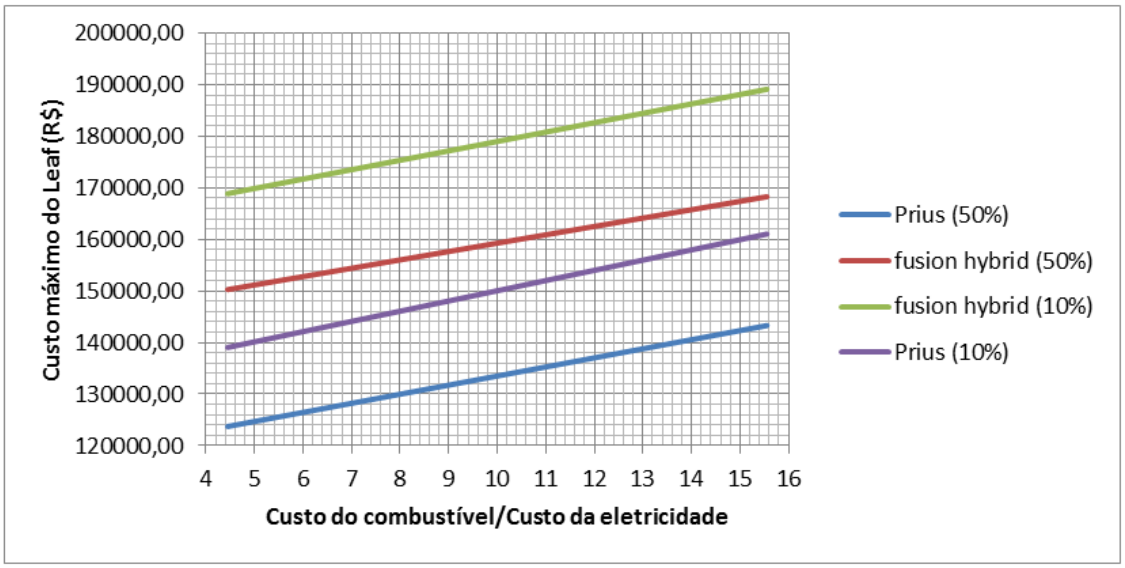
Como pode ser observado, no atual cenário o Nissan Leaf é inviável em comparação com o Toyota Prius e o Ford fusion Hybrid (VPL negativo).

Mesmo desprezando o custo com troca de baterias após a vida útil, o Nissan Leaf ainda apresenta-se inviável frente ao Toyota Prius e o ford fusion (Pois para ambos os casos o VPL ainda teve um resultado negativo em 10 anos).

Desta forma o custo máximo que um veículo elétrico, similar ao Nissan Leaf, deveria ter para ser competitivo com veículos híbridos similares ao Toyota Prius e ao Ford Fusion hybrid no atual cenário econômico é mostrado na Figura 62.

Para a determinação do custo máximo do Nissan Leaf em relação aos modelos híbridos foram supostos dois cenários: um no qual o custo de troca de bateria do Nissan Leaf após o fim da vida útil representa 50% do valor do veículo (Situação atual) e outro no qual o custo de troca de bateria, após o fim da vida da mesma, representa 10 % do valor do veículo (hipótese de redução de custos da bateria).

Figura 62: Custo máximo que o Nissan Leaf deveria ter em relação aos modelos híbridos Toyota Prius e Ford Fusion Hydrid



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 62 o custo de aquisição do Nissan Leaf foi variado até se obter um VPL nulo, ou seja, o custo apresentado na Figura 62 representa o máximo preço para Nissan Leaf que ainda apresenta viabilidade econômica em relação ao preço do modelo híbrido, em função da relação custo de combustível/custo de eletricidade e em função do custo de substituição da bateria do Nissan Leaf após o fim da vida útil da mesma.

Como pode ser visto na Figura 62 o custo máximo do Nissan Leaf em relação aos modelos híbridos, considerando uma relação custo de combustível/custo de eletricidade em torno de 7,4 (valor médio atual), deveria estar em torno de:

- No máximo de R$ 16.000,00 a R$ 31.000,00 acima do custo do Toyota Prius para valor de troca de bateria entre 50% e 10% do valor do veículo respectivamente.
- No máximo de R$ 13.000,00 a R$ 32.000,00 acima do custo do Ford Fusion Hybrid para valor de troca de bateria entre 50 % e 10% respectivamente.

8.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO HÍBRIDO EM RELAÇÃO AO VEÍCULO CONVENCIONAL

Na análise econômica os veículos híbridos serão considerados como sendo o Toyota Prius e o Ford Fusion Hybrid. E os veículos convencionais serão considerados como sendo o Ford Fusion FWD titanium, o Ford Fusion AWD titanium e o corolla Gli.

A Tabela 29 apresenta os dados para a comparação de viabilidade econômica.

Tabela 29: Parâmetros dos modelos convencionais e híbridos para comparação de viabilidade econômica

Fabricante	modelo	motor	CO_2 (g/km)	cidade (km/l)	Estrada (km/l)	consumo energético (MJ/km)	Custo (R$)
modelos convencionais							
Ford	fusion FWD titanium	2.0 - 16V	150	8,0	11,2	2,4	121.000,00
Ford	fusion AWD Titanium	2.0 - 16V	153	7,8	11,0	2,5	135.000,00
Toyota	Corolla Gli	1.8 - 16V	115	10,6	13,3	1,9	72.000,00
modelos híbridos							
Toytota	Prius	1.8 - 16V	86	15,7	14,3	1,4	114.350,00
Ford	Fusion Hybrid	2.0 - 16V	79	16,8	15,8	1,3	142.000,00

Fonte: Adaptado de (INMETRO, 2013); (INMETRO,2014);(FORD,2015);(TOYOTA, 2015)

Nota: o custo do corolla gli foi tomando como sendo a média de custo do gli manual, automático-tecido e automático-couro

8.3.1 Modelagem dos custos de operação

O custo de operação do modelo convencional e do modelo híbrido depende do custo médio do combustível empregado e do consumo de combustível. O custo de operação para um veículo convencional foi apresentado na equação (15). Para um veículo híbrido o custo de operação pode ser calculado pela equação (27).

$$c_{vh} = \frac{C_{mc}}{Q_{Lh}} \tag{27}$$

Em que:

c_{vh} – custo de operação do veículo híbrido [R$/km]

C_{mc} – custo médio do combustível empregado [R$/L]

Q_{Lh} – consumo de combustível por quilômetro de um veículo híbrido [km/L]

A economia monetária, por quilômetro rodado, do veículo híbrido em relação ao veículo convencional pode ser calculada por:

$$E_{vh} = c_{vc} - c_{vh} \quad (28)$$

Em que:
E_{vh} – economia monetária com a operação do veículo híbrido [R$/km]
c_{vc} – custo de operação de um veículo convencional [R$/km]

O ganho anualizado com a operação de um veículo híbrido em relação a um veículo convencional pode ser calculado pela equação (29).

$$G_{ovh} = (c_{vc} - c_{vh}).Q_a \quad (29)$$

Em que:
G_{ovh} – ganho com a operação do veículo híbrido [R$/ano]
Q_a – rodagem anual [km/ano]

Para o cálculo dos custos operacionais tomou-se como base os custos da gasolina pelo território nacional, que segundo o Portal Brasil (2015) está atualmente entre R$ 2,88/l e R$ 4,05/l. Para efeito de análise econômica o preço da gasolina será variado de 2,00 a 5,00 R$/l

8.3.2 Modelagem dos gastos com impostos

Na estimativa dos gastos com impostos será considerado apenas o IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículo Automotor), pois o mesmo depende do tipo e do valor venal do veículo.

