



Rodrigo Galbieri

O transporte rodoviário de passageiros no Brasil: Estratégias de mitigação do consumo energético e da emissão de CO₂

34/2013

CAMPINAS
2013



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

RODRIGO GALBIERI

O transporte rodoviário de passageiros no Brasil: Estratégias de mitigação do consumo energético e da emissão de CO₂

Orientador: Prof. Dr. André Felipe Simões

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA TESE DEFENDIDA PELO ALUNO
RODRIGO GALBIERI, E ORIENTADA PELO
PROF. DR. ANDRÉ FELIPE SIMÕES.

A handwritten signature in black ink, appearing to be "André Felipe Simões", is written over a horizontal dotted line. The signature is fluid and cursive.

ASSINATURA DO ORIENTADOR

**CAMPINAS
2013**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

G131t Galbieri, Rodrigo, 1977-
O transporte rodoviário de passageiros no Brasil : estratégias de mitigação do consumo energético e da emissão de CO2 / Rodrigo Galbieri. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: André Felipe Simões.

GalTese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

11. Transporte rodoviário. 2. Eficiência energética. 3. Biocombustíveis. 4. Política energética. I. Simões, André Felipe. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: The Brazilian passenger road transportation : energy consumption and CO2 emission mitigation strategies

Palavras-chave em inglês:

Highway transportation

Energetic efficiency

Biofuels

Energy policy

Titulação: Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora:

André Felipe Simões [Orientador]

Sergio Valdir Bajay

Carla Kazue Nakao Cavaliero

Dominique Mouette

Edmilson Moutinho dos Santos

Data de defesa: 28-02-2013

Programa de Pós-Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

TESE DE DOUTORADO

**O transporte rodoviário de passageiros no
Brasil: Estratégias de mitigação do consumo
energético e da emissão de CO₂**

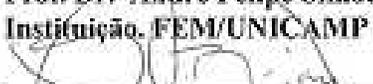
Autor: Rodrigo Galbieri

Orientador: Dr. André Felipe Simões

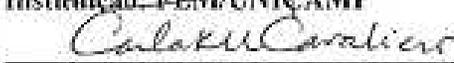
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:


Prof. Dr. André Felipe Simões, Presidente

Instituição: FEM/UNICAMP


Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay

Instituição: FEM/UNICAMP


Prof. Dr. Carla Kazue Nakao Cavaliero

Instituição: FEM/UNICAMP


Prof. Dra. Dominique Mouette

Instituição: EACH/USP


Prof. Dr. Edmilson Moutinho dos Santos

Instituição: USP/IEE

Campinas, 28 de fevereiro de 2013

Agradeço ao meu orientador André Felipe Simões pela orientação e paciência nas revisões dos Capítulos. Aos professores Arnaldo César Walter e Paulo de Barros pelos votos de confiança de ambos.

Agradeço também ao “pessoal” da CPG-FEM, a todos os professores com quem cursei disciplinas, seja do Planejamento Energético ou não, aos meus colegas das turmas das disciplinas, e aos professores que participaram da minha Banca de Defesa, pelas valiosas contribuições.

E especialmente aos meus pais pelo apoio em todos os sentidos.

“A ciência se compõe de erros que, por sua vez, são os passos até a verdade” – Júlio Verne.

“No mundo há riqueza suficiente para satisfazer as necessidades de todos, mas não para alimentar a ganância de cada um” Mahatma Gandhi.

“Se um homem imagina uma coisa, outro a tornará realidade”
– Júlio Verne.

Resumo

O presente Estudo possui como objetivo principal realizar uma análise quantitativa dos impactos sobre o consumo de combustíveis e das emissões de CO₂ de medidas de eficiência energética e aumento no uso de biocombustíveis para o setor de transportes rodoviário brasileiro de passageiros (veículos leves, motocicletas e ônibus) – de forma isolada e conjunta – entre os anos 2010 a 2030. Concomitantemente, visa oferecer uma “cesta” de opções para os tomadores de decisões (esferas políticas) para o setor de transportes brasileiro de passageiros nas áreas de eficiência energética, combustíveis alternativos e medidas de gestão da demanda.

A citada “cesta” de opções envolve aspectos qualitativos e quantitativos dessas medidas de mitigação. Para se atingir os objetivos propostos, realizou-se uma análise do potencial técnico-econômico de tecnologias relacionadas a mitigação do consumo de combustíveis e das emissões de CO₂, no horizonte de tempo 2010 a 2030. Já a metodologia utilizada na análise quantitativa estima a frota de veículos circulantes no Brasil, o consumo de combustíveis e as emissões de CO₂ do setor de transportes rodoviário de passageiros adotando uma abordagem *bottom-up*. Adotou-se, como premissa, que o ano de início da implementação das medidas mitigatórias para os Cenários Alternativos seria 2015. Foi criado um Cenário Tendencial (denominado BAU – *Business-as-Usual*) e mais 3 grupos de cenários alternativos – modelados com diferentes padrões de aumento de eficiência energética e/ou uso de biocombustíveis (etanol anidro, etanol hidratado e biodiesel), incluindo a conversão da frota de ônibus à óleo Diesel para etanol aditivado. De acordo com os resultados apresentados pelas projeções desse Estudo, mantidas as tendências atuais até o ano de 2030, o crescimento projetado das emissões de CO₂ no Cenário BAU, entre os anos de 2010 e 2030, foi de expressivos 120%. Contudo, os resultados das simulações, revelam possibilidades de mitigações das emissões de CO₂ entre 5% a 48% para o caso dos cenários propostos, em relação ao Cenário BAU. Os resultados do presente Trabalho permitem intuir que as atuais políticas para promoção do uso de biocombustíveis de primeira geração no Brasil, combinadas com programas de eficiência energética veicular, incluindo hibridização, formam uma estratégia robusta de mitigação. Tais estratégias se mostram factíveis às questões envolvendo a problemática e tênue relação entre (“produção” e uso de) energia e meio ambiente, principalmente no que se refere ao uso do solo (desmatamentos e produção de alimentos). Apesar de não ter sido quantificado, em virtude das limitações do modelo escolhido, medidas de gerenciamento da demanda por transporte devem fazer parte das políticas públicas na área de transporte, pois o potencial de mitigação dessas medidas, conforme os exemplos analisados, são substanciais.

Palavras Chave: Setor de Transportes de Passageiros, Eficiência Energética, Biocombustíveis, Gestão da Demanda

Abstract

The present thesis has, as the main goal, to provide a quantitative analysis of the impacts on fuel consumption and CO₂ emissions of energy efficiency measures and increased use of biofuels for the Brazilian road transport passenger sector (light vehicles, motorcycles and buses) - separately and together - between the years 2010 and 2030. Concomitantly, it aims to provide a "basket" of options to policymakers in the areas of energy efficiency, alternative fuels and demand management measures. The aforementioned "basket" of options involves qualitative and quantitative aspects of these mitigation measures. To achieve the proposed objectives, it was performed an analysis of the technical and economic potential for the mitigation technologies related to fuel consumption and CO₂ emissions, considering the timeline from 2010 to 2030. It's opportune to mention that the methodology used in the quantitative analysis estimates the fleet of vehicles circulating in Brazil, fuel consumption and CO₂ emissions from the transportation sector by road by adopting a bottom-up approach, as recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC

The results of this work indicate that current policies for promoting the use of first generation biofuels in Brazil, combined with vehicular energy efficiency programs, including hybridization, form a robust mitigation strategy. Such strategies appeared feasible to issues involving the problematic and tenuous relationship between ("production" and use of) energy and the environment, particularly with regard to land use (deforestation and food production, mainly). Despite not being quantified, due to limitations of the choosed model, demand management measures should be part of public policies in the the area of transportation. After all, the potential for mitigation measures, such as the analyzed examples, are substantial. In fact, the results of the simulations reveal possibilities of CO₂ emission mitigation among 5% to 48% for the case of the proposed sceneries, in relation to the business as usual scenario.

Key Words: Road Passenger Transportation Sector, Energy Efficiency, Biofuels, Demand Management

Lista de Ilustrações

Figura 1.1: Estrutura do Trabalho.....	14
Figura 2.1: Emissões globais de GEE por setor de atividade – 2004	25
Figura 2.2: Emissões mundiais de CO ₂ por setor econômico no ano de 2005.....	26
Figura 2.3: Cenários tendênciais e alternativos de emissões de CO ₂ no setor de transporte mundial.....	27
Figura 2.4: Consumo total de derivados de petróleo por setor da economia brasileira – 1970 a 2010	29
Figura 2.5: Consumo de energia no setor de transportes brasileiro por energético no ano de 2011 – 103 tEP.....	30
Figura 2.6: Consumo de derivados de petróleo e gás natural entre os diferentes modos de transporte no Brasil – 2010	30
Figura 2.7: Consumo de energia por fonte do modal rodoviário	31
Figura 2.8: Participação no consumo do setor de transportes das diferentes fontes de energia – 1975 a 2010.....	32
Figura 2.9: Setores responsáveis pela emissão de CO ₂ no Brasil nos anos de 1990 e 2005 – sem considerar o desmatamento – em porcentagem	34
Figura 2.10: Fontes fósseis de emissão de CO ₂ no Brasil no ano de 2005 – em Gg de CO ₂	35
Figura 2.11: Comparação das metas de emissão de GEE – padronizadas	55
Figura 2.12: Comparação das metas de consumo de combustíveis – padronizadas	56
Figura 3.1: Uso de energia per capita anual versus densidade urbana.....	77
Figura 4.1: Perdas energéticas em um veículo trafegando no ciclo estrada e no meio urbano.....	93
Figura 4.2: Diagrama simplificado de funcionamento de um veículo híbrido elétrico	106
Figura 6.1: Procedimento para estimar a frota de veículos.....	151
Figura 6.2: Curvas de sucateamento para veículos do ciclo Otto	155
Figura 6.3: Curvas de sucateamento para veículos do ciclo Diesel	155
Figura 6.4: Intensidade de uso de referência para veículos do ciclo Otto	156
Figura 6.5: Intensidade de uso de referência para veículos do ciclo Diesel	156
Figura 7.1: Frota estimada em milhares de unidades e a participação no total para o ano 2010 dos veículos ciclo Otto e ciclo Diesel – sem as motocicletas	171
Figura 7.2: Consumo de combustível estimado em volume para o ano de 2010 – 10 ³ m ³	173
Figura 7.3: Emissões totais de CO ₂ de origem fóssil por tipo de veículo para os anos 2010 e 2030 – KtCO ₂	175

Figura 7.4: Resultado das projeções dos grupos de Cenários Alternativos para a gasolina A, no período 2015 a 2030 – 10^6 m^3	178
Figura 7.5: Resultado das projeções dos grupos de Cenários Alternativos para o etanol, no período 2015 a 2030 – 10^6 m^3	180
Figura 7.6: Resultado das projeções dos grupos de Cenários Alternativos para o óleo Diesel, no período 2015 a 2030 – 10^6 m^3	182
Figura 7.7: Resultado das projeções dos grupos de Cenários Alternativos para o biodiesel, no período 2015 a 2030 – 10^3 m^3	184
Figura 7.8: Crescimento médio anual da produção de etanol para os Cenários do Grupo 1, Grupo 2 e Misto, para o período 2010 a 2030	189
Figura 7.9: Crescimento médio anual da produção de biodiesel para os Cenários do Grupo 1, Grupo 2 e Misto, para o período 2010 a 2030	191
Figura 7.10: Emissões totais de CO_2 de origem fóssil por tipo de Cenário do Grupo 1, para o período 2010 a 2030	193
Figura 7.11: Emissões totais de CO_2 de origem fóssil por tipo de Cenário do Grupo 2, para o período 2010 a 2030	194
Figura 7.12: Emissões totais de CO_2 de origem fóssil por tipo de Cenário Misto, para o período 2010 a 2030	195
Figura 7.13: Emissões totais de CO_2 de origem fóssil por tipo de Cenário do Grupo 1 e Grupo 2 – com a conversão de ônibus para etanol – para o período 2010 a 2030	196

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Consumo de energia mundial por modo de transporte no ano 2000.....	22
Tabela 2.2: Emissões de CO ₂ do setor de transporte brasileiro	35
Tabela 2.3: Emissões de CO ₂ (10 ³ t) do modal rodoviário no Brasil – 1990 a 2009	36
Tabela 2.4: Ranking dos veículos mais vendidos no Brasil no ano de 2012 (até 15 junho) e sua classificação de acordo com o PBEV	49
Tabela 2.5: Comparação entre os programas de eficiência energética veicular no mundo	54
Tabela 4.1: Potencial de economia de combustível advindo de melhoria nos componentes pertencentes ao powertrain e nos componentes não pertencentes ao powertrain	116
Tabela 6.1: Categorização da frota de veículos	150
Tabela 6.2: Fatores de emissão de CO ₂	153
Tabela 6.3: Quilometragem por litro de combustível para motocicletas	157
Tabela 6.4: Valores médios de quilometragem por litro de combustível para veículos do ciclo Diesel ..	157
Tabela 6.5: Quilometragem por litro de combustível para automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto (km/L)	158
Tabela 7.1: Consumo de combustível estimado por tipo de veículo ciclo Otto no ano de 2010 – 1.000 m ³	172
Tabela 7.2: Consumo de combustível estimado por tipo de veículo ciclo Diesel no ano de 2010 – 10 ³ m ³	172
Tabela 7.3: Participação, por tipo de veículo, do total das emissões de CO ₂ de origem fóssil para os anos 2010 e 2030	175
Tabela 7.4: Resultado acumulado das projeções por tipo de combustível do Cenário BAU – 10 ⁶ m ³	177
Tabela 7.5: Veículos Novos – 10 ⁶ de unidades.....	186
Tabela 7.6: Custo médio para implementar as medidas de eficiência energética propostas	187

Lista de Abreviaturas e Siglas

Abreviações

AEA – Álcool etílico anidro

AEH – Álcool etílico hidratado

BAU – Business-As-Usual

BRT – Bus Rapid Transit

BtL – Biomass-to-liquid

CIDE – Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico

CCGS – Carbon capture and geological storage

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

CtL – Coal-to-liquid

CVA – Camless Valve Actuation

C_x – Coeficiente aerodinâmico

DME – Éter dimetílico

ED 95 – Aditivo Etamax D

EE – Eficiência energética

FCV – Fuel Cell Vehicle

FT – Fischer-Tropsch

g/KWh – Grama por Quilowatt-hora

GEE – Gases de efeito estufa

GLP – Gás liquefeito de petróleo

GN – Gás natural

GNC – Gás natural comprimido

GNV – gás natural veicular

GtG – Gas-to-gas

GtL – Gas-to-liquid
GWP – Global Warming Factor
H₂ – Hidrogênio
HC – Hidrocarbonetos
HCCI – Homogeneous Charge Compression-Ignition
ICE – Internal combustion engine
ICEV – Veículo com motor a combustão interna
KERS – Kinetic energy recovery system
LDV – Light duty vehicle
MCI – Motor de combustão interna
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MP – Material particulado
Mpg – Milhas por galão
NC – Índice de cetano
NO – Índice de octano
NO_x – Óxidos de nitrogênio
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PASEP – Programa de Formação de Patrimônio do Servidor Público
PIS – Programa de Integração Social
QAV – Querosene de Aviação
SO_x – Óxidos de enxofre
SUV – Sport Utility Vehicle
tEP – Tonelada equivalente de petróleo
TKU – Tonelada-quilômetro-útil
TTW – Tank-To-Wheel
ULSD – Ultra Low Sulfur Diesel
VE – Veículos elétricos
VMT – Volume de passageiros transportados
VVT – Variable Valve Timing
WTW – Well-To-Tank

WTW – Well-To-Wheel

Siglas

ABRACICLO – Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares

ABVE – Associação Brasileira do Veículo Elétrico

ACEA – European Automobile Manufacturer’s Association

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANP – Agência Nacional do Petróleo

BEN – Balanço Energético Nacional

BEST – Bioethanol for Sustainable Transport

CAFC – Canada’s Company Average Fuel Consumption

CAFE – Corporate Average Fuel Economy

CARB – California Air Resources Board

CATARC – China Automotive Technology and Reserch Center

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

Conpet – Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

ECCJ – Energy Conservation Center Japan.