Tomou-se como referência as alíquotas de IPVA atualmente vigente no estado de São Paulo, as quais são:

- IPVA = 4% do valor venal do veículo (gasolina ou flex).
- IPVA = 3 % do valor venal do veículo (álcool, elétrico ou a gás).

Para o cálculo do valor venal e parcelas de IPVA dos modelos em função da idade foram utilizadas as equações 20 e 21 vistas neste capítulo.

Os gastos, ou ganhos (caso $IPVA_{vh} < IPVA_{vc}$), anuais com IPVA de um veículo híbrido em relação a um veículo convencional podem ser calculados por:

$$G_{Ivh} = IPVA_{vh} - IPVA_{vc} \quad (30)$$

Em que:
G_{Ivh} – gasto adicional com IPVA de um veículo híbrido [R$/ano]
$IPVA_{vh}$ – valor de IPVA pago pela posse de um veículo híbrido [R$/ano]
$IPVA_{vc}$ – valor de IPVA pago pela posse de um veículo convencional [R$/ano]

Considerando que futuramente o Governo poderá reduzir o IPVA dos Híbridos ou até mesmo isentá-los do pagamento deste imposto, como forma de estimular o crescimento de mercado, serão considerados cenários de redução e isenção de IPVA para estes modelos.

8.3.3 Modelagem dos gastos com manutenção

Os custos com os principais itens de manutenção para modelos convencionais foram apresentados na Tabela 25, foi concluído que o custo médio anual de manutenção para um veículo convencional está em torno de R$ 1700,00 / ano. Foi mencionado também, segundo levantamentos da audatex (empresa de atuação mundial na área de serviços e reparos automotivos), que o custo de manutenção de um veículo híbrido é da ordem de 57 % mais caro que o custo de manutenção de um veículo convencional.

Para efeito de análise econômica o custo de manutenção anual de um veículo híbrido será considerado como sendo 50 % mais caro que o custo de manutenção de um modelo convencional.

Assim o custo de manutenção do veículo híbrido, em relação ao custo de manutenção de um veículo convencional, pode ser calculado por:

$$C_{mvh} = i_{mvh} \cdot C_{mvc} \quad (31)$$

Em que:

C_{mvh} – custo de manutenção anual médio de um veículo híbrido [R$/ano]

C_{mvc} – custo de manutenção anual médio de um veículo convencional [R$/ano]

i_{mvh} – taxa percentual de gasto com manutenção do veículo híbrido em relação ao veículo convencional [%]

O gasto anual devido ao maior custo de manutenção do veículo híbrido em relação ao veículo convencional pode ser calculado por:

$$G_{mvh} = C_{mvh} - C_{mvc} \quad (32)$$

Em que:

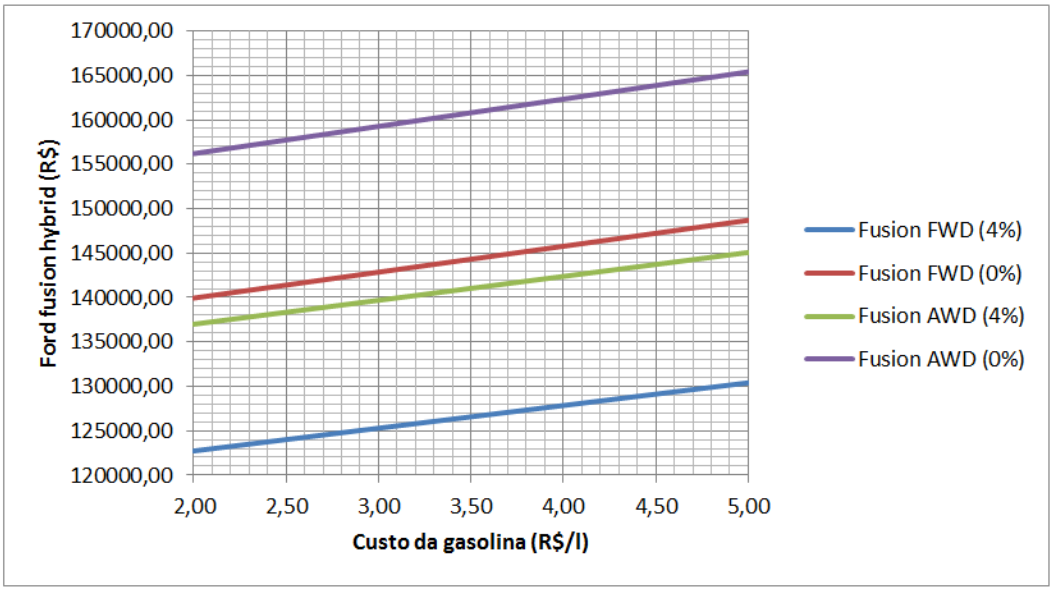
G_{mvh} – gasto anual adicional com manutenção do veículo híbrido [R$/ano]

Os gastos com troca de baterias serão desconsiderados, uma vez que para um veículo convencional a durabilidade depende do consumo energético (aparelhos eletrônicos instalados, ar condicionado, etc) e não representa um gasto significativo em relação ao valor do próprio veículo. Para os veículos híbridos as baterias serão desconsideradas na análise econômica, pois segunda a Toyota (TOYOTA, 2015-b), essas são projetadas para durarem por toda a vida útil do veículo.

8.3.4 Resultados da análise econômica para a viabilidade dos modelos híbridos em relação aos modelos convencionais

O custo máximo do Ford Fusion Hybrid em relação ao Ford Fusion convencional foi estimado variando-se o custo do modelo híbrido até se obter um VPL nulo, para IPVA dos híbridos com valor de 4% do valor venal e isenção de IPVA. Os resultados são mostrados na Figura 63.

Figura 63: Custo máximo do Ford Fusion Hybrid para ser viável em relação ao Ford Fusion convencional