ECMT– European Conference of Ministers of Transport

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA – Environmental Protection Agency

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FENABRAVE – Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores

GEE – Gases de efeito estufa

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA – International Energy Agency
IEE – Instituto de Eletrotécnica e Energia
Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IPI – Imposto Sobre Produtos Industrializados
JAMA – Japan Automobile Manufacturers Association
LULUCF – Land Use, Land-Use Change and Forestry
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MME – Ministério de Minas e Energia
NAS – National Academy of Sciences
NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration
NRC – National Research Council of the National Academies
OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
PASEP – Programa de Formação de Patrimônio do Servidor Público
PBEV – Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PNAD – Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios
PNE – Plano Nacional de Energia
PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
SINDIPEÇAS – Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores
UE – União Europeia
UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change
UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar
VTPI – Victoria Transport Policy Institute
WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

SUMÁRIO

Lista de Ilustrações.....	xv
Lista de Tabelas	xix
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xxi
SUMÁRIO	xxix
1. Introdução	1
1.1. Importância do tema.....	1
1.2. Objetivos	6
1.3. Metodologia	7
1.4. Motivações	10
1.5. Estrutura do Trabalho	12
2. O setor de transportes.....	15
2.1. Introdução	15
2.2. Metodologias para contabilização das emissões de GEE	17
2.3. Características do consumo de energia do setor de transportes mundial.....	19
2.4. Consumo mundial de petróleo e derivados	21
2.5. Emissões mundiais de CO ₂ com ênfase no setor de transportes	24
2.6. Consumo de energia do setor de transportes brasileiro	28
2.7. Emissões de CO ₂ do setor de transportes brasileiro.....	33
2.8. Limites do consumo de petróleo no Brasil.....	36
2.9. Histórico e metas de emissão veicular e eficiência energética em países selecionados	39
2.9.1. União Européia	40
2.9.2. Japão.....	41
2.9.3. China	42
2.9.4. Estados Unidos.....	43
2.9.4.1. Califórnia	44
2.9.5. Canadá.....	46
2.9.6. Austrália	47
2.9.7. Brasil	48

2.9.7.1. Inovar-Auto	52
2.9.8. Comparação entre os principais programas de eficiência energética veicular no mundo	53
2.10. Conclusões do Capítulo 2	57
3. Gestão da demanda e as políticas públicas no setor de transportes	59
3.1. Introdução	59
3.2. Medidas Restritivas	62
3.2.1. Restrição Física	63
3.2.2. Restrição Regulamentar	64
3.2.3. Restrição Fiscal e Tarifação	66
3.2.4. Restrição ao Estacionamento e rotatividade	67
3.3. Priorização dos transportes públicos	68
3.3.1. BRT – Bus Rapid Transit	70
3.4. Modais não motorizados - ciclistas	71
3.5. Políticas Públicas de Planejamento Urbano	74
3.5.1. O uso do solo e o consumo de energia do setor de transportes	75
3.6. Mudança Comportamental	78
3.6.1. Importância do pensamento sistêmico	79
3.7. Tecnologias da Informação – TI	81
3.8. As políticas públicas na área de gestão da demanda – “Soft” Políticas	82
3.9. “Hard” políticas	85
3.9.1. Tributação diferenciada para veículos mais eficientes	86
3.10. Conclusões do Capítulo 3	88
4. Medidas de Eficiência Energética aplicadas ao setor de transportes rodoviário de passageiros	91
4.1. Introdução	91
4.2. Veículos Leves – LDVs	93
4.2.1. Tamanho, peso e potência dos veículos novos	95
4.2.2. Uma nova geração de veículos menores e baratos	97
4.2.3. Veículos a gás natural	98
4.3. Motores	100
4.3.1. Motor de ignição por compressão de carga homogênea	101
4.3.2. Comando de Válvulas	102
4.3.3. Válvula com Tempo Variável	102

4.3.4. Motor sem Árvore de Cames	103
4.3.5. Razão de Compressão Variável	103
4.3.6. Turbocompressor e <i>downsizing</i> do MCI	104
4.3.7. Desativação de Cilindros	105
4.3.8. MCI atuando conjuntamente com motor elétrico.....	105
4.3.8.1. Ônibus híbrido – motor elétrico e a óleo Diesel	107
4.4. Materiais avançados	108
4.5. Aerodinâmica	110
4.6. Pneumáticos	112
4.7. Transmissão	113
4.8. Componentes não <i>powertrain</i>	114
4.9. Sinergia entre diferentes tecnologias incrementais para emprego nos LDVs no horizonte de tempo desse Estudo.....	115
4.10. Tecnologias com potencial de mitigação para se tornarem competitivas após 2030.....	117
4.10.1. Veículos elétricos	117
4.10.2. Veículo a célula a combustível	119
4.11. Conclusões do Capítulo 4	120
5. Combustíveis.....	123
5.1. Introdução – Combustíveis de origem fóssil.....	123
5.2. Potencial do gás natural como combustível de transição.....	125
5.2.1. Entraves à utilização e/ou expansão do uso do GN	128
5.2.2. Situação atual do GN no Brasil.....	129
5.3. Biocombustíveis.....	131
5.3.1. Etanol e os veículos <i>flex fuel</i>	132
5.3.1.1 Uso do etanol em motores ciclo Diesel.....	133
5.3.1.2. Projeto BEST	136
5.3.1.3. Etano aditivado x óleo Diesel	137
5.3.2. Biodiesel.....	137
5.3.2.1. Custo de oportunidade	139
5.4. Combustíveis com potencial real de mitigação para se tornarem competitivos após 2030.....	140
5.4.1. Biocombustíveis de 2º geração	140
5.4.2. Hidrogênio.....	143

5.5. Conclusões do Capítulo 5	144
6. Cenários associados aos veículos rodoviários de passageiros	146
6.1. Introdução	146
6.2. Metodologia para a estimativa do consumo de combustíveis dos veículos	147
6.2.1. Vendas de veículos novos	154
6.2.2. Curvas de sucateamento	154
6.2.3. Valores de referência para a intensidade de uso de veículos	155
6.2.4. Quilometragem por litro de combustível (km/L)	157
6.3. Caracterização dos Cenários Alternativos	159
6.3.1. Cenários do Grupo 1 – Eficiência Energética	162
6.3.1.1. Cenários do Grupo 1 – Eficiência Energética com ônibus a etanol	164
6.3.2. Cenários do Grupo 2 – Biocombustíveis	164
6.3.2.1. Cenários do Grupo 2 – Biocombustíveis com ônibus a etanol	166
6.3.3. Cenários Mistos ou Grupo Misto	166
6.4. Conclusões do Capítulo 6	168
7. Análise dos Resultados	170
7.1. Frota estimada de veículos no ano de referência – ano base 2010	170
7.2. Consumo de combustíveis por tipo de veículo	172
7.3. Emissões de dióxido de carbono – início e fim das simulações	173
7.4. Consumo total – por tipo de combustível	176
7.4.1. Gasolina A	178
7.4.2. Etanol	179
7.4.3. Óleo Diesel	181
7.4.4. Biodiesel – Resultados	183
7.5. Custos para aplicar as medidas de eficiência energética propostas	185
7.6. Crescimentos médios anuais das produções de etanol e biodiesel	187
7.7. Emissão total de CO ₂ por tipo de Cenário - agregado Ciclo Otto e Ciclo Diesel	193
7.8. Conclusões do Capítulo 7	197
8. Conclusões e Recomendações	199
8.1. Conclusões	199
8.2. Recomendações para trabalhos futuros	211
Referências Bibliográficas	214

Apêndices e Anexos.....226

1. Introdução

1.1. Importância do tema

O Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), aprovado após árduo processo de revisão em 1990, confirmou a evidência científica do aquecimento do planeta. A temperatura média da Terra já aumentou 0,6°C nesse último século. De acordo com os diferentes modelos climáticos do IPCC, e utilizando suas estimativas mais otimistas, no final do século XXI as projeções indicam que a temperatura média na superfície do planeta Terra poderá se encontrar entre 1,8°C a 4°C superiores, em relação a era pré-industrial (IPCC, 2007a). A primeira vista pode parecer pouco, mas na última glaciação¹ pelo qual o planeta passou a temperatura média da Terra foi “apenas” 5°C menor em comparação com a média atual (FADEL FILHO, 2007).

Os cientistas do IPCC, com a divulgação do 4º Assessment Report ao longo do ano de 2007, acumularam novas evidências que o aquecimento do planeta é causado pela ação antrópica – com 90% de probabilidade² de certeza. Esse fenômeno é chamado de aquecimento global (IPCC, 2007a).

O aquecimento global decorre, portanto, do aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEE) devido à interferência antrópica, principalmente através da queima constante de

¹ Marcando a transição do Pleistoceno para o Holoceno (época atual), ocorreu a última grande glaciação no planeta Terra, conhecida como glaciação de Würm, com duração de cerca de 120.000 anos e término entre 13.000 e 10.000 anos atrás (FADEL FILHO, 2007).

² A despeito dessa grande certeza, ainda há cientistas de renome mundial que não estão plenamente convencidos da interferência antrópica no aquecimento global e nas mudanças climáticas. Os céticos não negam a existência de um aquecimento em curso no planeta e nem que o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, por exemplo, sejam gases causadores do efeito estufa. Eles partem do princípio de que o clima está mais quente não por causa da ação antrópica, mas devido a um ciclo natural de aquecimento e resfriamento do globo. Esse ciclo obedeceria a forças mais poderosas do que a simples presença de mais gases de efeito estufa na atmosfera, como a influência do Sol na Terra, por exemplo.

combustíveis fósseis e do desmatamento. O aumento da concentração dos gases precursores do efeito estufa faz com que “janelas” existentes na atmosfera sejam fechadas, reduzindo a eficiência de perda de energia para o espaço³. A atmosfera passa então a absorver uma maior quantidade de energia e parte dessa energia volta à superfície da Terra ocasionando uma intensificação do efeito estufa natural. Como consequência desse processo, temos um aumento na temperatura média da superfície do planeta e uma alteração na dinâmica do clima. Responsável por cerca de 77% do aquecimento global, o CO₂ é o principal GEE. Do total de CO₂ emitido, cerca de três quartos está relacionado com o uso de energia (IPCC, 2007b). Por isso, a maioria dos esforços para mitigar as emissões de GEE deve focar nas emissões desse gás, seja através da diminuição do desmatamento, da racionalização do uso de fontes fósseis ou da substituição das fontes fósseis por renováveis.

Segundo o IPCC, caso não sejam adotadas medidas restritivas, as emissões podem atingir mais de 160 giga toneladas de dióxido de carbono equivalentes⁴ (CO_{2eq.}) no ano de 2100 (IPCC, 2007a). E, cabe denotar, que na época da divulgação do 4º Relatório do IPCC, as emissões encontravam-se em 49 GtCO_{2eq.} (IPCC, 2007a).

Quanto maior for o aquecimento global, maior a probabilidade de incidência de eventos climáticos extremos (inundações, secas, ondas de calor, ciclones, geadas, tornados, tempestades, etc.). Outro problema sério é a alteração da distribuição espacial de alguns vetores de doenças infecciosas e o derretimento de geleiras, com o consequente aumento no nível dos mares. Além de forçar uma migração populacional para o interior, a elevação do nível dos mares inviabiliza determinadas culturas agrícolas e contamina a água dos lençóis freáticos (IPCC, 2007a). A situação se agrava, pois o uso dos combustíveis fósseis para fins energéticos, além do problema do aquecimento global, também emite poluentes na atmosfera, causando danos em nível local, –

³ Os principais GEE são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorcarbonos (CFCs), hidroclorofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆), vapor d’água (H₂O) e o ozônio (O₃) (IPCC, 2007a).

⁴ CO_{2eq.} é uma medida que expressa a quantidade de GEE em termos equivalentes da quantidade de CO₂. A equivalência leva em conta o potencial de aquecimento global (GWP, na sigla em inglês) dos gases envolvidos e calcula quanto de CO₂ seria emitido se todos os GEE fossem emitidos como esse gás.

como a redução da qualidade do ar que por sua vez, compromete a saúde humana –, e danos em nível regional – como a chuva ácida.

A quantidade de CO₂ emitida em um país está fortemente ligada ao padrão de vida de seus habitantes e ao seu grau de desenvolvimento socioeconômico e tecnológico (GOLDEMBERG, 2003; IPCC, 2007a). A emissão depende da maior ou menor necessidade de eletricidade, calor, trabalho mecânico, na qual enquadra-se o setor de transportes, e do correspondente "mix"⁵ energético para as suas produções.

No caso do setor de transportes, vários fatores podem influenciar as emissões de CO₂ de origem fóssil, dentre os quais podem-se destacar: tipo de modal utilizado; teor de carbono de origem fóssil no combustível; aspectos comportamentais – estilo de direção e necessidade de viagens, por exemplo –; níveis de congestionamentos; planejamento urbano, preços dos combustíveis; qualidade da infraestrutura disponível; padrões de consumo e mesmo aspectos culturais, etc. Para o caso específico do modal rodoviário, as emissões sofrem influência também de fatores ligados ao perfil da frota – como potência do motor, idade, tamanho e peso dos veículos automotores, além, é claro, das distâncias percorridas.

A humanidade necessita de uma reestruturação radical de suas economias, já que o padrão energético mundial atual repousa em 86,7% sobre as fontes fósseis (IEA, 2011). Nesse contexto, cada vez mais importante são medidas que diminuem o consumo desses combustíveis fósseis. De acordo com projeções da demanda desenvolvida pela Agência Internacional de Energia, para o ano de 2030, somente o setor de transportes será responsável por um aumento na demanda mundial de petróleo de cerca de 30 milhões de barris por dia (IEA, 2004), respondendo, assim, por 25% do aumento das emissões mundiais de CO₂, incluindo o desmatamento. Por outro lado, de acordo com este mesmo estudo, o potencial de mitigação, através de uma vasta gama de medidas, tendo como destaque o uso de biocombustíveis e principalmente medidas de eficiência energética, pode chegar a cerca de 64%.

⁵ Quanto maior o uso de fontes renováveis na matriz energética de um país, menores serão os níveis de emissões de CO₂. O mesmo raciocínio vale, apesar de em menor proporção, para o uso de gás natural em detrimento ao carvão mineral e aos derivados de petróleo.

Segundo outros dois estudos capitaneados pela Agência Internacional de Energia, a frota mundial de veículos leves deverá aumentar de 650 milhões de unidades em 2005 (IEA, 2008a) para 1,7 bilhões em 2035 – atualmente encontra-se em cerca de 800 milhões de unidades (IEA, 2012a). O Brasil, assim como outros países emergentes, como China e Índia, apresenta tendência acelerada de crescimento da frota de veículos leves (IEA, 2008b). O Brasil, especificamente, entre 2003 a 2009, apresentou um significativo crescimento nas vendas de veículos novos, de cerca de 16% ao ano (ANFAVEA, 2010). Mantidas essa tendência de crescimento, a quantidade de veículos em circulação no território brasileiro poderá triplicar no ano de 2030, em relação a quantidade apresentada no ano de 2005 (IEA, 2006).

As crescentes taxas de urbanização, a deficiência de políticas públicas de coletivos, incentivos à produção e consumo de veículos no Brasil – como exemplo, as constantes reduções impostas pelo Governo Federal ao IPI⁶ e as facilidades de financiamento para aquisição de novos veículos – possuem como resultados aumentos expressivos nas taxas de motorização individual (automóveis, comerciais leves e motocicletas), além de indicar cenários de contínuo crescimento do setor de transportes de passageiros no médio e longo prazo (MMA, 2011). O mesmo vale para o setor de transportes de cargas (não analisado por fugir do escopo do presente Estudo), cuja frota de caminhões reflete assimetrias profundas de uma logística baseada prioritariamente no transporte por caminhões, responsável por cerca de 56,8% da carga transportada no Brasil, no ano de 2010, em tonelada-quilômetro-útil – TKU (EPE, 2012). Esse predomínio relega a planos de menor expressão modais menos energo-intensivos como o ferroviário, hidroviário e o aquaviário, que em um país com as dimensões do Brasil, deveriam ser prioritários no que tange a distribuição de mercadorias e bens (MMA, 2011).

Não há soluções simples para combater os elevados e crescentes índices de emissões de GEE do setor dos transportes mundial. Para se atingir reduções consideráveis das emissões de GEE no setor de transportes, deve-se superar muitos desafios institucionais e também de infraestrutura, incluindo desde a baixa elasticidade do preço do combustível por proprietários de veículos de passageiros; demandas cada vez mais crescentes por viagens pessoais, aéreas e de mercadorias; dificuldades de se tornar viável economicamente combustíveis de baixo carbono;

até a comercialização em larga escala de tecnologias de motores mais eficientes e de menor cilindrada (LUTSEY & SPERLING, 2008). No transporte rodoviário de carga (caminhões), a intensidade energética média por tonelada-quilômetro de viagem, embora diminuísse cerca de 10% entre 1990 e 2005 (abaixo de 1% ao ano), também foi neutralizada pelas maiores taxas de crescimento de viagens no mesmo período (IEA, 2008b). No transporte de passageiros, onde há o predomínio do uso de carros particulares, os ganhos de eficiência energética no consumo de combustíveis são neutralizados pelo aumento no número de quilômetros percorridos e pelo aumento na quantidade, tamanho e peso dos veículos (WITTNEBEN *et al.*, 2009).

Segundo estimativas desse Estudo, o setor de transportes de passageiros do modal rodoviário no Brasil – composto pelos veículos leves (automóveis e comerciais leves), ônibus e motocicletas –, atingiu, no ano de 2010, cerca de 59% de participação nas emissões de CO₂ (cerca de 59%) do setor rodoviário brasileiro, contra 41% de participação dos veículos de cargas (caminhões). Atualmente há uma tendência declinante da participação do setor rodoviário de passageiros nas emissões, devido aos veículos *flex fuel*, que nos últimos anos dominam as vendas no segmento de veículos leves. Apesar disso, o Cenário Tendencial, também desse Estudo, indica que a importância do setor de transportes rodoviário de passageiros continuará elevada mesmo no longo prazo (2030), devido, principalmente, ao grande crescimento esperado da frota e a ausência de políticas públicas incisivas de eficiência energética voltadas para o setor.