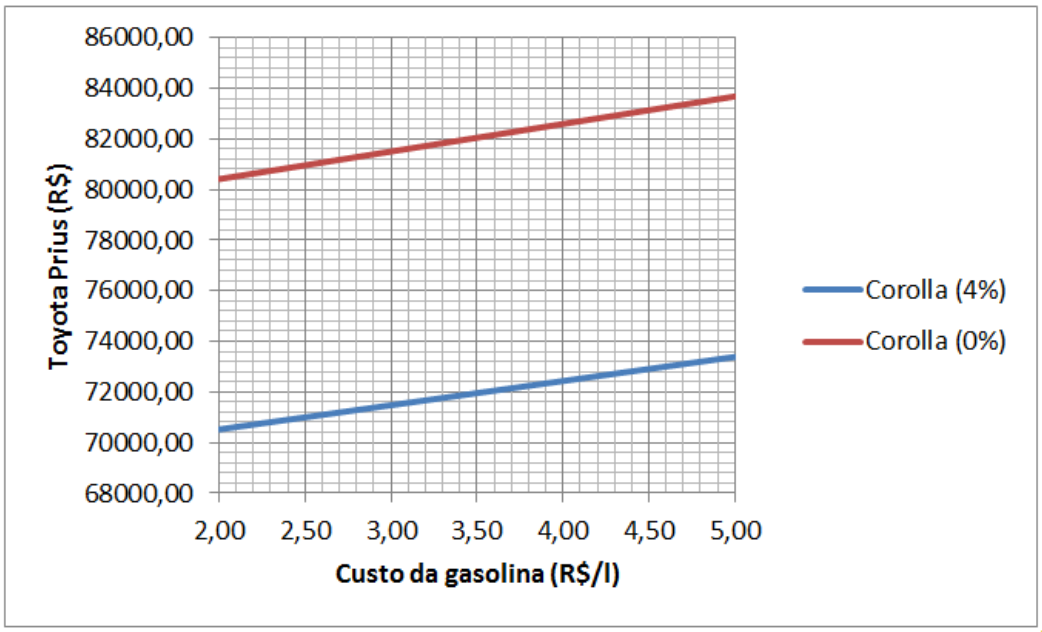
Fonte: Elaboração própria

Pela análise da Figura 63 conclui-se que no cenário atual (alíquota de IPVA igual a 4% do valor venal e custo da gasolina em torno de R$ 3,30/l) o ford fusion hybrid não é viável economicamente em relação ao ford fusion FWD e AWD. Como pode ser visto na Figura 63 não há viabilidade econômica para o ford fusion hybrid em relação ao ford fusion FWD para nenhum custo de gasolina estudado. Para o ford fusion AWD a viabilidade econômica ocorre a partir de um custo de gasolina igual a R$ 3,80/l.

Caso o governo isentasse os híbridos do pagamento de IPVA o ford fusion hybrid passaria a ser viável em relação a um ford fusion FWD a partir de um custo de gasolina de R$ 2,60/l e em relação ao ford fusion AWD seria viável para qualquer preço de gasolina.

A Figura 64 apresenta os resultados para a viabilidade do Toyota Prius em relação ao corolha Gli.

Figura 64: Custo máximo que um Toyota Prius deveria ter para ser viável em relação a um Corolla Gli



Fonte: Elaboração própria

No atual cenário, com a alíquota de IPVA igual a 4% do valor venal do veículo e custo médio da gasolina em torno de R$ 3,30/l, conclui-se que para ser viável economicamente o Toyota Prius deveria ter o mesmo preço que um Corolla Gli. Caso houvesse isenção de IPVA para o Toyota Prius ele poderia custar até R$ 82.000,00 (ou seja, R$ 10.000,00 a mais que o Corolla Gli).

Como o preço atual do Toyota Prius é de R$ 114.350,00 conclui-se que não há viabilidade economia para o Toyota Prius quando comparado com um Corolla Gli, de preço médio igual a R$ 72.000,00.

Para o possível cenário de isenção de IPVA para modelos Híbridos e tomando o custo médio de gasolina atualmente vigente calculou-se as economias e gastos adicionais do Ford Fusion Hybrid em relação ao Ford Fusion convencional, bem como o Pay-Back descontado. Os valores obtidos são mostrados na Tabela 30.

Tabela 30: Comparação de gastos e economias entre o ford fusion hybrid e o ford fusion convencional para isenção de IPVA dos modelos híbridos

Variável	Ford fusion FWD	Ford fusion AWD
Custo da gasolina (R$/l)	3,30	3,30
Custo de capital (%)	17,70	17,70
Custo atual do Ford fusion hybrid (R$)	142000,00	142000,00
Custo atual do Ford fusion convencional (R$)	121000,00	135000,00
Investimento adicional (R$)	21000,00	7000,00
Média de consumo do ford fusion hybrid (km/l)	16,30	16,30
Média de consumo do ford fusion convencional (km/l)	9,60	9,40
Custo com a operação do ford fusion convencional (R$/km)	0,34	0,35
Custo com a operação do ford fusion hybrid (R$/km)	0,20	0,20
Economia com a operação do ford fusion hybrid (R$/km)	0,14	0,15
Economia relativa com a operação do ford fusion hybrid (%)	41,00	42,00
Ganho anual com a operação do ford fusion hybrid (R$/ano)	2119,44	2229,00
Gasto adicional anual com a manutenção do ford fusion hybrid (R$/ano)	850,00	850,00
Ganho médio anual com IPVA (R$/ano)	3444,50	3843,00
VPL	1735,00	18197,00
Pay-back descontado (anos)	8,00	1,40

Fonte: Elaboração própria

9 CONCLUSÕES

As barreiras para o crescimento de mercado dos veículos elétricos no Brasil podem ser classificadas em barreiras de ordem técnica, econômica e política.

Do ponto de vista técnico as principais barreiras são: inexistência de infraestrutura de carregamento rápido de baterias na malha viária, estado precário de conservação e operacionalidade na malha viária existente, inexistência de reservas nacionais de lítio em quantidade e viabilidade econômica suficiente para a fabricação de baterias, sistema elétrico brasileiro operando no limite.

A falta de infraestrutura de carreamento rápido na malha viária é um fator impeditivo para o crescimento de mercado de veículos elétricos, pois atualmente a autonomia da maioria dos modelos elétricos está entre 100 e 200 km (capítulo 7), e embora na maior parte do tempo o usuário faça percursos menores que esses, no momento da compra, irá optar por um veículo que lhe permita fazer qualquer tipo de viagem sem problemas operacionais envolvidos, como por exemplo, ter de esperar 8 h para carregar a bateria de seu veículo em uma tomada comum.

Antes de se cogitar a hipótese de investimento em infraestrutura de carregamento rápido deve-se preocupar com o atual estado da malha viária, pois a mesma se encontra em uma situação precária. Foi visto no capítulo 3 que atualmente apenas 12% das vias existentes no país são pavimentadas (Tabela 7), isso leva o Brasil a ter a menor densidade de malha viária dentre os países com grande dimensão territorial e países emergentes (Figura 31). Não bastando essa classificação lastimável, grande parte das rodovias pavimentadas encontram-se em mau estado de conservação, sendo que apenas 38% destas foram classificadas em bom ou ótimo estado pela Confederação Nacional do Transporte em 2014 (Tabela 9).

A má qualidade e insuficiência da malha viária é fruto de longos anos com queda de investimentos em infraestrutura para este setor (Figura 29) e reflete uma grande ineficiência, ou talvez até mesmo o descaso, do poder público em ampliar e manter a qualidade das rodovias, fato que leva o governo a conceder parte da malha à iniciativa privada (Tabela 10).

Desta forma, conclui-se que atualmente não é praticável um investimento em infraestrutura de carreamento rápido ao longo das rodovias, uma vez que as próprias rodovias carecem de investimento em infraestrutura.

Como foi discutido no Capítulo 5, outro fator desfavorável ao crescimento do mercado nacional de veículos elétricos é a escassez de fontes economicamente viáveis de lítio para a fabricação de baterias. O lítio ocorre no Brasil somente na forma mineral (basicamente espodumênio e petalita) e em proporções pequenas para a fabricação de baterias, além do fato das reservas brasileiras representarem menos de 1% das reservas mundiais. A extração de compostos de lítio a partir da forma mineral envolve várias etapas bastante energéticas, com adição de ácidos ou bases fortes (Figuras 46, 47 e 48), encarecendo o processo, além de que atualmente a tecnologia de fabricação de baterias de lítio é dominada por companhias asiáticas.

Desta forma, para permitir o crescimento da frota de veículos elétricos o país teria que importar baterias de lítio, o que elevaria o custo final do veículo. Para se ter uma ideia, pode-se citar, como exemplo, o Pálio Weekend elétrico (projeto em desenvolvimento com a parceria da Itaipu Binacional, Fiat e a empresa suíça Kraftwerke Oberhasli (KWO)), segundo Gazzoni (2013) a Fiat afirmou que o custo com a importação das baterias da Europa para o Brasil está torno de R$ 100.000,00, o que representa aproximadamente 50% do custo final do modelo.

Do ponto de vista energético atualmente o país se encontra em uma situação limite na geração elétrica a partir de hidrelétricas (atualmente o país importa em torno de 6,5% da energia elétrica que consume), em parte devido à escassez de chuvas e em parte também devido ao fato do potencial hidrelétrico estar próximo do seu limite. No capítulo 2 concluiu-se que, na possibilidade de haver uma frota nacional de veículos elétricos, a cada incremento de 5% de veículos elétricos em relação à frota nacional existiria um incremento de 1% na demanda por energia elétrica (Figura 21), assim a atual fragilidade do sistema elétrico brasileiro não permitiria um crescimento substancial da frota de veículos elétricos.

Como visto no capítulo 2, o consumo de energia elétrica irá crescer significativamente nos próximos anos, devendo praticamente dobrar em 20 anos (Figura 16), esse fato, somado com a atual crise hídrica, leva a conclusão que grande parte do crescimento da oferta de energia elétrica para os próximos anos deve ser atendido pelo aumento de geração a partir de termelétricas. Conforme pode ser visto na Tabela 1 a capacidade instalada de geração termelétrica em 2013 correspondia a 28,8 % da capacidade instalada total, e conforme pode ser analisado na Tabela 2, a geração termelétrica apresentou um crescimento bastante expressivo nos últimos anos, respondendo atualmente por mais de 25% da energia elétrica ofertada no território nacional.

Existindo a tendência de aumento da geração de energia elétrica a partir de termelétricas existe também a tendência de aumento das emissões associadas à geração, levando consequentemente ao encarecimento da tarifa de energia elétrica. Esse cenário indica que no futuro um veículo elétrico poderá emitir indiretamente maior quantidade de CO_2 em relação ao momento atual (a não ser que ocorra um grande investimento em fontes renováveis de geração elétrica). Este cenário indica também que a operação do veículo elétrico tenderá a ficar mais cara devido ao maior custo da geração térmica. Como as duas maiores vantagens dos veículos elétricos são justamente as emissões nulas a nível local e o baixo custo operacional conclui-se que o atual cenário energético aponta para uma possível redução da viabilidade futura do veículo elétrico em território nacional.

Do ponto de vista ambiental conclui-se que o setor de transportes é o setor que mais contribui para as emissões de CO_2, tendo sido responsável por 45 a 50 % das emissões totais nacional nos últimos 4 anos (Figura 37), desta forma planos de redução de emissões devem obviamente considerar mudanças para o setor de transportes. Contudo tem-se observado, nos últimos anos, o crescimento das emissões de CO_2 na geração elétrica (Tabela 13), que atualmente emite em torno de 140 g de CO_2eq/kWh (Figura 38). Esse patamar de emissão na geração elétrica leva um veículo elétrico (de eficiência energética similar ao Nissan Leaf) a emitir indiretamente 20 g de CO_2eq/km (Figura 41), tal emissão é desprezível quando comparada à emissão média de um veículo convencional, que segundo medições do inmetro é da ordem de 115 g de CO_2/km (Apêndice A).

Os modelos híbridos emitem em média 80 g de CO_2eq/km (Tabela 20), ou seja, um veículo elétrico em operação emitiria atualmente apenas 25 % da emissão de CO_2 de um modelo híbrido. Desta forma o veículo elétrico apresenta clara vantagem do ponto de vista ambiental, contudo deve-se sempre considerar as emissões relacionadas à geração elétrica e a eficiência do modelo de veículo elétrico, pois dependo da eficiência energética do modelo e das emissões na geração elétrica o veículo elétrico pode emitir indiretamente quantidades de CO_2eq similares a de um veículo híbrido (Figura 41).

Deve-se destacar também que as emissões de um veículo híbrido estão bem abaixo dos valores limites estabelecidos pelo Proconve-L6 (Tabela 20) para os poluentes NO_x, CO e hidrocarbonetos (HC). Em relação à emissão de CO_2 observa-se que em média os modelos híbridos emitem 30 % menos que os convencionais, além do fato de poderem operar somente com motores elétricos até uma velocidade de 70 km/h em trechos que demandam baixa potência, típicos de grandes centros urbanos, ou seja, em grandes centros urbanos os veículos híbridos podem operar inteiramente no modo elétrico e utilizar a frenagem regenerativa para carregamento das baterias, de forma a reduzir substancialmente as emissões em grandes centros urbanos.

Analisando o cenário no ponto de vista político conclui-se que existe um grande interesse do governo pelo crescimento do mercado de petróleo e derivados, álcool e biocombustíveis. Os negócios relacionados com a extração, refino, distribuição e consumo de petróleo envolvem uma grande cadeia de bens e serviços com um grande peso na economia nacional, de modo que dificilmente o governo irá apoiar tecnologias veiculares que dispensem totalmente a utilização de combustíveis líquidos, uma vez que o setor de transportes se apresenta como o maior consumidor de derivados de petróleo.

Desta forma, do ponto de vista político, existe maior tendência de o governo incentivar o mercado de veículos híbridos em detrimento do mercado de veículos elétricos. Atualmente já se verifica um posicionamento do governo a favor do modelo híbrido, pois, segundo, olmos (2014), o ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior aprovou em setembro de 2014 a redução do imposto de importação para veículos híbridos de 35% para 0, 2 ou 5 %, sendo a alíquota mais alta aplicada aos veículos que entrarem no país totalmente montados e a mais baixa para aqueles que empregarem a maior quantidade de mão de obra e acessórios no país. Foram deixados de fora da resolução os veículos puramente elétricos, pois o governo alegou preocupação com a inexistência de infraestrutura de abastecimento para esses modelos.

Da análise econômica feita no capítulo 8 conclui-se que um veículo elétrico, similar ao Nissan Leaf, não apresenta viabilidade econômica em relação a um modelo convencional equivalente, para as atuais tarifas de gasolina e energia elétrica (Tabela 26), mesmo quando comparado com um modelo convencional de mesmo preço de aquisição (R$ 200.000,00). Tal inviabilidade é devida principalmente ao alto custo das baterias, que elevam o custo inicial dos modelos elétricos e também o custo de substituição após o período de vida útil da mesma.

No atual cenário econômico (seções 8.1.5.1 e 8.1.5.2) concluiu-se, neste trabalho, que para ser viável economicamente em relação a um veículo convencional de mesmo tipo um modelo elétrico, similar ao Nissan Leaf, deveria custar no máximo R$ 10.000,00 a mais que o correspondente modelo convencional (Figura 58). Quando se considera a hipótese de isenção de IPVA para os modelos elétricos conclui-se que esses modelos poderiam custar até R$ 15.000,00 a mais em relação a um modelo convencional correspondente (Figura 61).

Da análise econômica feita no capítulo 8 concluiu-se que um veículo elétrico, similar ao Nissan Leaf, não apresenta viabilidade econômica no cenário atual quando comparado com os modelos Toyota prius e Ford fusion hybrid (Tabela 28). Para ser viável em relação aos híbridos o Nissan Leaf deveria custar no máximo R$ 16.000,00 a mais que o modelo Toyota prius e R$ 13.000,00 a mais que o modelo Ford fusion hybrid.