Apesar de não haver soluções simples para o aumento das emissões de CO₂ inerentes ao setor de transportes, o aumento das emissões pode ser ao menos marcadamente desacelerado através de um maior uso de biocombustíveis concomitantemente com a adoção de medidas de eficiência energética (EE) (IPCC, 2007a; IPCC, 2007b; IEA, 2008b). Medidas para a redução da atividade de transporte, através da gestão da demanda (tendo como destaque mudanças para modais menos energo-intensivos e medidas de planejamento urbano), são também estratégias muito importantes no que tange à mitigação das emissões pelo setor de transporte de passageiros. Porém, não serão consideradas nas simulações desenvolvidas no presente trabalho, já que estas

⁶ Imposto Sobre Produtos Industrializados.

medidas são de quantificação deveras imprecisas utilizando-se o tipo de modelo adotado – explicado na Seção 1.3.

1.2. Objetivos

O presente Estudo possui como objetivo principal realizar uma análise quantitativa, através de uma abordagem *bottom-up*, dos impactos sobre o consumo de combustíveis e das emissões de CO₂ de medidas de eficiência energética e aumento no uso de biocombustíveis para o setor de transportes rodoviário brasileiro de passageiros (veículos leves, motocicletas e ônibus) – de forma isolada e conjunta – para o período compreendido entre os anos 2010 a 2030. Concomitantemente visa oferecer uma “cesta” de opções para os tomadores de decisões (políticos) para o setor de transportes brasileiro de passageiros nas áreas de eficiência energética, combustíveis alternativos e medidas de gestão da demanda – vale ressaltar que nesse caso alternativo se refere a combustíveis diferentes do óleo Diesel e gasolina.

Esse Estudo possui também como objetivos secundários:

- Analisar as metas de emissão veicular e de eficiência energética de países selecionados que historicamente aplicam mecanismos de eficiência energética e/ou redução das emissões de GEE nos seus territórios, mostrando a sua importância para conter o acelerado consumo de derivados de petróleo do setor de transportes rodoviário.
- Analisar os efeitos que medidas relacionadas à gestão da demanda, eficiência energética e uso de combustíveis alternativos podem proporcionar ao Brasil, auxiliando os tomadores de decisões (políticos) na área de transportes e meio ambiente.
- Realizar uma hierarquização dos impactos das principais medidas de mitigação das emissões de CO₂ no setor de transportes rodoviário de passageiros, relacionados a medidas de EE e aumento no uso de biocombustíveis, a fim de auxiliar no estabelecimento de políticas públicas para o setor.

- Realizar um levantamento das principais opções de *powertrain*⁷, analisando tecnicamente e economicamente (quando possível) tanto tecnologias incrementais como tecnologias radicais aplicáveis aos veículos leves para aumento da eficiência energética dos mesmos – no curto, médio e longo prazo – incluindo o período pós 2030.
- Analisar em nível técnico, econômico e ambiental diversas opções de combustíveis – tradicionais e alternativos para aplicação no setor de transportes rodoviário no curto, médio e longo prazo – incluindo o período pós 2030.
- Oferecer sugestões para ações públicas que promovam uma maior eficiência veicular no âmbito da legislação brasileira, em particular do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV).
- Analisar a importância dos instrumentos econômicos, regulatórios e de informação no contexto da mitigação do consumo de combustíveis e das emissões de CO₂ do setor de transportes rodoviário brasileiro de passageiros.

1.3. Metodologia

A revisão bibliográfica foi realizada da forma mais abrangente possível, envolvendo experiências nacionais e principalmente internacionais de medidas mitigatórias de gestão da demanda e aspectos técnico-econômicos e ambientais das inovações em eficiência energética e dos combustíveis alternativos. A citada “cesta” de opções envolve primeiramente aspectos qualitativos (Capítulos 3, 4 e 5) e posteriormente quantitativos dessas medidas de mitigação (Capítulo 7). Porém, em virtude do modelo adotado, as medidas de gestão da demanda são analisadas apenas qualitativamente, isto é, não fazem parte das premissas dos Cenários Alternativos de mitigação propostas no Capítulo 6. Para se atingir os objetivos propostos, foi realizada uma análise do potencial técnico-econômico de tecnologias relacionadas a mitigação do

⁷ *Powertrain* refere-se aos componentes responsáveis por transmitir a energia gerada pelo motor para o uso final. No caso dos veículos automotores, inclui o motor, transmissão, eixos, diferenciais e rodas.

consumo de óleo Diesel e gasolina e conseqüentemente da mitigação das emissões de CO₂ associadas a combustão desses dois derivados de petróleo no horizonte de tempo 2010 a 2030.

A metodologia⁸ utilizada na análise quantitativa estima a frota de veículos circulantes no Brasil, o consumo de combustíveis e as emissões de dióxido de carbono do setor de transportes rodoviário de passageiros, adotando uma abordagem *bottom-up*. A frota foi primeiramente segmentada em 16 categorias (Tabela 6.1 – Capítulo 6), depois foi estimado o volume total de combustíveis consumidos e as correlatas emissões de CO₂ de toda a frota de veículos do setor de transportes rodoviário de passageiros, segmentada em: automóveis (dedicados a gasolina C, *flex fuel* e dedicados a etanol hidratado); comerciais leves (dedicados a gasolina C, *flex fuel*, dedicados a etanol hidratado e ciclo Diesel); ônibus (urbano e rodoviário); motocicletas (dedicadas a gasolina C e *flex fuel*); e automóveis e comerciais leves a GNV – gás natural veicular; além dos caminhões que compõe o setor de transportes de cargas (segmentados em pesados, médios e leves).

Essas quantificações são realizadas a partir da agregação, à frota já existente, de veículos novos (onde se possui dados confiáveis⁹); da aplicação de uma taxa de sucateamento à frota de veículos usados; da distância média anual percorrida pelos veículos em função do ano de uso; e do consumo médio de combustíveis pela frota, por tipo de combustível utilizado. Portanto, antes do cálculo final do consumo de combustíveis e das emissões de CO₂ da frota considerada, é realizada uma estimativa do número de veículos em cada um dos anos do período da simulação (2010 a 2030). O início da implementação das medidas mitigatórias para os Cenários Alternativos inicia-se no ano de 2015.

Esses procedimentos são realizados para cada um das 14 categorias de veículo (exceto para os automóveis e comerciais leves a GNV, que tem suas emissões estimadas a partir de uma

⁸ Esse Estudo utiliza a mesma metodologia – com algumas modificações – do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011) para calcular a frota, o consumo de combustíveis e as emissões de CO₂. Essa mesma metodologia também foi utilizada no Relatório de Referência de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2004).

⁹ Os dados de licenciamento de veículos novos e motocicletas foram obtidos nos anuários da ANFAVEA (2011) e da ABRACICLO (2011), respectivamente.

metodologia *top-down* e possuem seus resultados apresentados de forma separada dos demais veículos). A exclusão dos veículos a GNV na metodologia adotada deriva do fato que no Brasil a comercialização de veículos novos movidos a GNV é pouco significativa e é composta, basicamente, apenas por veículos convertidos a partir da instalação de *kits* de conversão. Como as informações sobre o número de veículos convertidos por ano modelo e o combustível original desses veículos não estão disponíveis, torna-se deveras impreciso utilizar uma metodologia *bottom-up*.

É criado um Cenário Tendencial (também denominado BAU – *Business-as-Usual*), para o período 2010 a 2030, e mais 3 grupos de cenários alternativos, para o período 2015 a 2030. São 4 Cenários do Grupo 1, modelados com 4 diferentes metas de EE, incluindo a hibridização dos veículos de passageiros novos através do uso do *kers*¹⁰ (frenagem regenerativa – do inglês *kinetic energy recovery system*). São 18 Cenários do Grupo 2, modelados objetivando aumentos de consumo de etanol (hidratado e/ou anidro) ou biodiesel. E são 12 Cenários do Grupo Misto, modelados através de ações conjuntas de EE com aumento do uso de etanol ou biodiesel. Para os Cenários do Grupo 1 e 2 foram quantificados também o impacto nas emissões de CO₂ em virtude da conversão da frota de ônibus à óleo Diesel para etanol aditivado (com o aditivo Etamax D ou simplesmente ED 95) – são mais 10 Cenários.

A escolha do período de análise, entre 2010 e 2030, justifica-se pelo fato de que o ano de 2010 (referência) era o ano mais recente que apresentava informações disponíveis quanto ao licenciamento de veículos novos no Brasil quando as simulações foram realizadas. Já o ano de 2030 para o final das simulações justifica-se, pois, períodos de tempo maiores que 20 anos para análises do setor de transportes acarretariam demais incertezas – em termos de tecnologias dos veículos e de projeção de crescimento da frota. O ano de 2015 para início da implementação das medidas mitigatórias para os Cenários Alternativos justifica-se, pois, julgou-se necessário que houvesse um intervalo (*gap*) entre início do planejamento e o início da implementação das medidas mitigatórias. Esse *gap* é necessário para que o mercado “se prepare” antes que as

¹⁰ O sistema de regeneração de energia cinética chamado de *kers* é o termo genérico dado aos dispositivos que realizam a frenagem regenerativa, permitindo ao veículo recapturar e armazenar parte da energia cinética que seria convertida em calor (nas lonas ou discos nas rodas) durante a frenagem por atrito no veículo convencional.

medidas de aumento de EE e/ou no uso de biocombustíveis sejam implementadas. Nesse sentido, julgou-se apropriado um *gap* de 5 anos.

Apesar de não se enquadrar no escopo do presente Estudo, o consumo de combustíveis e as emissões de CO₂ dos veículos de carga (caminhões) foram também simulados. O intuito foi viabilizar a comparação entre o volume de óleo Diesel total do setor de transportes com os dados relativos a esse mesmo parâmetro explicitados no Balanço Energético Nacional – BEN (MME, 2011a) e, assim, fazer os ajustes necessários no modelo. Essa contabilização do consumo e das emissões de CO₂ dos caminhões é importante também para obtenção de parâmetro de comparação entre as estratégias de mitigação dos cenários alternativos propostos com o valor total do consumo de combustíveis (em especial o biodiesel) do setor de transportes rodoviário – e não apenas com o subsetor rodoviário de passageiros.

1.4. Motivações

A busca de alternativas que minimizem os problemas ambientais causados pelo setor de transportes de passageiro brasileiro é de suma importância, pois pode tornar-se um útil instrumento para definição e aplicação de políticas nacionais envolvendo o binômio transporte e energia; aliando as necessidades de crescimento econômico a racionais níveis de perturbação ao meio ambiente, tendo com principal consequência tornar o setor de transportes mais sustentável¹¹. Nesse contexto, as principais forças-motrizas que nortearam a realização do presente Estudo foram:

¹¹ O termo “transporte sustentável”, segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), é aquele que não coloca em risco a saúde pública nem os ecossistemas e que atenda às necessidades de mobilidade de forma consistente através do uso de recursos renováveis em níveis abaixo de suas taxas de regeneração e do uso de recursos não-renováveis em níveis abaixo do desenvolvimento de substitutos renováveis (ALMEIDA, 2006).

- Percepção de carência de estudos, no Brasil, que hierarquizem o impacto nas emissões de CO₂ de medidas de eficiência energética e biocombustíveis, de forma isolada e conjunta, para o setor de transportes rodoviário de passageiros.
- Os benefícios que um aumento da eficiência energética veicular pode trazer para o País em vários níveis: fabricantes (agregando valor ao seu produto), consumidores (gastando menos com combustível); e sociedade brasileira como um todo (através de menores emissões de poluentes e de GEE).
- Percepção de carência de estudos na área de planejamento energético da relação entre medidas de gestão da demanda e mitigação do consumo de combustíveis e emissões de GEE.
- Mostrar as vantagens ambientais (principalmente menores emissão de GEE) e, com isso, a importância de políticas públicas direcionadas para os veículos leves da frota no Brasil, de veículos menores e mais eficientes em detrimento aos veículos maiores, mais pesados e mais potentes, que por sua vez, apresenta atualmente tendência de crescimento nas vendas.
- Contribuir para a definição de prioridades no sentido de que o desenvolvimento futuro do setor de transportes brasileiro seja o menos ambientalmente degradante possível.
- Os problemas de saúde decorrentes da poluição nos grandes centros urbanos brasileiros, e de como isso prejudica a qualidade de vida dos seus moradores, se medidas restritivas as emissões veiculares não forem implementadas.
- Importância atual do tema aquecimento global, devido a seus impactos nos diversos setores da economia, meio ambiente e sociedade. E também da importância da busca de medidas que atenuem seus efeitos.

- As vantagens econômicas para o Brasil advindas da racionalização do consumo de derivados de petróleo, principalmente óleo Diesel, já que o Brasil gasta bilhões de dólares anuais com importação de óleo Diesel.
- A falta de um programa consistente com metas fixas e progressivas de aumento de eficiência energética veicular e/ou de limites de emissões de CO₂ nos veículos leves vendidos no Brasil.
- Importância de aumentar o número de estudos sobre medidas mitigatórias para as emissões de GEE brasileiras, em virtude do Brasil ter se comprometido de forma voluntária, através da Lei 12.187, de dezembro de 2009, a reduzir entre 36,1% e 38,9% as emissões de gases de efeito estufa projetadas até 2020.

1.5. Estrutura do Trabalho

Para o desenvolvimento do presente Estudo, optou-se, intencionalmente, por uma estrutura tipicamente abrangente.

O Capítulo 2 analisa o consumo de energia (com ênfase nos derivados de petróleo) e as emissões de gases de efeito estufa do setor de transportes, com ênfase no caso brasileiro. Aborda, também, as metas de emissão veicular e de eficiência energética de países selecionados que historicamente aplicam mecanismos mitigatórios em seus territórios. Contém também uma breve análise do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) e de seus resultados recentes.

O Capítulo 3 analisa de forma qualitativa, através de exemplos nacionais e, principalmente, internacionais, medidas de gestão da demanda por transportes relacionadas à mitigação das emissões de GEE, incluindo as medidas indiretas. Analisa também as influências das políticas públicas e dos instrumentos econômicos e de regulação direta no consumo de combustíveis e nas emissões de GEE no setor de transportes.

O Capítulo 4 aborda tecnicamente e também economicamente (de acordo com a disponibilidade de dados) as inovações incrementais (tecnologias que não possuem diferenças significativas em comparação as que já existem disponíveis no mercado) e radicais (inovadoras – como os veículos elétricos e a célula a combustível, por exemplos) aplicáveis principalmente aos veículos leves que permitem aumento de sua eficiência energética.

O Capítulo 5 analisa em nível técnico, econômico e ambiental diversas opções de combustíveis para utilização no setor de transportes rodoviário, bem como as perspectivas de uso desses combustíveis no curto, médio e longo prazo. Essas análises envolvem tanto os biocombustíveis (de 1º geração como etanol e o biodiesel) como os combustíveis alternativos, como o gás natural, os combustíveis sintéticos, o hidrogênio e os biocombustíveis de 2º geração.

O Capítulo 6 descreve as premissas adotadas nas projeções e as características do Cenário BAU e dos Cenários Alternativos propostos, quais sejam: aumento de forma isolada e conjunta de EE e de uso de biocombustíveis pelos veículos rodoviários de passageiros.

O Capítulo 7 analisa os impactos sobre o consumo de combustíveis e as emissões de CO₂ do setor de transportes rodoviário de passageiros brasileiro, de programas de eficiência energética e/ou aumento no uso de biocombustíveis.

O Capítulo 8 apresenta as conclusões e as considerações finais.

Os Anexos apresentam muito das informações (base de dados, em especial) utilizados na metodologia para estimar a frota de veículos, consumo de combustíveis e emissão de CO₂ dos Cenários Tendencial e Alternativos. Já os Apêndices apresentam um resumo das características dos Cenários Alternativos propostos e as evoluções do consumo de gasolina A, etanol e óleo Diesel, para o Cenário BAU e para os Cenários Alternativos propostos, para o período 2010 a 2030.

A Figura 1.1 ilustra sinteticamente a estrutura desenvolvida nesse trabalho.

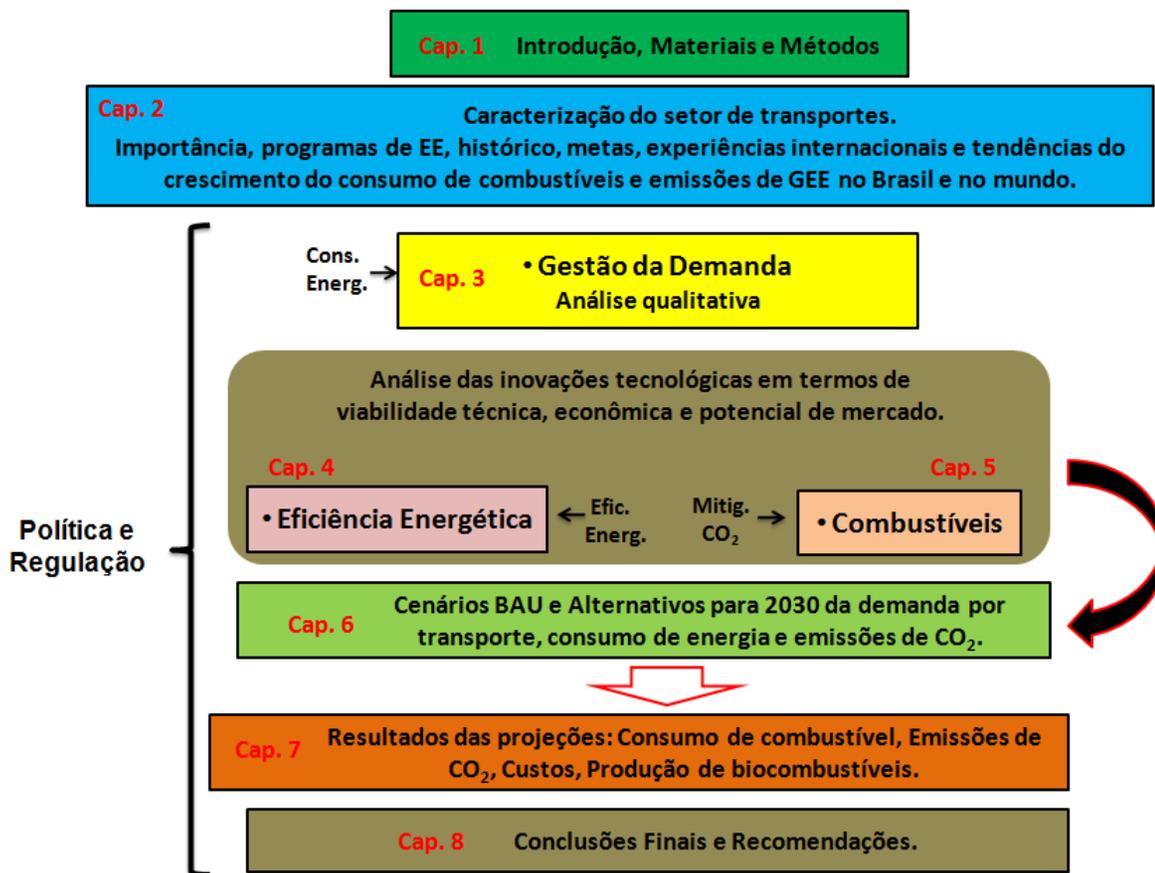


Figura 1.1: Estrutura do Trabalho

Fonte: Elaboração própria.

2. O setor de transportes

O presente Capítulo objetiva apresentar as principais características do setor de transportes rodoviário brasileiro de passageiros – através do histórico no consumo de energia e das emissões de gases de efeito estufa do referido setor. Posteriormente, analisa também as metas de emissão veicular e de eficiência energética de países selecionados que historicamente aplicam mecanismos de eficiência energética e/ou redução das emissões de GEE nos seus territórios.

2.1. Introdução

O setor de transportes de passageiros quanto ao modo de uso está dividido em individual e coletivo. O transporte individual é aquele que serve para atender ao programa individual do proprietário ou condutor do veículo (LARICA, 2003). O transporte coletivo é aquele que serve para atender ao interesse comum de um grupo de usuários com o objetivo de atingir um lugar escolhido ou de percorrer uma rota programada, tanto para deslocamentos pendulares diários quanto fluxos anômalos de pessoas pelas cidades. Pode ser subdividido em transporte coletivo urbano e interurbano, ambos realizados por ônibus comuns, ônibus articulados, micro-ônibus, vans, barcas e trens, por exemplo (LARICA, 2003).

O transporte coletivo pode também ser denominado como transporte de massa, desde que atenda aos interesses de uma grande quantidade de usuários de grandes centros urbanos ou suburbanos, sempre obedecendo a rotas e horários programados e divulgados com antecedência. É utilizado basicamente para o transporte pendular e possui as seguintes características: alta frequência de viagens diárias, grande número de paradas ao longo da rota, formação da composição de acordo com a demanda, apoio em estações de embarque, desembarque e transbordo, e sistemas de controle de tráfego e manutenção. Incluem-se nesse tipo: os trens urbanos e suburbanos, o metrô, o veículo leve sobre trilhos e as grandes barcas (LARICA, 2003).

O modal rodoviário também pode ser classificado em subcategorias, em função da massa e do tipo de uso, quais sejam: veículo leve de passageiro (LDV, na sigla em inglês) – composto por automóvel, comercial leve e veículo com características especiais para uso fora de estrada – *off-road* –; e veículo pesado – caminhão e ônibus (CONAMA, 95, *apud* SCHMITT, 2010).

Durante todo o século XX, não houve mudanças significativas nos modos de transporte, contudo, houve a partir da segunda metade do século, uma redução de uso do transporte ferroviário e uma evolução do transporte rodoviário e mais recentemente do aéreo – proporcionado pela desregulamentação do setor (EPE, 2012). Nesse sentido, o século XX, principalmente após a década de 1950, pode ser denominado como o século do automóvel.

A principal causa desse acelerado uso do automóvel é a conveniência no seu uso, devido à sua flexibilidade e independência no trânsito. Porém, nas últimas décadas, principalmente nos grandes centros urbanos, tais vantagens desaparecem devido ao aumento dos congestionamentos, mesmo a despeito dos altos investimentos em novas infraestruturas, na maioria das vezes financiadas pelo poder público (MELO, 2000). No Brasil, existe uma forte tendência ao uso do modal rodoviário tanto para o transporte de carga, quanto para o de passageiros. Através de rodovias foram transportadas no Brasil, no ano de 2010, cerca de 56,8% das cargas (em TKU) (EPE, 2012) e cerca de 92,2% dos passageiros (em passageiros-km) (EPE, 2012).

A priorização do transporte individual em detrimento do transporte coletivo agrava os problemas de congestionamentos, tempo gasto com deslocamentos e poluição. Os fatores que mais contribuem negativamente para a situação atual da mobilidade, ou falta dela, nos grandes centros urbanos são: aumento dos índices de acidentes, congestionamentos e poluição (CNT, 2002; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004, *apud* ANDRADE, 2007). Tais transtornos provocam mais de R\$ 500 milhões de prejuízos anuais, fora outros R\$ 5,3 bilhões de perdas decorrentes de acidentes de trânsito (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004 ANDRADE, 2007). Segundo estimativas do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, no Brasil, são mais de 26 milhões de automóveis e comerciais leves, mais de 10 milhões de motocicletas, cerca de 300 mil ônibus e mais de 1,3 milhões de caminhões (MMA, 2011). No ano de 2009, mais de 85% da frota era constituída por veículos do transporte

individual (LDVs e motocicletas), com destaque para os automóveis, que ultrapassaram a metade do número de veículos circulantes no País (MMA, 2011).

Atualmente, dificuldades do setor de transportes brasileiro de passageiros vêm sendo enfrentadas no modal rodoviário, saturado para os níveis de serviço ofertados, que constantemente causam congestionamentos nos principais centros urbanos do País. É digno de nota que, no modal aéreo, o segundo modal mais importante no transporte de passageiros brasileiro com participação de 6% no volume de passageiros transportados no Brasil (em passageiros-km) (EPE, 2012), problemas de carência na oferta de infraestrutura também vem afetando o atendimento de uma demanda em expansão a taxas muito elevadas, causando o chamado “caos aéreo”¹².

2.2. Metodologias para contabilização das emissões de GEE

Ao se analisar apenas as emissões de GEE produzidas pela combustão dos combustíveis, têm-se uma impressão não verdadeira da quantidade de emissões de GEE que a combustão desse combustível realmente produz. Para avaliar o impacto potencial real é necessário incluir na análise, além das emissões da combustão realizada pelos motores, as emissões resultantes da produção e distribuição desses combustíveis. Em outras palavras, deve-se analisar a cadeia toda do combustível, desde sua produção (extração) até a sua combustão.

A metodologia que possui uma quantificação mais global das fontes emissoras é conhecida como Análise *Well-To-Wheel* (WTW). Esta abordagem leva em conta não somente os GEE produzidos quando determinado combustível é utilizado no veículo (Análise *Tank-To-Wheel* – TTW), mas também os GEE emitidos na produção e distribuição do combustível (Análise *Well-To-Tank* – WTT).

Todas as combinações usando motores a combustão interna (*internal combustion engine* – ICE, na sigla em inglês) e qualquer combustível, exceto hidrogênio, têm emissões de CO₂ pela

análise TTW relativamente altas. O total de emissões de GEE de WTW de veículos movidos a hidrogênio depende quase que inteiramente do processo usado para produzir e distribuir o hidrogênio, o qual apresenta grandes variações. De fato, alguns métodos de produção de hidrogênio – como, por exemplo, aqueles que utilizam o carvão mineral como insumo –, podem apresentar emissões de WTW tão altas que estas emissões, eventualmente, excedem às dos atuais sistemas ICE convencionais a gasolina (WBCSD, 2004).

As emissões de CO₂ dos biocombustíveis nunca serão nulas, pois apesar da quantidade de carbono emitido na combustão ter sido anteriormente captado da atmosfera via processo de fotossíntese, ainda assim há emissões na produção dos insumos que são usados na lavoura ou no processo industrial (fertilizantes, calcário, ácido sulfúrico, lubrificantes etc.), além de emissões associadas ao consumo de energia elétrica e dos combustíveis adquiridos para a unidade produtora (insumos energéticos diretos) (portanto há emissões do tipo “*Well-To-Tank*”). Nesse sentido, aumenta a importância de estudos do balanço energético e de emissões na produção e uso-final dos biocombustíveis, utilizando-se técnicas de avaliação do ciclo de vida, com a quantificação da energia gasta em todas as etapas de produção de cada insumo (*input*), e das suas correspondentes emissões, e a comparação com o conteúdo energético disponibilizado para o uso final do produto (*output*) (EPE, 2005).

No estudo Projeto de Mobilidade Sustentável, capitaneado pela *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2004), são enfatizadas as dificuldades de mensurar com precisão as emissões de GEE geradas pela produção de biocombustíveis e, também, salientam a dificuldade de determinar os créditos apropriados de sequestro de carbono para alocá-los ao crescimento da biomassa que é subsequentemente convertida em biocombustíveis. Também é destacada que somente uma visão holística das emissões de CO₂ numa análise “*Well-To-Wheel*” pode demonstrar “verdadeiramente” os benefícios / desvantagens de diferentes tecnologias de combustíveis e de conjuntos de motores para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (WBCSD, 2004).

¹² O principal problema do uso do modal aéreo corresponde às restrições de capacidade que, ao invés de congestionamentos na estrada, sobrecarregam o controle do tráfego aéreo e a infraestrutura aeroportuária de apoio.

Os estudos comparativos entre as emissões oriundas do uso do etanol e da gasolina e entre as do biodiesel e do óleo Diesel devem, assim, considerar todo o ciclo de vida dos respectivos combustíveis, a fim de determinar de forma mais precisa a real contribuição dos diferentes tipos de combustíveis – sejam eles de origem fóssil ou de origem renovável – para a mitigação do efeito estufa (EPE, 2005). Contudo, por ser demasiada complexa a quantificação das emissões de GEE geradas pela produção de combustíveis fósseis e também de biocombustíveis, esse Estudo, utiliza a abordagem *Tank-To-Wheel*.

2.3. Características do consumo de energia do setor de transportes mundial

O sistema de transporte como um todo é amplamente dependente da indústria petrolífera e da sua capacidade de atender à crescente demanda por derivados de petróleo, em especial a gasolina e o óleo Diesel. O setor de transportes mundial consome aproximadamente 61% dos derivados de petróleo (MME, 2011a). A produção e exploração de petróleo tornaram-se pilares da economia de muitos países e a distribuição de derivados resultou no desenvolvimento de uma infraestrutura mundial capaz de atender consumidores nos locais mais remotos (MORAES, 2005).

Basicamente toda a energia consumida no setor de transportes é para o transporte de passageiros e deslocamento de cargas. Cada diferente modal apresenta uma intensidade energética, ou seja, consome determinada quantidade de energia para realizar certo trabalho, como transportar um número de passageiros ou uma quantidade de carga por determinada distância. Não é só o tipo de modal utilizado que influencia no consumo de energia; as frequências das viagens, as distâncias viajadas e a tecnologia empregada são também fatores preponderantes no consumo energético do setor de transportes.

Segundo o IPCC (2007b), do total da energia utilizada pelo setor de transportes, cerca de 95% provêm dos derivados de petróleo, principalmente gasolina (36,4 EJ ou 47%) e óleo Diesel (23,6 EJ, ou cerca de 31% do total de energia utilizada pelo setor). Os setores industrial e residencial por sua vez, utilizam uma maior variedade de fontes de energia (IEA, 2011). O setor

de transportes, diferentemente dos setores industrial e residencial não possui alternativas de curto prazo para ampla substituição dos derivados do petróleo, caso ocorra alguma crise de abastecimento. A grande exceção mundial fica por conta do Brasil, que devido ao Programa Proálcool e ao PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel), possui respectivamente dois substitutos renováveis para a gasolina e o óleo Diesel, os dois principais combustíveis do setor de transportes.

Os combustíveis alternativos mais utilizados como substituto dos derivados de petróleo no setor rodoviário são o GNV e a eletricidade, mas numa escala tão reduzida (IEA, 2011) que não possibilitam uma solução no curto prazo para o setor no caso de ocorrer desabastecimento de petróleo.

A partir da segunda metade do século XX, as limitações ao consumo do petróleo e os impactos ambientais causados por ele tornaram-se mais evidentes, pois a escassez do produto no mercado por qualquer motivo, mesmo que por um breve período, poderia entravar a economia de um país, impedindo seu crescimento e gerando recessão econômica imediata. Outro aspecto que ganhou muita importância, principalmente nos últimos 35-40 anos, refere-se aos impactos ambientais provocados pela emissão de gases poluentes. Tais gases são resultantes da combustão dos combustíveis fósseis, principalmente nos grandes centros urbanos. Atualmente, o aquecimento global causado, muito provavelmente, pelas emissões antropogênicas de dióxido de carbono liberados na atmosfera pela queima dos combustíveis fósseis constitui-se em um agravante a mais (IPCC, 2007a). Apesar disso, o surgimento de um novo combustível capaz de substituir os combustíveis fósseis em toda sua amplitude ainda parece estar longe de acontecer, seja por motivos tecnológicos ou econômicos. Desta forma, um planejamento adequado do crescimento do setor de transportes, bem como da demanda por combustíveis tornou-se de vital importância para se atingir um crescimento sustentável no longo prazo. Através de um estudo pormenorizado do setor de transportes, e dos principais fatores a ele relacionado, pode-se desenvolver políticas mais sustentáveis, que permitam uma maior redução da demanda de energia e conseqüentemente das emissões de gases poluentes e de efeito estufa.

2.4. Consumo mundial de petróleo e derivados

Entre 1973 e 2009, o consumo mundial de energia cresceu cerca de 79% (IEA, 2011). No ano de 2009 o petróleo foi o energético mais utilizado, com 3.462×10^6 tEP¹³, ou 41,3% do total de 8.353×10^6 tEP (IEA, 2011).

Ainda no ano de 2009, o setor de transportes consumiu petróleo, na forma de seus derivados (gasolina, óleo Diesel, querosene de aviação, óleo combustível e gás liquefeito de petróleo¹⁴ – GLP), mais da metade (61,7%) de toda a produção mundial de petróleo (IEA, 2010). Apesar da elevação dos preços do petróleo e das preocupações sobre as mudanças climáticas globais, a utilização de energia pelo setor de transportes continua crescendo no mundo todo. Elevadas taxas de crescimento são previstas para o setor durante as próximas décadas (IEA, 2008b).

O transporte rodoviário, sendo responsável por 89% do total, é o principal contribuinte para o aumento no consumo energético global dos transportes. Entre 1990 e 2005, o consumo de energia do setor de transportes rodoviário aumentou 41%. Juntos, os demais modais aumentaram seu consumo energético em 13% no mesmo período (IEA, 2008c). No ano 2000, de um total de 76,87 EJ consumidos pelo setor de transportes, os veículos do modal rodoviário foram responsáveis por mais de três quartos desse consumo, conforme observa-se na Tabela 2.1 (IPCC, 2007b).

¹³ tEP: tonelada equivalente de petróleo. O conteúdo energético de 1 tEP é função do tipo de petróleo utilizado como padrão.

¹⁴ O GLP não é utilizado como combustível no setor de transportes no Brasil.

Tabela 2.1: Consumo de energia mundial por modo de transporte no ano 2000

Modo de transporte	Energia utilizada – EJ	Participação (%)
Veículos leves	34,2	44,5
Motos	1,2	1,6
Caminhões	19,25	25
Ônibus	4,76	6,2
Trens	1,19	1,5
Aviões	8,95	11,6
Barcos	7,32	9,5
Total	76,87	100

Fonte: IPCC, 2007b.