Quando se compara o modelo Ford fusion hybrid com os modelos ford fusion FWD e AWD se verifica que também não há viabilidade econômica para modelo híbrido em relação aos convencionais similares. Contudo quando se simula a isenção de IPVA para o ford fusion hybrid o mesmo se torna viável em relação aos modelos ford fusion FWD e AWD (Figura 63), tendo valores de payback de 8 e 1,4 anos respectivamente (Tabela 30).

Finalmente conclui-se, a partir de todos os pontos discutidos ao longo do trabalho, que o crescimento de uma frota de veículos elétricos em escala nacional é inviável no momento atual e também num futuro próximo. Já os modelos híbridos apresentam maior viabilidade do ponto de vista econômico (capítulo 8), do ponto de vista da autonomia (capítulo 7) e também devido ao maior interesse político quando comparado com os veículos elétricos.

REFERÊNCIAS

AMORIM, D.; BAHNEMANN, W. Peso de termoelétricas cresceu 286 % em 2 anos, **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, 04 de março de 2014. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,peso-de-termoeletricas-cresceu-286-em-2-anos,178924e >. Acesso em: 11 de outubro de 2014.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade.** 2012. 124p. Tese de Doutorado (Doutorado em Planejamento Energético)- Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), UFRJ, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em:<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/baran.pdf> . Acesso em: 16 de julho de 2014.

BARAN, R.; LEGEY, L.F.L. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**.** In: **BNDES setorial, n.33**. Rio de Janeiro: BNDES biblioteca digital, 2011. p.207-224. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1313> . Acesso em: 10 dezembro de 2013.

BARBOSA, N.;OLIVEIRA, D.;SOUZA, J.A.P. Carro elétrico: desafio e oportunidade para o Brasil. In: XXII FÓRUM NACIONAL, 22.,2010,Rio de Janeiro. **Cadernos fórum nacional 10:Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil...**Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Altos Estudos(INAE), 2010. p.58-78. Disponível em: < http://www.forumnacional.org.br>. Acesso em 03 de outubro de 2014.

BORGES, A. No limite, térmicas cortam produção: Usinas operam acima do ritmo planejado, são forçadas a fazer paradas e cortam produção suficiente para atender 23,7 milhões de casas. **O Estado de S. Paulo** , São Paulo, 22 de outubro de 2014. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,no-limite-termicas-cortam-producao,1581003>. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.

BRAGA, A.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana**. São Paulo: Faculdade de medicina da USP, 2011. 20 p. Disponível em: <www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=1039>. Acesso em: 06 de janeiro de 2014.

BRAGA, P.F.A.;SAMPAIO, J.A. Lítio. In: LUZ, A. B.;LINS, F.A.F.(Ed.).**Rochas & Minerais Industriais: Usos e especificações**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), 2008. 2ª ed, Cap.26, p.585-603. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/biblioteca/publicacoes/livros>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifas residenciais vigentes**. Brasília: Aneel, 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493 >. Acesso em: 28 de julho de 2015.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário estatístico de energia elétrica 2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. 212 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 12 de janeiro de 2015.

BRASIL. Agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2013**. Rio de Janeiro: ANP, 2013. 236 p. Disponível em: < http://www.anp.gov.br/>. Acesso em: 18 de março de 2014.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **As rodovias brasileiras e o salto necessário para o primeiro mundo**. Belo Horizonte: MT, 2013. 75 p. Disponível em: < http://www.transportes.gov.br/acervo/materiais-apresentados-em-palestras-e-cursos.html>. Acesso em: 12 de janeiro de 2015.

BRASIL. Empresa de pesquisa energética. **Relatório Síntese do Balanço energético nacional 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. 288 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

BRASIL. Empresa de pesquisa energética. **Relatório Síntese do Balanço energético nacional 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. 288 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 10 de junho de 2015.

BRASIL. Empresa de pesquisa energética. **Balanço energético nacional 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. 288 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 05 de março de 2014.

BRASIL. Empresa de pesquisa energética. **Balanço energético nacional 2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. 288 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 10 de janeiro de 2015.

BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Diário Oficial da União,** Brasília, seção 1, p.16509.

BRASIL. Departamento nacional de Trânsito. **Frota Nacional**. Brasília: DENATRAN, 2015. Disponível em: < http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>. Acesso em: 13 de junho de 2015.

BRASIL. Ministério da Fazenda. **Tabela de valores venais para cálculo do ipva 2015.**[S.l.]: MF, 2015. Disponível em: <http://www.fazenda.sp.gov.br >. Acesso em: 25 de julho de 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília: MME; EPE, 2007. 224 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 11 de dezembro de 2014.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Plano nacional de logística e Transportes**. Brasília: MT, 2012. 260 p. Disponível em: < http://www.transportes.gov.br/>. Acesso em: 14 de março de 2014.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Poluição veicular atmosférica: Comunicados do IPEA**. [S.l.]: IPEA, 2011. 26 p. Disponível em: < http://www.ipea.gov.br/>. Acesso em: 21 de maio de 2014.

BRASIL. Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia. Programa brasileiro de etiquetagem: **Tabelas de consumo/Eficiências energética de veículos automotores leves de todas as categorias.** [S.l.]: INMETRO, 2014. Disponível em:< http://www.inmetro.gov.br> Acesso em: 20 de julho de 2015.

BRASIL. Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia. Programa brasileiro de etiquetagem: **Tabelas de consumo/Eficiências energética de veículos automotores leves de todas as categorias.** [S.l.]: INMETRO, 2013. Disponível em:< http://www.inmetro.gov.br> Acesso em: 20 de julho de 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Proconve: Programa de Controle de Poluição do Ar Por Veículos Automotores**. [S.l.]: MMA, 2011. 7 p. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf>. Acesso em: 23 de maio de 2014.

BRASIL. Portal Brasil. **Preço médio da gasolina pode variar 7,4%**. [S.l.]: 2015. Disponível em: < http://www.brasil.gov.br/>. Acesso em: 30 de agosto de 2015.

Brasil exportou energia elétrica para a Argentina na segunda-feira. **G1**, São Paulo, 27 de janeiro de 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/01/brasil-exportou-energia-eletrica-para-argentina-na-segunda-feira.html>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2015.

BRITO, E.A. Elétrico Mitsubishi i-MiEV é ideia distante de ser ligada no Brasil. **UOL carros**, São Paulo, 23 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://carros.uol.com.br/noticias/redacao/2011/12/23/eletrico-mitsubishi-i-miev-e-ideia-distante-de-ser-ligada-no-brasil.htm>. Acesso em: 11 de janeiro de 2015.

BRUNI, A. C.; BALES, M.P.A. **Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo.** São Paulo:CETESB, 2013. 67 p. Disponível em: <http:/www.ambiente.sp.gov.br >. Acesso em: 10 abril de 2015.

CARVALHO, M.A.S. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. 2011. 168 p. Dissertação (Mestrado em engenharia industrial) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

CATÁLOGO DO PRIUS. Catálogo do modelo Toyota Prius, 2014. Disponível em:<http://www.toyota.com.br/wp-content/uploads/2014/08/catalogo-prius-20140925.pdf> . Acesso em: 14 de novembro de 2014.

COALIZÃO EMPRESAS PELO CLIMA. **Redução de emissões: opções e perspectivas para os setores de energia, transporte e indústria**. [S.l.:s.n], 2009. 36p. Disponível em: < http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-494.pdf>. Acesso em: 23 de novembro de 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2014**. 18ª ed. Brasília: CNT:SEST:SENAT, 2014. 388 p. Disponível em: < http://pesquisarodovias.cnt.org.br>. Acesso em: 06 de janeiro de 2015.