A análise da Tabela 2.1 revela também que apenas os veículos leves (para transporte de passageiros) consomem 44,5% do total de energia do setor de transportes e os caminhões (para transporte de cargas) consomem outros 25%. O modal ferroviário consome apenas 1,5% do total da energia consumida pelo setor de transportes e os modais aeroviário e aquaviário consomem 11,6% e 9,5% respectivamente.

Dois são os principais fatores que mais influenciam o consumo de energia do setor de transportes e suas emissões de GEE: número de viagens e mudanças na eficiência energética do modal de transporte utilizado. No que diz respeito a extensão das viagens, entre 1990 e 2004, nos países pertencentes a OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) houve um aumento de cerca de 20%, passando de cerca de 13.000 para 15.000 quilômetros rodados por pessoa ao ano (IEA, 2008c). No transporte de cargas mundial, as viagens de caminhões (em toneladas / km *per capita*) aumentaram 36%. As viagens aéreas também têm crescido substancialmente no período, mais de 5% por ano no mundo todo desde 1990 (IPCC, 2007b e IEA, 2008c).

Embora seja provável que estas taxas de crescimento abrandem ao longo do tempo, não existem indicações de que irão inverter. De acordo com o Cenário Tendencial da IEA sobre as perspectivas tecnológicas no uso futuro de energia (ou ETP *Transport Scenarios*), o consumo de energia, e consequentemente as emissões de GEE, do setor de transportes tendem a aumentar em mais de 50% até 2030 e mais que duplicar até 2050 (IEA, 2008c). O aumento no número de viagens de avião e no transporte rodoviário, em geral (passageiros e mercadorias), serão os

grandes impulsionadores desse crescimento. Outro agravante é que nos países em desenvolvimento essas taxas de crescimento são muitas vezes incertas, mas dada a ainda baixa média das taxas de propriedade de automóvel por parte de suas populações, e do esperado crescimento do PIB desses países; é de se esperar que o consumo de energia continue com altas taxas de crescimento por muitos anos ainda (IEA, 2008b). Regionalmente, esse crescimento está sendo liderado pelos países em desenvolvimento, especialmente China e Índia – além dos países pertencentes a América do Sul, América Central e Oriente Médio (IEA, 2007).

Esse crescimento está relacionado às altas taxas de crescimento econômico e compras de veículos particulares apresentadas por esses países (IEA, 2008b), muito devido à demanda reprimida de uma parcela considerável de suas populações (IPCC, 2007b). Por possuírem uma frota mais velha, a intensidade energética dos veículos é maior nos países em desenvolvimento que nos países desenvolvidos. Na medida em que ocorra o efetivo desenvolvimento econômico, o consumo energético por veículo tende a diminuir nos países em desenvolvimento. Já nos países desenvolvidos, já há alguns anos, em virtude dos altos ganhos de desempenho em eficiência energética nas últimas décadas, não se tem observado melhorias nos padrões de consumo dos veículos (IEA, 1999; IEA, 2008b). Fato esse que denota a importância de políticas públicas fixando normas de eficiência energética e/ou emissões de CO₂ para os fabricantes de veículos. Acrescenta-se que, mesmo quando aumenta a eficiência energética dos motores, esse ganho em eficiência é contrabalanceado pelo aumento do número de viagens e na compra de veículos maiores e mais potentes (“efeito bumerangue ou rebote”¹⁵). Por outro lado, a intensidade energética nos países em desenvolvimento vem diminuindo nas últimas duas décadas. Projeta-se que tal intensidade continue diminuindo até pelo menos 2020. Mesmo assim, a intensidade energética dos veículos nos países em desenvolvimento continuará superior em relação à dos países desenvolvidos (IEA, 2008b).

O setor de transportes apresenta enormes desafios para alcançar grandes reduções do consumo de combustível e das emissões de GEE. Tecnologias mais eficientes e menos

¹⁵ Efeito bumerangue ou rebote é quando a conservação energética não ocorre por completo – ocasionada pelo uso adicional do serviço energético, a despeito do uso de equipamentos mais eficientes –, fazendo com que o novo nível de uso de energia permaneça em um nível acima do esperado.

poluidoras, tais como os veículos a célula a combustível, ainda encontram-se em processo de amadurecimento (em especial, sob a perspectiva tecno-econômica) . No que tange os veículos movidos somente através de motores elétricos, apesar da tecnologia estar disponível no mercado, seu custo de aquisição ainda é muito superior às opções tradicionais, podendo demorar ainda muitos anos – talvez até duas décadas ou mais – antes que se tornem efetivamente competitivas frente aos motores de combustão interna (IEA, 2008b). No entanto, há uma variedade de outras tecnologias incrementais que já são viáveis comercialmente e que possuem potencial para mitigar substancialmente o consumo de combustíveis no setor de transportes rodoviário (IEA, 2008b). Estas tecnologias são abordadas com maiores detalhes no Capítulo 4.

2.5. Emissões mundiais de CO₂ com ênfase no setor de transportes

Aproximadamente 50% dos 2,3 trilhões de toneladas de CO₂ lançados à atmosfera nos últimos 200 anos tiveram sua liberação concentrada no período de 30 anos, entre 1974 e 2004. Foi exatamente em 2004, até então, que se deu o maior aumento absoluto das emissões de CO₂, sendo lançados 28 bilhões de CO₂ à atmosfera apenas pela queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2007a). A importância relativa das atividades humanas, no contexto das emissões de GEE, é apresentada na Figura 2.1.

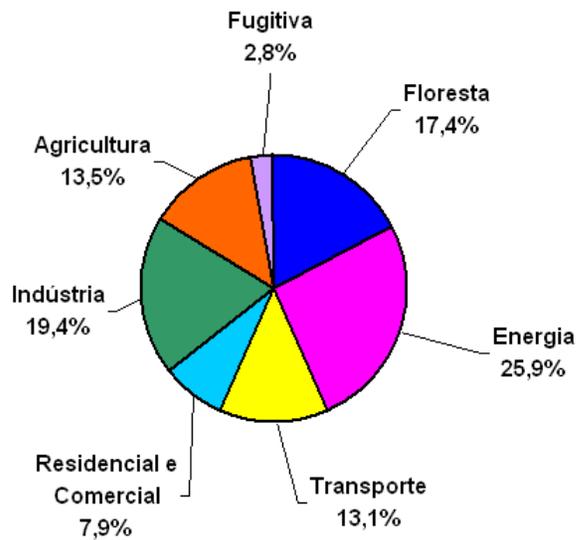


Figura 2.1: Emissões globais de GEE por setor de atividade – 2004

Fonte: IPCC, 2007b.

Dentre as emissões de GEE relativa às atividades humanas, os setores de energia, indústria e transportes, apresentam participações de 25,9%, 19,4% e 13,1%, respectivamente (IPCC, 2007a). Há de se destacar que 30,9% das emissões globais de GEE é devido às atividades relacionadas ao uso da terra, uso do solo, mudanças no uso do solo e atividades florestais, também denominadas LULUCF (no acrônimo em inglês *Land Use, Land-Use Change and Forestry*). Entre 1990 e 2005, as emissões mundiais de CO₂ devido à utilização de energia aumentaram 25% (IEA, 2008c). A Figura 2.2 mostra as participações por setores da economia das emissões mundiais de dióxido de carbono no ano de 2005 por uso de energia.

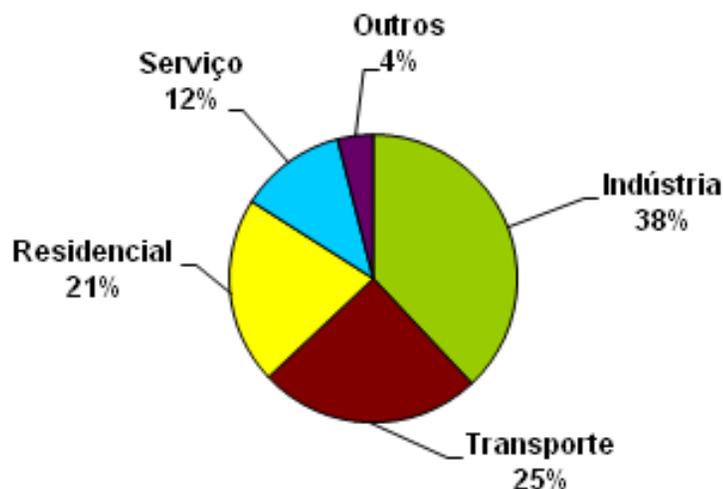


Figura 2.2: Emissões mundiais de CO₂ por setor econômico no ano de 2005

Fonte: IEA, 2008c.

A Figura 2.2 revela que, atualmente, o setor de transportes já se configura como o segundo setor econômico mundial que mais emite dióxido de carbono, com cerca de 25% das emissões, atrás apenas do setor industrial, com 38%, e na frente dos setores residencial e de serviços. Desses 25%, cerca de três quartos são de responsabilidade dos veículos rodoviários (IPCC, 2007b). Por conseguinte, as emissões de CO₂ associadas ao setor de transportes aumentaram globalmente em consonância com este aumento, chegando a 5,3 GtCO₂ em 2005 (IEA, 2008c). Contabilizando as emissões indiretas de GEE, as emissões totais do setor de transportes aumentaram para aproximadamente 27% (IEA, 2008c). A Figura 2.3 mostra 3 cenários realizados pela IEA para o setor de transportes para os anos 2030 e 2050, mostrando as tendências de aumento das emissões de CO₂ para 5 regiões do planeta.

Da análise da Figura 2.3 nota-se que se o cenário tendencial (*Baseline*) for mantido, as emissões do setor de transporte aumentarão para mais de 12 GtCO_{2eq} já em 2030 e para mais de 18 GtCO_{2eq} em 2050. Os maiores crescimentos ocorrerão na China e na Índia, seguido pelos países de economia de transição e do resto do mundo. O menor crescimento ocorrerá nos países pertencentes a OCDE (IEA, 2008b).

Apesar da tendência de crescimento bastante elevada das emissões de CO₂ do setor de transportes, é notório o potencial de mitigação do setor, como pode-se observar, claramente,

através da análise dos dois cenários alternativos¹⁶ propostos pela IEA. Até 2050, o Cenário ACT Map tem potencial para reduzir até 45% das emissões de dióxido de carbono equivalente e o BLUE Map para reduzir cerca de 79%, em comparação com o Cenário *Baseline* (IEA, 2008b).

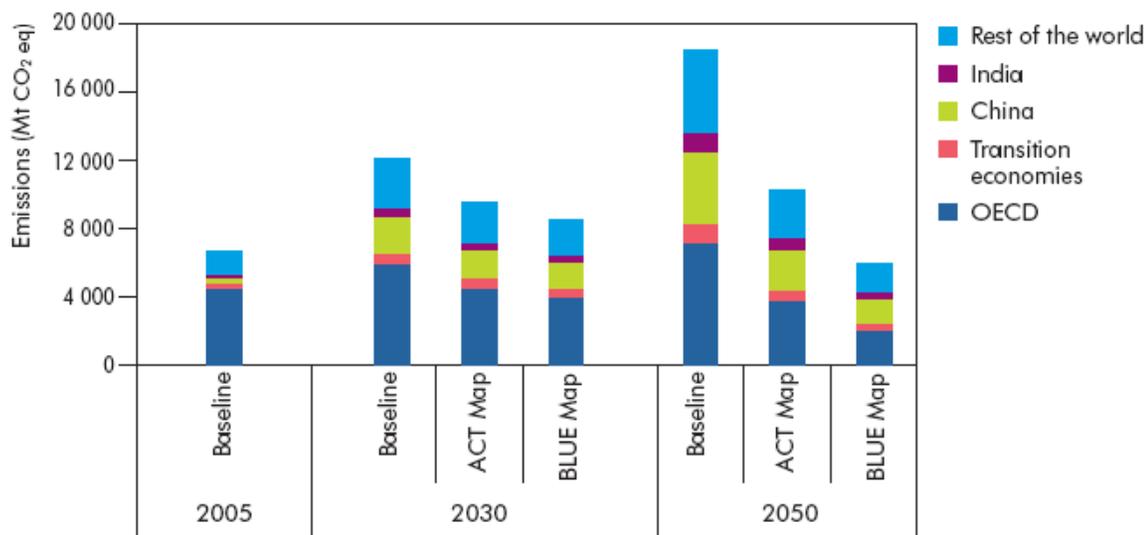


Figura 2.3: Cenários tendênciais e alternativos de emissões de CO₂ no setor de transporte mundial

Fonte: IEA, 2008b.

De acordo com o mesmo estudo capitaneado pela Agencia Internacional de Energia, os combustíveis alternativos são suscetíveis de desempenhar um papel importante na mitigação das emissões mundiais de GEE, principalmente no setor de transportes. Ao longo dos próximos 10 a 15 anos é provável que sejam os biocombustíveis os que apresentarão os melhores custos de produção, especialmente o etanol de cana-de-açúcar produzido no Brasil. No longo prazo, a segunda geração de biocombustíveis como o LC etanol e o BtL Diesel (são analisados em maiores detalhes no Capítulo 5) tendem a tornarem-se uma opção mais importante – em nível mundial – no que tange a redução de emissões de GEE do setor de transportes (IEA, 2008b).

¹⁶ O cenário BLUE Map baseia-se em uso intensivo de células a combustíveis, veículos elétricos e uso intensivo de biocombustíveis. Já o ACT Map prevê, principalmente, o uso intensivo de biocombustíveis. As previsões são de defasagem de cinco a dez anos para plena penetração dos veículos movidos a hidrogênio e veículos elétricos entre os países não pertencentes a OCDE países, em comparação com os países da OCDE, tendo em vista que em 2050 as suas penetrações serão bastante semelhantes globalmente.

Devido basicamente aos ganhos com conservação de energia, eficiência energética, sequestro geológico de carbono e biocombustíveis, em 2050, o Cenário ACT Map tem potencial para reduzir até 45% das emissões de dióxido de carbono e o Cenário BLUE Map para cerca de 70%, em comparação com o cenário tendencial do setor de transportes mundial (IEA, 2008b). Um fator extremamente importante é que o êxito dos 2 cenários alternativos propostos pela IEA, dependerá das inovações tecnológicas, das reduções dos seus custos e, principalmente, do rigor das políticas em relação à imposição de prazos e metas para uso de combustíveis menos emissores de GEE (IEA, 2008b).

2.6. Consumo de energia do setor de transportes brasileiro

No ano de 2011, no Brasil, o setor de transportes consumiu 74,227 milhões tEP, de um total de 228,659 milhões tEP consumidos pelos demais setores econômicos, contabilizando 32,5% do total de energia consumida no País, apresentando um acréscimo de 6,6%, em relação ao ano anterior (MME, 2012). Assim como no mundo todo, o setor de transportes brasileiro é altamente dependente de derivados de petróleo, mesmo a despeito do uso de etanol e biodiesel. Na Figura 2.4 pode-se observar a evolução do consumo de derivados de petróleo pelos diferentes setores da economia no Brasil nos últimos 30 anos (1970 a 2010).

De acordo com os dados da Figura 2.4, pode-se notar a importância do setor de transportes em relação aos demais setores da economia no consumo de derivados de petróleo no Brasil. No período todo de análise, o setor de transportes foi responsável por cerca de 50% do consumo de derivados de petróleo. No ano de 2010, o consumo de derivados de petróleo do setor de transporte foi de 55.519 mil tEP, ou seja, 53,1% do total (MME, 2011a). A Figura 2.5 mostra o consumo de energia do setor de transportes, por energético, no ano de 2011.

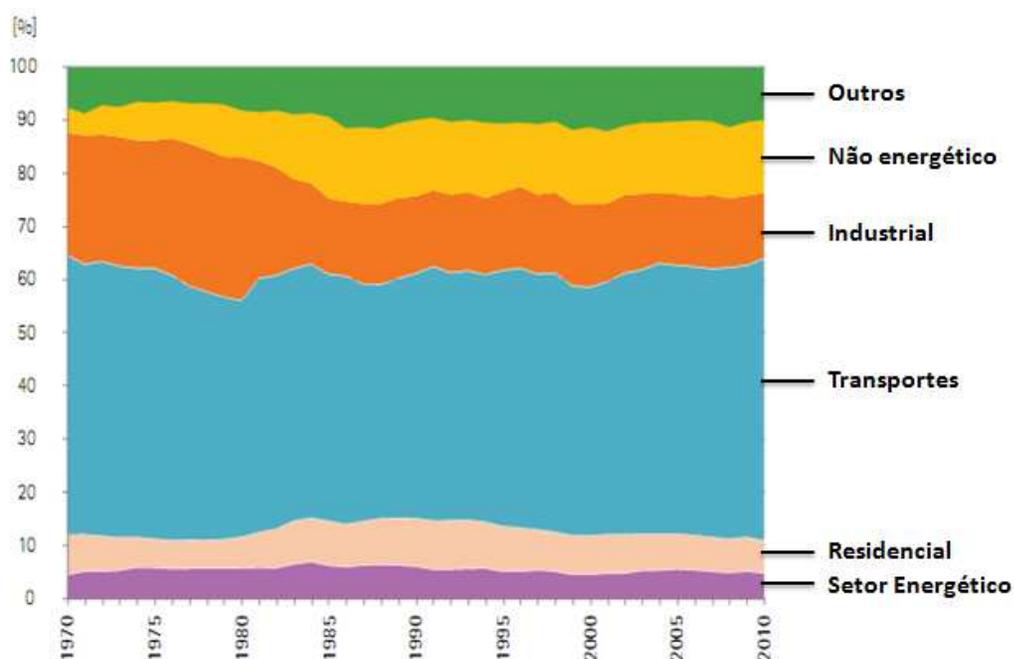


Figura 2.4: Consumo total de derivados de petróleo por setor da economia brasileira – 1970 a 2010

Fonte: MME, 2011a.

* Outros incluem o setor comercial, público e agropecuário.

A análise da Figura 2.5 denota um consumo preponderante do óleo Diesel e da gasolina A, com 48,8% e 28,% respectivamente. O álcool etílico (anidro e hidratado), no ano de 2011, foi responsável por consideráveis 14,5% da energia consumida pelo setor de transportes. Vale lembrar que por Lei o etanol anidro é misturado à gasolina A em teores que variam entre 20% e 25% – com isso a gasolina misturada ao etanol anidro recebe a alcunha de gasolina C. Desde outubro de 2011, o etanol anidro está sendo misturado à gasolina em um teor de 20%. A Figura 2.6 mostra o consumo de derivados de petróleo e gás natural entre os diferentes modos de transportes no Brasil – em 2010.

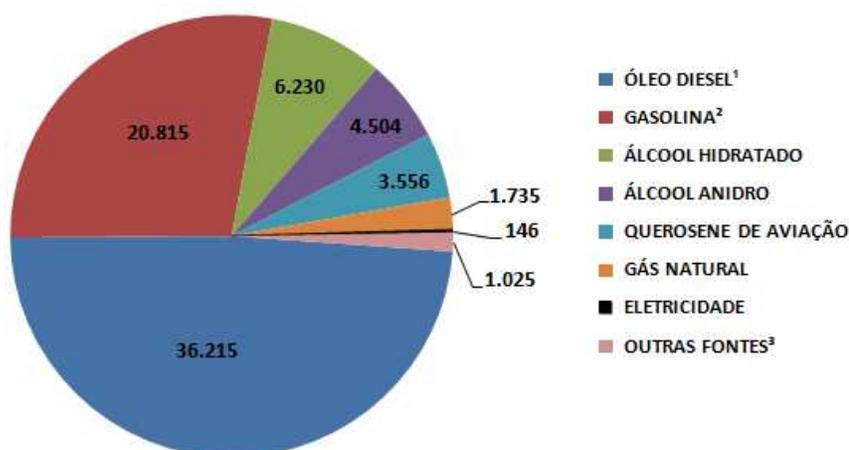


Figura 2.5: Consumo de energia no setor de transportes brasileiro por energético no ano de 2011 – 103 tEP

Fonte: MME, 2012.

¹ Inclui biodiesel; ² Inclui apenas gasolina A (pura – sem adição de etanol anidro); ³ Inclui gasolina de aviação e óleo combustível.

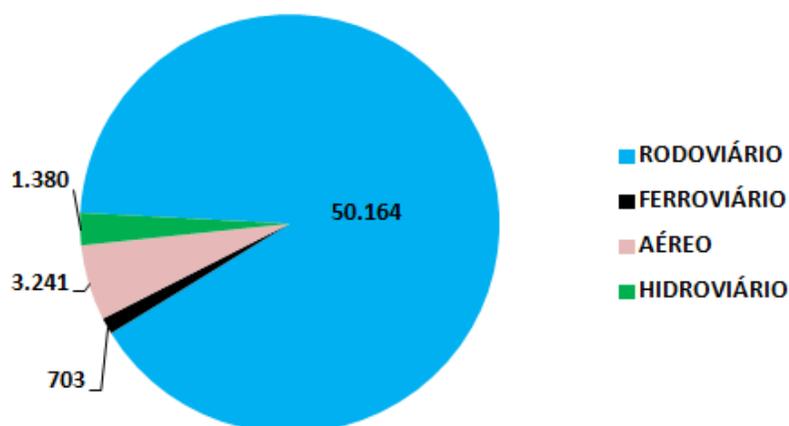


Figura 2.6: Consumo de derivados de petróleo e gás natural entre os diferentes modos de transporte no Brasil – 2010

Fonte: MME, 2011a.

De acordo com os dados da Figura 2.6, observa-se que os modais ferroviário e hidroviário consumiram em 2010 apenas 3,75% do total dos derivados de petróleo e GN utilizadas pelo setor de transportes brasileiro. Apesar de ser o modal que apresenta o maior crescimento de consumo de energia, em nível mundial, o modal aeroviário brasileiro ainda apresenta consumo de energia

reduzido, em relação ao modal rodoviário no Brasil, representando apenas 5,84% do consumo total dos derivados de petróleo e GN do setor de transportes brasileiro. Mesmo possuindo intensidade energética superior aos modais ferroviário e hidroviário (IEA, 2008b), o transporte rodoviário é o mais utilizado dentre todos os modais do setor de transportes brasileiro. No Brasil, no ano de 2010, o modal rodoviário foi responsável pelo consumo de 90,41% do consumo total de derivados de petróleo e GN utilizado pelo setor de transportes (MME, 2011a). A Figura 2.7 apresenta o consumo de energia por fonte do modal rodoviário nos anos de 2001 e 2010.

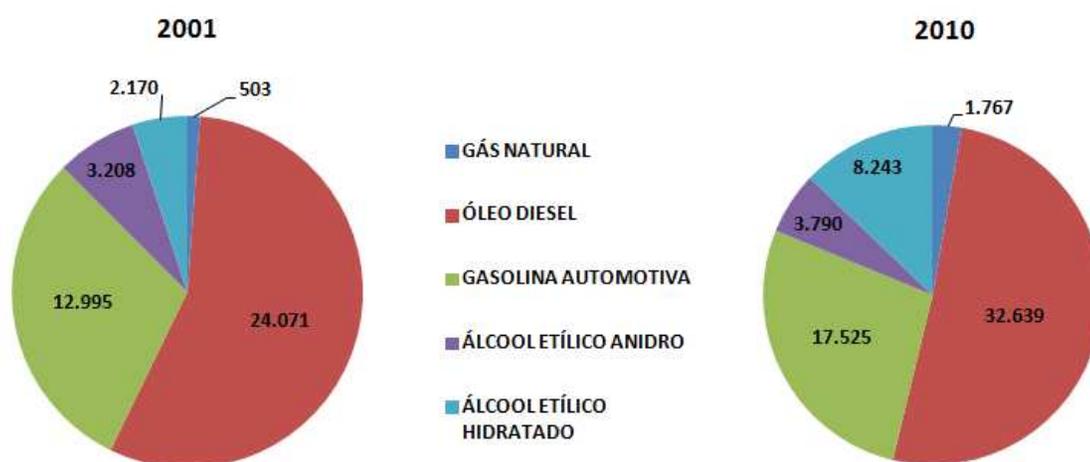


Figura 2.7: Consumo de energia por fonte do modal rodoviário

Fonte: MME, 2011a.

Pelos dados da Figura 2.7, observa-se a importância que o etanol hidratado ganhou nos últimos 10 anos. O consumo de etanol hidratado que era de $2.170 \cdot 10^3$ tEP (ou 5,05%) em 2001 aumentou para $8.243 \cdot 10^3$ tEP (ou 12,89%) em 2010. A gasolina A, no mesmo período considerado, diminuiu sua importância, passando de 30,26% em 2001 para 27,4% em 2010, assim como o óleo Diesel (incluindo os 5% de biodiesel) que também reduziu sua participação, passando de 56,05% para 51,03%. Apesar da importância do etanol na matriz energética de transportes brasileira, os combustíveis fósseis ainda são a principal fonte de energia utilizada no setor rodoviário, representando 81,19% da energia total consumida. A Figura 2.8 apresenta a evolução histórica da utilização das diferentes fontes de energia pelo setor de transportes no período de 1975 a 2010.

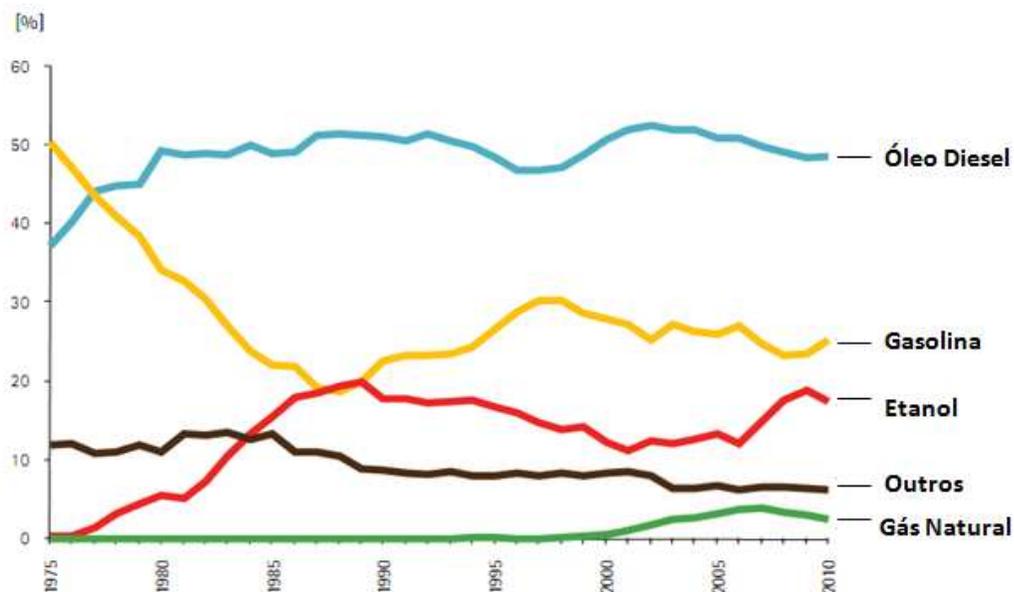


Figura 2.8: Participação no consumo do setor de transportes das diferentes fontes de energia – 1975 a 2010

Fonte: MME, 2011a.

Face aos dados da Figura 2.8, é notória a alta taxa de crescimento do consumo do etanol, no período de 1973-1980, quando se iniciou o Programa Proálcool. Após a primeira crise do petróleo em 1973/74, o governo brasileiro começou a investir em um combustível alternativo para substituir a gasolina. Em 1975, o álcool anidro começou a ser misturado à gasolina nos postos de distribuição de combustíveis em maiores alíquotas. Fato que também explica, em certa medida (não totalmente, claro), a queda no consumo de gasolina no mesmo período – outro fator importante foi a elevação do preço da gasolina em virtude do 1º Choque do Petróleo, ocorrido em 1973. Entre 1980 e 1985 observa-se uma queda ainda maior na taxa de consumo de gasolina e um aumento da taxa de consumo de etanol, pois nesse período começaram a ser produzidos no Brasil veículos movidos exclusivamente a etanol hidratado. Com a queda dos preços dos barris de petróleo em 1986, a diferença entre os preços dos dois combustíveis diminuiu¹⁷ consideravelmente e como o poder calorífico do álcool é menor do que a gasolina, já não era

¹⁷ Essa elevação do preço do etanol na segunda metade dos anos 1980 ocorreu, concomitantemente, ao desabastecimento do citado combustível nos postos distribuidores. Em grande parte, isto deveu-se à elevação do preço do açúcar no mercado internacional. Basicamente, pode dizer que os usineiros passaram a privilegiar a produção de açúcar em detrimento do etanol.

vantajoso financeiramente para o consumidor adquirir carros movidos a álcool. Com isso, o consumo de gasolina voltou a crescer e o consumo do álcool hidratado diminuiu. O crescimento acelerado do consumo de etanol após o ano de 2004 é devido à introdução e posterior expansão no mercado dos veículos *flex fuel*.

Desde o início dos anos 1980 o consumo de óleo Diesel sempre se manteve em primeiro lugar e relativamente constante, com taxas variando entre valores próximos de 50%, mostrando a importância desse energético no setor de transporte brasileiro, principalmente no seu uso praticamente exclusivo pelo setor de transportes de cargas. No ano de 2010, o consumo de óleo Diesel representou 47,3% do total de energia consumida em todo o setor de transportes brasileiro (MME, 2011a). Já nesse novo milênio, o gás natural surge como uma nova alternativa para a diversificação das fontes de energia do setor de transportes, mesmo que, ainda, em 2010 apresenta pequena participação na matriz energética do setor de transporte¹⁸.

2.7. Emissões de CO₂ do setor de transportes brasileiro

No ano de 2005, as emissões antrópicas líquidas dos 3 principais gases de efeito estufa no Brasil foram estimadas em 1.637.905 Gg de CO₂, 18.107 Gg de CH₄ e 546 Gg de N₂O. Entre 1990 e 2005, as emissões totais de CO₂, CH₄ e N₂O aumentaram em 65%, 37% e 45%, respectivamente (MCT, 2011). Como apenas 2% das emissões de metano e de óxido nitroso no Brasil são referentes à combustão de combustíveis (MCT, 2004), são analisadas apenas as emissões de dióxido de carbono do setor de transportes. Os setores responsáveis no ano de 1990 e 2005 pelas emissões de CO₂ no País podem ser observados na Figura 2.9.

Apesar de representar 77% das emissões brasileiras (MCT, 2011), o desmatamento é tratado tradicionalmente separado das emissões de CO₂ do sistema energético brasileiro. Observa-se na Figura 2.9 a grande importância do setor de transportes, que contabiliza 8% das emissões de

¹⁸ Em maio de 2006, o presidente boliviano Evo Morales decretou a nacionalização da produção do gás e do petróleo na Bolívia. Somado ao potencial uso prioritário das reservas de gás natural pelo setor energético brasileiro (através do uso do GN para geração de energia elétrica pelas usinas térmicas), tais medidas acabaram desestimulando o consumo do GNV.

CO₂ nos anos analisados (ou aproximadamente 35% – se o desmatamento for desconsiderado). A matriz energética brasileira possui vantagens em relação ao uso de fontes renováveis de energia, em comparação com os outros países. A geração elétrica brasileira é principalmente de origem hidráulica, respondendo por 81,7% de toda eletricidade consumida no País (MME, 2012). Portanto, o setor de geração de energia elétrica, que juntamente com o setor de produção de calor representaram, no ano de 2010, 41% das emissões mundiais de CO₂ (IEA, 2012b), emite reduzidos índices de dióxido de carbono no caso brasileiro.



Figura 2.9: Setores responsáveis pela emissão de CO₂ no Brasil nos anos de 1990 e 2005 – sem considerar o desmatamento – em porcentagem

Fonte: MCT, 2011.

Em 2005, o setor de transportes foi responsável por 133.431 Gg CO₂ das emissões de dióxido de carbono provenientes da queima de combustíveis fósseis (MCT, 2011). Entre 1990 e 2005, o crescimento das emissões de CO₂ do setor de transportes foi de 67%, com o modal rodoviário sendo responsável por aproximadamente 92% das emissões do setor (MCT, 2011). Um fato a favor do setor de transportes brasileiro em relação ao setor de transportes mundial, é que cerca de 14,5% da energia consumida no setor de transportes é proveniente da biomassa renovável de cana-de-açúcar (através do consumo do etanol etílico anidro e hidratado) (MME, 2011a). A Figura 2.10 mostra as emissões de CO₂, por fonte de origem fóssil no ano de 2005.

As emissões de CO₂ provenientes da combustão dos derivados de petróleo representam cerca de 71,38% do total das emissões provenientes dos combustíveis fósseis. Dentre os

combustíveis de origem fóssil, 48% das emissões é responsabilidade da queima de apenas 2 derivados de petróleo, dois deles utilizados largamente no setor de transportes brasileiro: óleo Diesel, utilizado predominantemente no transporte de cargas (35%), e gasolina, utilizado no transporte de passageiros (13%) (MCT, 2011).

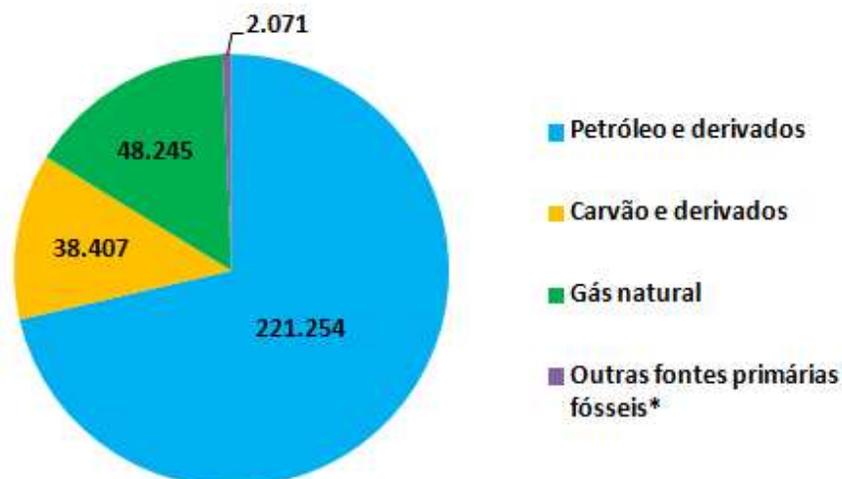


Figura 2.10: Fontes fósseis de emissão de CO₂ no Brasil no ano de 2005 – em Gg de CO₂

Fonte: MCT, 2011.