COUTINHO, L. G.; CASTRO, B.H.R.; FERREIRA, T.T. Veículo elétrico, políticas públicas e o BNDS: Oportunidades e desafios. In: XXII FÓRUM NACIONAL, 22.,2010,Rio de Janeiro. **Cadernos fórum nacional 10:Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil...**Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Altos Estudos(INAE), 2010. p.30-49. Disponível em: < http://www.forumnacional.org.br>. Acesso em 03 de outubro de 2014.

DALLAROSA, J. B. **Estudo da formação e dispersão de ozônio troposférico em áreas de atividade de processamento de carvão aplicando modelos numéricos**. 2005. 139 p. Dissertação (Mestrado em sensoriamento remoto) – Centro estadual de pesquisas em sensoriamento remoto e meteorologia, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicações/Dissert_Juliana Dallarosa.pdf>. Acesso em 03 de fevereiro de 2014.

DELICATO, C**.** A manutenção de um carro elétrico é três vezes mais barata do que a de um híbrido. **Tubo.sapo**, [S.l.], 25 de julho de 2013. Disponível em: <http://turbo.sapo.pt>. Acesso em: 23 de julho de 2015.

E-AUTO. **Sistemas híbridos Toyota**: Disponível em: <http://e-auto.com.mx/ enew/index.php/85-boletines-tecnicos/2236-sistemas-hibridos-de-toyota> . Acesso em: 22 de março de 2014.

ERBER, P. Automóveis elétricos a bateria: uma política para sua utilização no Brasil. In: XXII FÓRUM NACIONAL, 22.,2010,Rio de Janeiro. **Cadernos fórum nacional 10: Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil...**Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Altos Estudos(INAE), 2010. p.87-111. Disponível em: <http://www.forumnacional.org.br>. Acesso em 03 de outubro de 2014.

FILHO, M.L.F. **Análise de viabilidade mercadológica de automóveis elétricos híbridos Plug-in no Brasil.** 2009. 126 p. Monografia (Graduação em engenharia de produção) – Escola politécnica: USP, São Paulo, 2009. Disponível em: < http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2012/pubs/analise-de-viabilidade-mercadologica-de-automoveis-eletricos-hibridos-plug-in-no-brasil.pdf>. Acesso em: 21 de outubro de 2014.

FREIRE, R.T.S. **Trânsito: um problema urbano**. 2011. 86 p. Monografia (Especialização em engenharia urbana) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.peu.poli.ufrj.br/arquivos/Monografias /Renato_Teixeira.pdf>. Acesso em : 14 de setembro de 2014.

FONSECA, R.L**.** Saiba quando trocar a correia dentada do carro. **G1-Globo**, São Paulo, 18 de junho de 2009. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Carros/0,,MUL1198391-9658,00-SAIBA+QUANDO+TROCAR+A+CORREIA+DENTADA+DO+CARRO.html>. Acesso em: 15 de abril de 2015.

FORD. Especificações técnicas das versões do modelo ford fusion, 2015. Disponível em: <http://www.ford.com.br/carros/fusion/versoes>. Acesso em: 25 de julho de 2015.

GARCIA, I.J. Lítio. **Sumário mineral 2013**, Brasília, v.33, p. 82-83, dez. 2013. Disponível em: < http://www.dnpm.gov.br/>. Acesso em: 06 de agosto de 2014.

GAZZONI, M. Carro elétrico ainda custa 5 vezes mais. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, 23 de dezembro de 2013. Disponível em: < http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,carro-eletrico-ainda-custa-5-vezes-mais-imp-,1111696>. Acesso em: 14 de dezembro de 2014.

Hoyer, K. G. The History of alternative Fuels in Transportation: The Case of Electric and Hybrid Cars. **Utilities Policy**:Elsevier, Oslo-Norway, v.16, p.63-71, junho de 2008.

IEA. **Key world energy statistics**. 17 th ed. Paris: Internacional Energy Agency, 2014. 80p. Disponível em: < http://www.iea.org/publications/freepublications>. Acesso em: 10 janeiro de 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índice nacional de preços ao consumidor amplo**. [S.l.]: IBGE, 2015. Disponível em: < http://www.portalbrasil.net/ipca.htm>. Acesso em 10 de julho de 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS; MET OFFICE HADLEY CENTRE. **Riscos das mudanças climáticas no Brasil**. [S.l.]: INPE; MOHC, 2011. 56 p. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/>. Acesso em 07 de outubro de 2014.

IPVA 2015 será, em média, 4,2% mais barato em SP; consulte valor venal. **G1**, São Paulo, 19 de novembro de 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2014/11/ipva-2015-sera-em-media-42-mais-barato-em-sp-diz-secretaria.html>. Acesso em: 20 de julho de 2015.

LOPES, J.A.M. Mobilidade elétrica no Brasil, uma opção de futuro. In: XXII FÓRUM NACIONAL, 22., 2010, Rio de Janeiro. **Cadernos fórum nacional 10:Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil...**Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Altos Estudos(INAE), 2010. p.50-56. Disponível em: < http://www.forumnacional.org.br>. Acesso em 03 de outubro de 2014

MELO, P.M.A.S. Estruturas e características de veículos híbridos e eléctricos. In: CARVALHO, J.A.B. **Neutro à Terra, revista técnico-científica,** nº 6**.** Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2010. p.17-26. Disponível em: <http://neutroaterra.blogspot.com.br/>. Acesso em: 22 de novembro de 2013.

MERCADO LIVRE. **Peças e acessórios para automóveis.** [S.l.]. Disponível em: < http://carros.mercadolivre.com.br/pecas/>. Acesso em: 23 de julho de 2015.

MORAES, N.G. **Avaliação das tendências da demanda de energia no setor de transportes no Brasil.** 2005. 167p. Dissertação de mestrado (Mestrado em planejamento energético) – COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: < http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/ngmoraes.pdf>. Acesso em: 23 de junho de 2014.

NISSAN. Novo nissan leaf: Catálogo, Portugal, 2014. Disponível em: <http://www.nissan.pt/content/dam/services/PT/brochure/E-Catalago_Leaf_PT.pdf>. Acesso em: 07 de novembro de 2014.

NOCE, T. **Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento**. 2009. 129 p. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <www.biblioteca.pucminas.br>. Acesso em: 14 de outubro de 2014.

OLIVEIRA, L. BMW lança seu primeiro carro elétrico no Brasil a partir de R$ 225, 9 mil. **G1**, São Paulo, 10 de setembro de 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/carros/noticia/2014/09/bmw-lanca-seu-1-carro-eletrico-no-brasil-partir-de-r-2259-mil.html>. Acesso em: 15 de janeiro de 2015.

OLMOS, M. Governo reduz imposto de carros híbridos. **Valor econômico**, São Paulo, 19 de setembro de 2014. Disponível em: <http://www.valor.com.br/empresas/3702978/governo-reduz-imposto-de-carros-hibridos>. Acesso em: 07 de janeiro de 2015.

PEREIRA, J.A.G. Carga fiscal inviabiliza elétricos. Página 22, São Paulo, 07 de junho de 2013. Disponível em: <http://www.pagina22.com.br/index.php/2013/06/carga-fiscal-invibiliza-venda-de-carro-eletrico/> . Acesso em: 25 de novembro de 2014.

QUEIROZ, J.F. **Introdução do veículo híbrido no Brasil: Evolução tecnológica aliada à qualidade de vida.** 2006. 71 p. Dissertação (Mestrado em engenharia automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), São Paulo, 2006. Disponível em: < www.automotiva-poliusp.org.br>.Acesso em: 02 de agosto de 2014.