* Compreende fontes primárias com diferentes estados físicos.

Em relação aos modais de transporte, a Tabela 2.2 mostra a evolução das emissões de CO₂ para os anos de 1990 e 2005, em relação ao total das emissões de CO₂ do Brasil – excetuando-se as emissões do desmatamento.

Tabela 2.2: Emissões de CO₂ do setor de transporte brasileiro

Modal	1990 (Gg)	2005 (Gg)	Participação do total (2005)	Varição da participação (1990/2005)
Aéreo	3.503	5.374	1,8%	53,4%
Ferroviário	1.625	1.730	0,6%	6,5%
Rodoviário	71.339	122.765	40,9%	72,1%
Marítimo	3.448	3.561	1,2%	3,3%
Total do setor de transportes	79.914	133.431	44,5%	67%

Fonte: MCT, 2011

Pode-se observar, pelos valores da Tabela 2.2, que o modal rodoviário, além de emitir quase 40,9% das emissões de CO₂ do total das emissões brasileiras é o modal que mais cresce nas emissões no período considerado. Os modais ferroviário e marítimo emitiram apenas 2% das emissões totais no ano de 2005, fato que evidencia a pouca importância dada a esses modais no planejamento setorial brasileiro. No ano de 2011, segundo o MME (2012), o setor de transportes emitiu 192 MtCO₂, o que representa 48,5% das emissões de CO_{2eq} associadas à matriz energética brasileira. A Tabela 2.3 mostra estimativas das emissões de CO₂ do setor de transportes brasileiro, separadas em veículos rodoviários de passageiros e de carga, para os anos de 1990 e 2009 – publicadas no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011).

Tabela 2.3: Emissões de CO₂ (10³ t) do modal rodoviário no Brasil – 1990 a 2009

MODAL	1990	2009
Transporte passageiros	44.967	76.259
Transporte de cargas	27.298	56.253
Veículos GNV	0	4.210
Total modal rodoviário	72.265	136.722

Fonte: a partir de MMA, 2011.

Conforme os dados da Tabela 2.3, em 1990 os veículos rodoviários de cargas (caminhões) emitiam cerca de 38% do total do modal rodoviário e em 2009 houve um reduzido aumento, atingindo cerca de 41% das emissões totais do modal rodoviário. No entanto, a participação percentual dos veículos rodoviários leves nas emissões totais dos veículos rodoviários de passageiros passou de 62% em 1990, para 56% em 2009. Os veículos a GNV passaram de 0% (não existia frota considerada em 1990) para 3% em 2009.

2.8. Limites do consumo de petróleo no Brasil

O Brasil, assim como o resto do mundo, não tem conseguido obter resultados expressivos através de programas de eficiência energética capazes de reduzir a crescente demanda por petróleo e derivados. Em 2010, o Brasil consumiu 2,6 milhão barris/dia de petróleo, cerca de 3%

do total mundial, atingindo a 7ª posição entre os maiores consumidores de petróleo mundial (ANP, 2011). Os derivados energéticos representaram 53,8% das importações, um aumento de 100,2% em relação ao ano anterior. Do volume total de derivados produzidos no Brasil no ano de 2010, 39% (ou 9 milhões m³) corresponde a produção de óleo Diesel (ANP, 2011), utilizado principalmente no transporte de carga e nos ônibus. Nos últimos 15 anos, ao menos, têm sido notáveis o volume importado de óleo Diesel, contribuindo com 32,9% do volume total importado no ano de 2010 (ou 4,87 milhões m³), sendo os volumes importados de óleo Diesel maiores que os volumes dos outros principais derivados importados pelo Brasil, energéticos e não energéticos (ANP, 2011). O déficit com importação e exportação de petróleo e derivados, no ano de 2010, foi de US\$ 13 bilhões (ANP, 2011).

O volume de petróleo produzido internamente é maior do que o consumo interno, entretanto, como a produção doméstica de petróleo não é suficiente para atender a demanda nacional, particularmente no caso do óleo Diesel, GLP e nafta petroquímica, têm sido necessárias importações desses produtos para atender a demanda interna. A necessidade de importação de petróleo do Brasil, mesmo a despeito de ser um exportador, vem do fato de que para otimizar as frações de certos derivados obtidos no processo de refino, tendo como objetivo principal minimizar a dependência externa do óleo Diesel, há necessidade de se fazer um “*blending*” com alguns tipos de petróleos e os volumes desse “mix” de origem nacional utilizados pelas refinarias brasileiras é inferior a demanda (RIBEIRO *et al.*, 2003).

Em anos recentes, o volume das reservas brasileiras de petróleo sofreu um sensível acréscimo, fato decorrente do descobrimento de grandes volumes de petróleo recuperáveis no Pré-sal¹⁹. Com isso, as reservas provadas brasileiras chegaram a 14,2 bilhões de barris de petróleo, e situou o País na 15ª posição no ranking mundial de reservas (ANP, 2011). A relação

¹⁹ O termo Pré-sal refere-se a um conjunto de rochas localizadas nas porções marinhas de grande parte do litoral brasileiro, com potencial para a geração e acúmulo de petróleo. A profundidade total dessas rochas, que é a distância entre a superfície do mar e os reservatórios de petróleo abaixo da camada de sal, pode chegar a mais de 7 mil metros. As maiores descobertas de petróleo, no Brasil, foram feitas recentemente pela Petrobras na camada Pré-sal localizada entre os estados de Santa Catarina e Espírito Santo, onde se encontrou grandes volumes de óleo leve (ou seja, capaz de gerar, durante o processo de refino, derivados de maior valor agregado e típicos para o atendimento da demanda nacional como, por exemplo, o óleo Diesel). Na Bacia de Santos, por exemplo, o óleo já identificado no pré-sal tem uma densidade de 28,5° API, baixa acidez e baixo teor de enxofre – características de um petróleo de alta qualidade e maior valor de mercado (PETROBRAS, 2010).

reserva/produção (R/P) de petróleo passou de 18 anos em 2001 para 19 anos em 2010 (ANP, 2011).

Ressalta-se que os limites para o consumo de petróleo estão mais intimamente conectados a fatores econômicos, técnicos, logísticos, de infraestrutura e ambientais do que pela efetiva disponibilidade do citado combustível. Nesse sentido, os principais fatores limitantes para a expansão do consumo de petróleo no Brasil estão relacionados, principalmente, à expansão esperada do setor de transportes e ao desbalanceamento da matriz de transportes de carga. Segundo estimativas e projeções do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, o volume de óleo Diesel consumido somente pelos caminhões no ano de 2009 foi de $21.059 \times 10^3 \text{ m}^3$ (ou 63% do total), e projeta-se que o volume consumido aumente para $34.390 \times 10^3 \text{ m}^3$ (ou 70% do total) em 2020 (MMA, 2011).

O Brasil aproxima-se de sua capacidade máxima de suprir o mercado com produtos de petróleo (poder-se-ia alcunhar esse contexto, de modo coloquial, como “gargalo”), principalmente em razão do crescimento do consumo de combustíveis chaves, tais como o óleo Diesel. Simultaneamente, o Brasil tem elevado sua produção de petróleo, mas seu parque de refino atual não está adaptado para processar cargas cada vez mais pesadas e ácidas, como é o caso de grande parte da atual produção nacional. Embora a produção de óleo Diesel resulte em excedente de outros derivados²⁰, estes não acharão mercado que pague um preço competitivo, principalmente no caso da gasolina A, se uma produção em escala maior for introduzida. Deste modo, o País fica em situação de dependência de importações para atender o mercado interno.

Caso mantenha-se crescente a expansão da produção brasileira de óleo cru, futuramente, o País tende a deixar de ser um importador de derivados energéticos (como, por exemplo: Diesel, GLP e QAV) e não energéticos (tais como o coque e a nafta). Nesse contexto, não é totalmente

²⁰ A gasolina é um dos derivados mais exportados pelo país na última década. Nos anos de 2008 e 2009, a gasolina A foi responsável por cerca de 16% do total de derivados exportados, já no ano de 2010 foi responsável por 5,5%. Os outros derivados mais exportados pelo Brasil são: óleo combustível, óleo combustível marítimo e combustíveis para aeronaves (ANP, 2011). Convém observar que no ano de 2011, a gasolina foi o 3º derivado mais importado pelo Brasil, representando 7,2% do volume de derivados importados (ANP, 2012). A defasagem nos preços da gasolina no mercado interno e externo termina por dificultar a evolução na produção do etanol. Esse etanol internamente menos competitivo força uma importação maior de gasolina, que faz também com que o país exporte uma parcela considerável da sua produção de etanol.

improvável que o Brasil torne-se, no médio ou longo prazo, um importante exportador mundial de petróleo, derivados e mesmo de produtos petroquímicos – mesmo a despeito de manter crescente seu padrão crescimento econômico (que acarreta em aumentos no consumo de petróleo). Cabe mencionar que de acordo com previsão do Plano Decenal de Expansão de Energia 2020, estima-se crescimento do PIB brasileiro entre 3% a 5% ao ano, até 2020 (MME, 2011b).

Por outro lado, não é porque as reservas brasileiras de petróleo sofreram um elevado aumento, que medidas mitigatórias no consumo de derivados, principalmente no que concerne ao óleo Diesel, devam ser negligenciadas. O aumento dos investimentos em modais menos energo-intensivos, como as ferrovias, principalmente no transporte de cargas, somado a uma introdução mais rápida e ampla de tecnologias que tornem o setor de transportes mais eficiente energeticamente, concomitantemente a um aumento da utilização de biocombustíveis, são medidas fundamentais para mitigar o consumo de petróleo e derivados e suas inúmeras externalidade negativas (incluindo a perda de divisas), tornando o crescimento econômico brasileiro mais sustentável.

2.9. Histórico e metas de emissão veicular e eficiência energética em países selecionados

Em diversos países, principalmente aqueles classificados como desenvolvidos, têm sido implantados programas de fomento à eficiência energética veicular, muitas vezes associados à regulação de quantidades máximas de emissões de GEE – usualmente o CO₂ – ou de consumo de combustíveis (em unidade de distância por unidade de volume) que devem ser seguidas pelas montadoras. Apresenta-se, a seguir, um resumo dos principais programas de países selecionados e da União Europeia. A escolha dos países foi motivada pela relevância histórica e/ou atual dos seus programas.

2.9.1. União Européia

Há mais de uma década, a União Europeia através da *European Car Manufacturers Association* (ACEA) firma acordos voluntários de emissões de CO₂ com as montadoras. Esses acordos se aplicam à frota nova de cada fabricante e definiram uma meta de 140 gCO₂/km para a média ponderada das vendas de seus veículos. Essa meta tem como objetivo atingir reduções líquidas de 25% no total das emissões de CO₂ por veículo leve da frota em relação ao ano de 1995. No ano de 2006, a média do fator de emissão de CO₂ dos fabricantes europeus de veículos automotores, ponderado pelas vendas, foi de 160g/km (ICCT, 2007).

A montadora Peugeot/Citroen foi a que atingiu as menores emissões médias de CO₂, de 142 g/km. Já no extremo oposto, está a Chrysler com emissões médias de 238 g/km (ICCT, 2007). Outro fator importante a ser considerado é que as novas metas da União Europeia são ainda mais rigorosas, passando para 120 gCO₂/km; porém, essa nova meta é mais flexível, podendo ser alcançada através de uma combinação de estratégias (alcançadas de “estratégias integradas”). As montadoras teriam por meta obrigatória, através do aumento da eficiência energética dos seus veículos, a emissão de 130 gCO₂/km. Os 10 gCO₂/km restantes poderiam ser alcançados através de medidas complementares, como o uso de biocombustíveis, sensores de pneus, acessórios mais eficientes (ar condicionado), indicadores para a mudança de marcha, sistemas que desligam o motor automaticamente quando o veículo para e o liga instantaneamente quando o acelerador é pressionado, dentre outros possíveis (WILLS, 2008). Em 2009, ocorreu uma alteração na data limite para comprimento das metas, postergando-se os prazos de atendimento para 2015 (SMITH, 2010).

Na União Europeia já são comercializados alguns modelos que possuem fatores de emissão abaixo de 140 gCO₂/km, incluindo modelos considerados de “luxo”, como o modelo Mini Cooper da montadora BMW e do Volvo S40 1.6 a óleo Diesel, com possui fator de emissão de CO₂ de apenas 129g/km. Esses dois exemplos evidenciam que fabricar carros mais eficientes, e consequentemente, com baixas emissões, não os torna menos competitivos, ou desejados (WILLS, 2008).

Contudo, as metas de emissões para 2015 dificilmente serão atingidas caso as tendências de aumento do peso, tamanho e potência não forem alteradas rapidamente pela indústria automobilística (SMITH, 2010). Segundo CUENOT (2009, *apud* SMITH, 2010), se o atual ritmo de redução das emissões de CO₂ dos veículos novos europeus (1,5 g/km por ano) permanecer constante, a média de emissões dos LDVs em 2015 atingirá 151 gCO₂/km, bem acima dos 120 gCO₂/km planejados.

2.9.2. Japão

O Japão iniciou no ano de 1999 um programa de eficiência energética denominado *Top Runner*, com metas baseadas no peso do veículo, para os veículos leves da frota, através de penalidades para o não cumprimento das metas estipuladas. A efetividade das metas é aumentada por taxas progressivas proporcionais ao peso bruto do veículo e ao tamanho do seu motor, quando os veículos são comprados e registrados. Essa política possui como efeito o incentivo para o consumidor comprar veículos menores (mais leves) e menos potentes. Por exemplo, a Associação Japonesa de Fabricantes de Veículos (JAMA) estima que o proprietário de um carro subcompacto (até 750kg) pagará, ao longo da vida útil do veículo, cerca de US\$ 4.000 a menos em taxas em relação a um proprietário de um veículo de cerca de 1.100kg (JAMA, 2007, *apud* ICCT, 2007).

No final de 2006, entraram em vigor no Japão metas mais rigorosas de economia de combustível, através da expansão do número de classes de divisão do peso veicular de 9 para 16 (WILLS, 2008). O interessante é que essas novas metas, surgiram antes da implementação total das metas anteriores, já que a maioria dos veículos vendidos no Japão (cerca de 80% deles), já em 2002, havia atingido, ou até mesmo ultrapassado, as metas de 2010. Essas novas metas foram projetadas para aumentar a eficiência média da frota de carros novos de 13,6 km/L para 16,8 km/L em 2015, acarretando em um aumento de eficiência de cerca de 24%. A nova meta japonesa tenderá a atingir uma média de apenas 125g/km de CO₂ por veículo (ICCT, 2007). As metas do padrão *Top Runner* implicaram em 22,8% de aumento da eficiência energética média da frota (de

12,3 km/l, em 1995, para 15,1km/l, em 2003 – destacando-se também que o peso médio da frota não aumentou desde que os padrões foram estabelecidos, ainda em 1999) (SMITH, 2010).

O atendimento das metas, previstas até 2015, pelos fabricantes japoneses, é bastante factível e influenciado não só pelos avanços tecnológicos impulsionados pela rigidez do padrão japonês, mas também pela contribuição de outros mecanismos que influenciam a demanda por veículos mais eficientes, tais como os incentivos fiscais concedidos aos consumidores e os programas de informação (HOSHI, 2007, *apud* SMITH, 2010).

2.9.3. China

Apenas recentemente a China ingressou no “grupo” de países que possuem metas de eficiência energética veicular. Como desde 2005 o país apresenta um crescimento acelerado nas vendas de automóveis (o que incentivou o governo chinês a introduzir essas metas, cujo objetivo principal é reduzir a dependência deste país em relação à importação de petróleo), além de encorajar as montadoras a incorporar tecnologias mais eficientes para o mercado chinês. A frota chinesa de veículos foi dividida por categorias de peso. Esse novo padrão que impõe um limite de consumo de combustível máximo foi implementado em duas fases. A Fase 1 entrou em vigor em 1 de julho de 2005, apenas para novos modelos e em 2006, para modelos antigos. A Fase 2 entrou em vigor em 01 de janeiro de 2008 para os novos modelos e em 01 de janeiro de 2009 para os modelos antigos. De acordo com um estudo recente da CATARC (*China Automotive Technology and Research Center*), a Fase 1 aumentou a eficiência dos novos carros em 9%, aumentando o desempenho dos veículos chineses de cerca de 11 km/L em 2002 para cerca de 12 km/L em 2006, mesmo a despeito do peso médio dos veículos e da potência do motor terem sido aumentados (CATARC, 2007, *apud* ICCT, 2007).