REIDLER, N.M.V.; GÜNTHER, W. M. R. Impactos Ambientais e Sanitários Causados por Descarte Inadequado de Pilhas e Baterias Usadas. **Revista Limpeza Pública**. São Paulo, n. 60, p. 20-26, 2003. Disponível em: < http://www.ablp.org.br> Acesso em: 20 de março de 2014.

RESVISTA CESVI. São Paulo: Cesvi, 74ª ed, publicação bimestral, julho de 2011, 36 p. Disponível em: < http://www.cesvibrasil.com.br/site.aspx/revista-cesvi-edicoes> . Acesso em: 17 de fevereiro de 2014.

REZENDE, S.;MOTA, R.;DUARTE, A. Os veículos elétricos e as ações do ministério da ciência e tecnologia. In: XXII FÓRUM NACIONAL, 22.,2010,Rio de Janeiro. **Cadernos fórum nacional 10:Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil...**Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Altos Estudos(INAE), 2010. p.13-29. Disponível em: < http://www.forumnacional.org.br>. Acesso em 03 de outubro de 2014.

RIATO, G. Nissan Leaf com preço semelhante ao do Honda Civic. **Automotivebusiness**, São Paulo, 01 de junho de 2011. Disponível em: <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/10587/nissan-leaf-com-preco-semelhante-ao-do-honda-civic>. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.

ROCHA, L.H. **Carro elétrico-Desafios para sua inserção no mercado brasileiro de automóveis**. 2013. 76 p. Dissertação (Especialização em gestão e tecnologias ambientais) – Escola politécnica: USP, São Paulo, 2009. Disponível em: < http://www.abve.org.br> . Acesso em: 10 de novembro de 2014.

ROLLI, C. Custo de bateria emperra carro elétrico. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 02 de novembro de 2010. Disponível em: < http://www1.folha.uol.com.br/mercado/ >. Acesso em 20 de agosto de 2014.

ROSOLEM, M. F. et.al. Bateria de lítio-íon: conceitos básicos e potencialidades**. Cadernos CPqD tecnologia**, Campinas, v.8, n.2, p 59-72, jul/dez. 2012. Disponível em: <http://www.cpqd.com.br>. Acesso em 08 de abril de 2014.

SCHAEFFER, R. et al. **Redução de emissões: Opções e perspectivas para as áreas de energia, indústria e transporte no Brasil.**[Rio de Janeiro]: UFRJ, 2009. 33p. Disponível em: < http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-409.pdf>. Acesso em: 09 de julho de 2014.

STRUBEN, J.; STERMAN, J. D. **Transition challenges for alternative fuel vehicle and transportation systems**. Massachusetts: MIT, 2008. V 35. 27p. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download> .Acesso em: 15 de janeiro de 2014.

TANAKA, C.N. **Metodologia de dimensionamento do sistema de tração para veículos elétricos.** 2013. 106 p. Dissertação (Mestrado em ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), São Paulo, 2013. Disponível em:<www.teses.usp.br/teses>. Acesso em: 20 de setembro de 2014.

TERRA, notícias sobre ciência e clima. **Nasa: dados climáticos de 2013 confirmam o aquecimento global**, 2014. Disponível em:<http://noticias.terra.com.br/ciencia/clima>. Acesso em: 20 de julho de 2014.

TOYOTA (a), Preços e características dos modelos Toyota, [S.l.], 2015 .Disponível em <http://www.toyota.com.br/modelos> . Acesso em: 28 de julho de 2015.

TOYOTA (b)**,** Baterias dos híbridos são recuperadas no fim da vida do veículo ou em caso de acidente, [S.l.], 2015 .Disponível em < http://www.toyota.pt/world-of-toyota/articles-news-events/2015/Toyota-Europa-recupera-baterias-hibridas.json> . Acesso em: 28 de julho de 2015.

TRIGUEIRO, A. Falta de incentivo e carga tributária inviabilizam carro elétrico no Brasil. **Jornal da Globo**, São Paulo, 07 de fevereiro de 2013. Disponível em: < http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2013/02/falta-de-incentivo-e-carga-tributaria-inviabilizam-carro-eletrico-no-brasil.html>. Acesso em: 17 de dezembro de 2014.

VARGA, G.; WENGERT, M. A indústria de fundos de investimentos no Brasil. **Revista de Economia e Administração**. São Paulo, v.10, n.1, p. 66-109, 2011. Disponível em: < http://www.insper.edu.br/pesquisa/revista-de-economia-e-administracao> Acesso em: 27 de julho de 2015.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BALDISSERA, L.B. **Desenvolvimento de um protótipo de um veículo elétrico.** 2012. 86 p. Monografia (Graduação em engenharia elétrica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012. Disponível em: < http://www.abve.org.br/downloads/TCC-Luciano-Bonato.pdf>. Acesso em: 03 de outubro de 2014.

BORBA, B.S.M.C. **Modelagem integrada da introdução de veículos leves conectáveis à rede elétrica no sistema energético brasileiro.** 2012. 166 p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: < http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/bruno_borba.pdf >. Acesso em: 09 de agosto de 2014.

CASOTTI, B.P.;GOLDENSTEIN.M. Panorama do setor automotivo: as mudanças estruturais da indústria e as perspectivas para o Brasil. **BNDES Setorial,** Rio de Janeiro, n.28, p.147-188, set.2008. Disponível em: < http://www.bndes.gov.br>. Acesso em:15 de junho de 2014.

CUNHA, R. D. Análise da integração de veículos elétricos na matriz energética brasileira. 2011. 39 p. Monografia (Graduação em engenharia elétrica) – Universidade federal do Pará: Campus Tucuruí, Tucuruí, 2011. Disponível em: < http://www.abve.org.br/downloads/TCC-Renato-UFPA.pdf>. Acesso em: 15 de agosto de 2014.

XXII FÓRUM NACIONAL, 22.,2010, Rio de Janeiro. **Cadernos fórum nacional 10:Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil...**Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Altos Estudos(INAE), 2010. Disponível em: < http://www.forumnacional.org.br>. Acesso em 03 de outubro de 2014.

OSORIO, V.A.G. **Carregamento ótimo de veículos elétricos considerando as restrições das redes de distribuição de média tensão**. 2013. 166 p. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho": Campus de ilha Solteira, Ilha Solteira, 2013. Disponível em: < http://www.feis.unesp.br>. Acesso em: 23 de agosto de 2014.

SILVA, E.R. **Análise do Crescimento da Motorização no Brasil e seus Impactos na Mobilidade Urbana.** 2011. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: < http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/EleniceRachidDaSilva.pdf >. Acesso em: 07 de maio de 2014.

APÊNDICE A – Parâmetros de consumo, emissões e eficiência energética de alguns modelos populares de automóveis

Valores médios para alguns modelos populares						
Marca	Modelo	Motor	CO_2 (g/km)	Cidade (km/l)	Estrada (km/l)	Consumo energético (MJ/km)
Citroen	C3	1.5 - 8V	102	11,9	14,7	1,74
Citroen	C3	1.6 - 16V	114	10,6	13,4	1,85
Fiat	Novo uno	1.0 - 8V	100	12,3	14,5	1,67
Fiat	Novo uno	1.4 - 8V	104	11,8	14,4	1,70
Fiat	Palio	1.0 - 8V	99	12,2	15,4	1,65
Fiat	Siena	1.0-8V	101	11,9	14,4	1,70
Fiat	Siena	1.4 - 8V	115	10,6	13,2	1,90
Fiat	Novo palio	1.0 - 8V	112	10,8	13,6	1,84
Fiat	Novo palio	1.4 - 8V	113	10,8	13,5	1,84
Ford	Ka	1.0 - 8V	188	11,6	13,5	1,75
Ford	Fiesta Hatch	1.6-16 V	105	11,7	14,1	1,71
Ford	Fiesta Hatch	1.5 - 16 V	112	10,8	13,7	1,80
Ford	Focus Hatch e Focus Sedan	1.6 - 16V	124	9,7	12,9	2,04
Ford	Focus Hatch e Focus Sedan	2.0 - 16V	133	9,2	11,7	2,16
Ford	New Focus Hatch	1.6 - 16V	120	10,2	13,1	1,96
Ford	New Focus Hatch e New Focus sedan	2.0 - 16V	125	9,6	12,6	2,05
Honda	Fit	1.4 - 16 V	111	11,4	12,9	1,86
Honda	Fit	1.5 - 16V	117	10,9	12,2	1,94
Honda	City	1.5 - 16V	113	11,1	13,3	1,86
Honda	Civic	1.8 - 16V	115	10,6	13,4	1,85
Honda	Civic	2.0 - 16 V	127	9,4	12,8	2,05
Volkswagen	Gol	1.0 - 8V	106	11,5	14,0	1,75
Volkswagen	Gol	1.6 - 8V	113	10,7	13,7	1,84
Volkswagen	Polo	1.6 - 8V	129	9,4	12,1	2,15
Volkswagen	Voyage	1.0 - 8V	106	11,6	14,0	1,75
Volkswagen	Voyage	1.6 - 8V	113	10,7	13,7	1,84
Hyunday	HB20	1.6 - 16V	110	11,6	12,7	1,83
Renault	Clio	1.0 - 16V	96	13,7	15,1	1,52
Toytota	Corolla	1.8 - 16V	117	10,4	13,4	1,90

Fonte: Adaptado de (INMETRO, 2013)

APÊNDICE B – Valores venais dos veículos utilizados no modelamento matemático do valor venal em função da idade do veículo

Ano	FIAT UNO WAY 1.4	FIAT UNO VIVACE 1.0	FIAT UNO WAY 1.0	FIAT UNO SPORTING 1.4
2014	30125	24989	26836	29693
2013	29655	23675	24414	27270
2012	27872	23111	23679	25975
2011	26660	21639	23608	24738
2010	24533	19447	20127	23927
Ano	FIAT/PALIO WK ADVEN FLEX	FIAT/IDEA ADVENTURE 1.8	FIAT/IDEA ATTRACTIVE 1.4	FIAT/IDEA ESSENCE 1.6
2014	47899	47899	37643	40567
2013	45589	45589	36114	37487
2012	39578	39578	33836	34628
2011	37608	37608	30851	33308
2010	35561	35561	29091	30363
Ano	FIAT/DOBLO ADV 1.8 FLEX	FIAT/BRAVO ABSOLUTE DUAL	FIAT/BRAVO ESSENCE 1.8	FIAT/PUNTO SPORTING 1.8
2014	56202	55084	49552	41510
2013	51617	50448	43796	40611
2012	50106	45021	40496	38470
2011	47721	42760	39295	37696
2010	41447	42666	37942	31709
Ano	FIAT/PUNTO ATTRACTIVE	FORD FUSION HYBRID	FORD FUSION FLEX	FORD FUSION FWD GTDI
2014	36965	101338	87302	98030
2013	31453	99784	84638	94617
2012	30553	87621	79886	91633
2011	29519	83848		
2010	26702	80858		
Ano	FORD FUSION AWD GTDI	FORD/FIESTA SEDAN 1.6 FLEX	FORD/FIESTA 1.6 FLEX	HONDA CITY LX FLEX
2014	107510	31376	29457	44821
2013	98899	28816	27054	41164
2012	95779	28590	26217	38742
2011		26993	25198	
2010		24269	23170	
Ano	HONDA CITY EX FLEX	HONDA/CIVIC LXS	NISSAN/GRAND LIVINA 18S	NISSAN/GRAND LIVINA 18SL
2014	49294	57485	46430	49849
2013	45746	49448	42642	45782
2012	41416	46344	41445	44502
2011		44477	40178	42383
2010			33280	34999

Ano	TOYOTA PRIUS	TOYOTA/COROLLA XEI20FLEX	TOYOTA/COROLLA GLI FLEX	VW/ JETTA 2.0
2014	97457	65977	55240	62425
2013	86723	57419	52154	55969
2012	78343	57222	49246	53138
2011	68784	51409	45270	50852
2010		48097	43972	49445
Ano	VW/ JETTA 2.0T	VW/NOVO VOYAGE 1.6	VW/POLO 1.6	VW/CROSSFOX GII
2014	87120	34365	41192	44308
2013	77094	29975	33012	39920
2012	72752	29631	31527	39865
2011	68755		29800	37039
2010	67603		27820	32830

Fonte: Adaptado de (MF, 2015)

ANEXO A – Descrição das fases do proconve

As Fases do proconve já implementadas são classificadas como (MMA, 2011):

- **Fase L-1(1988-1991):** Caracterizada pela eliminação dos modelos mais poluentes e aprimoramento dos projetos dos modelos já em produção. Iniciou-se também nesta fase o controle das emissões evaporativas. As principais inovações tecnológicas que ocorreram nesta fase foram: reciclagem dos gases de escapamento para controle das emissões de NO_x; injeção secundária do ar no coletor de exaustão para o controle de CO e HC ;implantação de amortecedor da borboleta do carburador para controle do HC e a otimização do avanço da ignição.
- **Fase L-2 (1992-1996):** A partir dos limites verificados na Resolução CONAMA 18 de 1986, nessa fase investiu-se na adequação de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica para uso com mistura de etanol, em proporção única no mundo. As principais inovações nos veículos foram a injeção eletrônica, os carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos. Em 1994 iniciou-se o controle de ruído dos veículos.
- **Fase L-3 (1997-2004):** Em face da exigência de atender aos limites estabelecidos a partir de 1º de janeiro de 1997 (Resolução CONAMA 15 de1995), ocorreram reduções bastante significativas em relação aos limites anteriores, e o fabricante/importador empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor como, por exemplo, o sensor de oxigênio.
- **Fase L-4 (2005-2008):** Tendo como referência a Resolução CONAMA Nº 315 de 2002, a prioridade nesta fase que teve início no ano de 2005 foi a redução das emissões de HC e NO_x, (substâncias precursores de Ozônio). Para o atendimento desta fase, se deu o desenvolvimento de motores com novas tecnologias como a otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos de injeção, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica.

- **Fase L-5 (2009-2013):** Com os limites de emissão da Resolução CONAMA Nº 315 de 2002, da mesma forma que na fase L-4, a prioridade na fase L-5 foi a redução das emissões de HC e NO. De maneira análoga à fase L-4, as inovações tecnológicas se deram na otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica. Nesta fase deu-se a redução de 31% das emissões de hidrocarbonetos não-metano para os veículos leves do ciclo Otto e de 48% e 42% para as emissões de NO_x para os veículos leves do ciclo Otto e Diesel, respectivamente. Além disso, as emissões de aldeídos foram reduzidas em, aproximadamente, 67% para os veículos do ciclo Otto.