Na última década, a China revisou sua tributação dos veículos, a fim de reforçar os incentivos para compra e venda de veículos com motores menores e menos potentes. Essa tributação tem dois componentes: um imposto cobrado sobre as montadoras e um imposto sobre vendas que incide sobre os consumidores. Em 2006, o governo chinês atualizou novamente a

tributação a fim de fomentar uma maior fabricação de veículos menores (com motores de cilindrada 1.0 à 1.5 litros). O imposto declinou de 5% para 3%, enquanto que o imposto para veículos de cilindrada maior que 4.0 aumentou entre 8 e 20% (ICCT, 2007). Além disso, a taxa preferencial de apenas 5%, que se aplicava aos SUVs²¹ (*Sport Utility Vehicle*) foi eliminada, sendo que todos os SUVs vendidos na China estão sujeitos à tabela de imposto igual ao outros veículos com a mesma cilindrada.

Os padrões chineses estabelecem limites máximos de consumo específico para os LDVs (em L/100km), classificados em 16 categorias de peso, variando entre 750 kg até 3500 kg. Adicionalmente, os veículos são divididos em dois grupos: automóveis com transmissão manual e “veículos com atributos especiais” (SUVs, automóveis com transmissão automática, vans e furgões”) (WAGNER *et al.*, 2009, *apud* SMITH, 2010).

No final do ano de 2009, um novo padrão de consumo de combustível ou emissão de CO₂ foi aprovado. Esse novo padrão foi elaborado para atingir uma média de consumo da frota de novos veículos de 7L/100km de consumo específico de combustível ou 167 gCO₂/km, em 2015, o que representa uma redução de 14% das emissões, em relação à fase anterior (ICCT, 2010).

2.9.4. Estados Unidos

Quando as normas CAFE²² (*Corporate Average Fuel Economy*) foram introduzidas nos anos 1970, os veículos comerciais leves eram uma pequena fração da frota de veículos norte-americana, sendo usados principalmente para fins agrícolas. Tendo como objetivos proteger as pequenas empresas e agricultores, os comerciais leves foram submetidos a padrões menos rigorosos de economia de combustível. Naquela época, as minivans e as SUVs representavam participação ainda menor na frota. Porém, suas vendas superaram a dos automóveis de

²¹ SUVs são veículos derivados de picapes grandes ou médias. São carros grandes, sofisticados e na maioria dos casos, são veículos bem caros. Possuem motores potentes e diversos itens de luxo, características que torna esses tipos de veículos de baixa eficiência energética.

²² O CAFE, entre 1975 e 1984, praticamente dobrou a economia de combustível nos automóveis de passeio norte-americanos, com isso houve um aumento de mais de 50% das milhas percorridas por galão de combustível nos veículos comerciais leves (GREENE, 1997).

passageiros. Como resultado, uma diminuição de 7% no desempenho médio da frota foi observada desde 1988 até 2003 (EPA, 2004, *apud* ICCT, 2007). A economia média estimada devida ao CAFE, no início dos anos 1980, era da ordem de 2,5 milhões de barris diários de petróleo, cerca de 25% da demanda norte-americana de gasolina (NOGUEIRA & BRANCO, 2005).

Antes das novas normas do CAFE começarem a vigorar no início de 2012, existiam dois padrões distintos para os veículos leves da frota. Para carros convencionais, esta meta estava fixada em 27,5 mpg (milhas por galão), enquanto que a meta para comerciais leves aumentou de 20,7 mpg em 2004 para 24 mpg em 2011. Na segunda metade da década passada, a NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) adotou novos padrões para os comerciais leves, que relacionam economia de combustível com o tamanho dos veículos. Nos primeiros anos em que as novas metas começaram a vigorar, as montadoras puderam escolher entre metas de 22,7 mpg em 2008, 23,4 mpg em 2009 e 23,7 mpg em 2010, ou em metas baseadas no tamanho do veículo – que deverão proporcionar um consumo médio da frota de 24 mpg (NHTSA 2006, *apud* ICCT, 2007).

Em 19 de maio de 2009, o presidente dos EUA, Barack Obama, anunciou normas mais rígidas para o CAFE. As novas normas do CAFE contemplam todos os veículos de passageiros vendidos nos Estados Unidos, incluindo os automóveis, veículos comerciais leves e SUVs. Ao final de 2016, o programa preconiza que a frota de veículos norte-americana alcance autonomia (*fuel economy*) de 35,5 milhas por galão médios, um aumento de cerca de 40% em relação à média da frota antes de 2012 – data de início da implementação das medidas. A nova política prevê aumentos anuais de 5% médios na eficiência energética dos LDVs, entre os anos 2012 a 2016 (NHTSA, 2013).

2.9.4.1. Califórnia

No ano de 2002, a Califórnia se tornou o primeiro estado norte-americano a aprovar limites de emissão de GEE para os veículos motorizados. Seguindo as instruções da *California Air*

Resources Board (CARB), o estado da Califórnia, no ano de 2004, limitou as emissões de GEE de veículos leves, incluindo comerciais leves e também os chamados veículos médios de passageiros (*medium duty passenger vehicles*). Essa legislação se aplica a partir dos veículos modelo 2009. Os padrões se tornam mais rigorosos, anualmente, de modo que, no ano de 2016, a média de emissões de GEE dos veículos novos será 30% abaixo do nível de 2009 (ICCT, 2007).

O CARB estima que essas metas de emissão de GEE irão reduzir as emissões projetadas da frota de veículos leves, em relação ao cenário de referência, em 17% no ano de 2020, e em 25%, no ano de 2030 (CARB, 2004, *apud* ICCT, 2007). Em função das metas do CARB, as emissões de GEE dos veículos automotores no estado da Califórnia, tendem a se estabilizarem próximos aos patamares emitidos no ano de 2007, permanecendo relativamente constantes até o ano de 2030. Urge ressaltar que as metas do CARB incluem todas as emissões de gases de efeito estufa relacionados à operação e ao uso de veículos²³, não só o CO₂.

Reduções de emissões de GEE não relacionadas diretamente ao *powertrain* podem ocorrer através do uso de compressores mais eficientes e da diminuição dos vazamentos de gases refrigerantes nos sistemas de ar-condicionado. Veículos que utilizem combustíveis alternativos, incluindo a hibridização, podem gerar créditos para as montadoras (CARB, 2004, *apud* ICCT, 2007). Desde que as metas do CARB entraram e passaram a vigorar no estado da Califórnia, outros onze estados norte-americanos adotaram medidas equivalentes (ICCT, 2007).

Após a aprovação das novas normas para o CAFE pelo atual Governo de Barack Obama, o Estado da Califórnia concordou com o novo padrão federal para o período 2012 a 2016 – anulando, assim, as suas próprias metas. A partir de 2016, o padrão federal terá a mesma meta de eficiência energética que o padrão definido em 2004 para o Estado da Califórnia (SMITH, 2010).

²³ As emissões consideradas pelo CARB são: emissões de CO₂, CH₄, N₂O resultantes diretamente da operação do veículo; emissões de CO₂ e HFCS decorrente do uso do ar condicionado e do seu sucateamento e; emissões associadas com a produção do combustível utilizado pelo veículo.

2.9.5. Canadá

O programa da *Canada's Company Average Fuel Consumption* (CAFC), semelhante ao programa norte-americano CAFE, foi introduzido em 1976 para controlar o consumo de combustível da frota canadense de veículos leves. A CAFC ao contrário do CAFE, não distingue entre automóveis feitos no país ou importados. As metas de consumo de combustíveis traçadas pelo programa tem sido historicamente semelhantes às metas do CAFE e são voluntárias. Apesar de voluntário, historicamente os consumidores canadenses compram veículos mais eficientes que os consumidores norte-americanos, e com isso as metas são sistematicamente superadas²⁴ (ICCT, 2007).

Em 2000, o Governo do Canadá anunciou a sua intenção de interpor significativas melhorias nas emissões de GEE em um acordo voluntário com as montadoras. As negociações culminaram em 2005 com a assinatura de um Memorando de Entendimento (MOU) entre o governo e as montadoras. Sob o MOU, as montadoras se comprometeram a reduzir as emissões de GEE dos veículos em 5,3 MtCO_{2eq} por ano em 2010 em relação ao cenário de referência (MOU, 2005, *apud* ICCT, 2007). A meta de 5,3 MtCO_{2eq} por ano foi baseada em uma redução de 25% no consumo de combustíveis. Como o cenário de referência já inclui metas de reduções no consumo de combustível e emissões de GEE até 2010, esforços adicionais serão requeridos (ICCT, 2007).

Além das ações tomadas pelo governo central, algumas províncias canadenses têm também anunciados metas próprias de redução das emissões de GEE dos seus veículos motorizados. As províncias do Quebec, Columbia Britânica e Nova Escócia anunciaram planos para adotar padrões próprios em seus veículos novos, que são consistentes com as metas do programa CARB da Califórnia (ICCT, 2007).

²⁴ Enquanto o número total de veículos vendidos no Canadá aumentou mais que 50% entre 1978 e 2004, o consumo de gasolina cresceu apenas 10% (ICCT, 2007).

Em 1 de abril de 2009, o Governo do Canadá anunciou novas metas de emissões de GEE para os LDVs. As novas metas começam a vigorar para veículos ano-modelo 2011 até 2016. O governo canadense estima que as emissões médias de GEE dos LDVs atingirão, em 2016, 153 g de CO₂/km. Isso representaria uma redução aproximada de 20%, em relação à frota de veículos novos vendida no Canadá no ano de 2007 (CAFC, 2010).

2.9.6. Austrália

A Câmara Federal das Indústrias Automotivas (FCAI) australiana estabeleceu metas voluntárias para a redução do consumo específico de combustível dos veículos novos comercializados no país desde 1978. Apesar do programa não ter atingido as metas almejadas, as reduções nos níveis de consumo foram significativas entre 1978 e 1987 (WILLS, 2008).

Uma segunda meta voluntária foi criada em 1996, pelos Ministérios do Transporte e das Indústrias Primárias e Energia. Os objetivos de tal programa era de reduzir a média de consumo dos veículos leves da frota australiana, melhorando o desempenho para 8,2 L/100 km no ano 2000. Esse acordo vigorou até julho de 2001 (WILLS, 2008).

No ano de 2003, um novo acordo voluntário foi firmado entre a FCAI e o Governo da Austrália. Tal acordo previa redução do consumo médio da frota de veículos leves em 18% no ano de 2010, baseada no consumo médio da frota no ano de 2002. O acordo contemplou as 4 principais montadoras australianas que assinaram o acordo e, também, as maiores montadoras internacionais que atuam no mercado australiano. Assim como nos dois primeiros acordos, não existem penalidades para as montadoras por não atingirem as metas acordadas (ICCT, 2007; WILLS, 2008). O resultado é que as emissões de CO₂ da frota australiana de veículos leves declinou de 254,6 CO₂/km, em 2002, para 206,6 CO₂/km, em 2011. Isto significa que, em média, os LDVs novos são 20% mais eficientes do que eram no ano 2000 (FCAI, 2012).

2.9.7. Brasil

O Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), lançado em novembro de 2008, no Salão Internacional do Automóvel, na cidade de São Paulo, incluiu o Brasil na lista dos países que desenvolvem programas de eficiência energética e de uso racional de combustível em veículos, como EUA, Japão, Austrália, China, Canadá e os membros da União Europeia, dentre outros. A adesão dos fabricantes e importadores de automóveis ao programa brasileiro é renovado a cada ano, e, para participar, o fornecedor deve informar os valores de consumo energético de, no mínimo, 50% de todos os seus modelos previstos para comercialização, cuja previsão de venda anual seja maior do que duas mil unidades, quando produzidos no âmbito do MERCOSUL ou país que mantenha acordo automotivo com o Brasil, ou cem unidades quando importados.

No início de 2012 entrou em vigor a 4ª edição do PBEV, e a novidade foi o uso compulsório da etiqueta afixada em um dos vidros do automóvel para quem já entrou no programa. Os dados também ficam disponíveis na tabela publicada no site do Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) e do Conpet (Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural). Outra ação de apoio ao PBEV foi a publicação de portaria que estabelece que, caso empresas não participantes do PBEV façam declaração do consumo, isso deverá ser feito seguindo-se a metodologia do PBEV, ou seja, a medição do veículo pela Norma NBR 7024 e a aplicação dos mesmos fatores de ajuste. A partir de 15 de abril de 2012 qualquer informação de consumo que for divulgada pelo fabricante/importador em seus comerciais, *folders*, pontos de venda ou manuais deverão seguir esta regra. A partir de 2013, a etiqueta trará também as informações sobre as emissões CO₂. Assim como o selo A atesta a melhor eficiência energética na categoria, o selo E é a outra ponta da escala, para o menos eficiente.

A Tabela 2.4 mostra o ranking dos veículos mais vendidos no Brasil no ano de 2012 (até 15 de junho) e sua classificação de acordo com o PBEV.

Tabela 2.4: Ranking dos veículos mais vendidos no Brasil no ano de 2012 (até 15 junho) e sua classificação de acordo com o PBEV

Ranking de Vendas	Modelo	Versão	Ranking PBEV
1 ^o	Volkswagen Gol	Ecomotion	A
2 ^o	Fiat Uno	Mille Fire Economy	A
3 ^o	Fiat Palio	Fire Economy	B
4 ^o	Volkswagen Fox	–	–
5 ^o	GM Celta	–	–
6 ^o	Ford Fiesta	Sedan e Hatch	B
7 ^o	GM Corsa Sedan	–	–
8 ^o	Renault Sandero	Authentique e Expression	A
9 ^o	Volkswagen Voyage	1.0 L	B
10 ^o	GM Cobalt	–	–

Fonte: PBEV, 2012.

Entre os dez veículos mais vendidos no Brasil no ano de 2012, até 15 de junho, segundo o *ranking* nacional da Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE), quatro modelos de duas montadoras não fazem parte do PBEV, 3 modelos possuem classificação B e 3 modelos classificação A, sendo que dois estão entre os mais vendidos (o Gol Ecomotion e o Uno Mille Fire Economy). Contudo, entre os próximos 17 veículos mais vendidos no Brasil, nenhum deles recebeu classificação A (PBEV, 2012).

Oito montadoras participaram da edição 2012 do PBEV: Fiat, Ford, Honda, Kia, Peugeot, Renault, Toyota e Volkswagen. O consumo de combustível foi avaliado em 105 versões de 151 modelos, nas categorias subcompactos, compactos, médios, grandes, carga derivado, comercial e fora-de-estrada, SUV e minivans, estas duas últimas, estreantes (PBEV, 2012).

Enquanto a Kia foi a única montadora analisada que não recebeu nenhuma etiqueta de melhor consumo (selo A), a Renault e a Volkswagen obtiveram os melhores resultados. Cinco modelos da montadora francesa receberam selo A. As versões Authentique e Expression do Sandero, com motor 1.0 16V *flex* e câmbio manual, foram destaque entre os compactos. Versão equivalente do Logan também recebeu selo A, entre os carros médios, e o Fluence Dynamique 2.0 com câmbio manual também recebeu etiqueta A, entre os veículos grandes. O Duster, na mesma configuração, apresentou o menor consumo entre os modelos “*off-road*”, assim como o Renault

Kangoo apresentou o consumo mais baixo comparado aos outros veículos comerciais leves (PBEV, 2012).

Dos carros da Volkswagen, o Gol Ecomotion (versão 1.0 8V com câmbio manual) e o Polo Bluemotion 1.6 8V com transmissão manual, receberam classificação A na categoria compactos. A Saveiro 1.6 8V obteve melhor desempenho no segmento de comerciais leves, superando as picapes Fiat Strada e a Ford Courier. No segmento de compactos, os veículos Fiat Siena Fire 1.0 8V, Honda Fit equipado com motor 1.4 16V e o Peugeot 207 Hatchback 1.4 8V também receberam selo A (PBEV, 2012).

Entre os subcompactos, o Fiat novo Uno Evo 1.4 8V e o Uno Mille Economy 1.0 8V receberam selo A. O pior resultado, no entanto, foi registrado nas medições com outra versão também do novo Uno, a Attractive Evo 1.4 8V, que recebeu etiqueta D. Quando analisados os automóveis grandes, foram etiquetados como A o Ford Fusion Hybrid, o Honda Civic 1.8, o Renault Fluence e o Toyota Corolla 1.8 (PBEV, 2012).

Nenhum utilitário esportivo avaliado pelo programa foi classificado como A. O Ford Ecosport, no entanto, recebeu a etiqueta E de pior consumo na versão XLT FreeStyle 2.0 16V com câmbio automático. O mesmo carro equipado com transmissão manual recebeu letra D. Já na categoria fora de estrada, o Duster foi o destaque positivo (selo B) e o Kia Sorento 2.4 16V o negativo, com o nível mais alto de consumo e etiquetagem E (PBEV, 2012).

O PBEV apresenta muitos aspectos que necessitam melhorar para que o seu principal objetivo seja almejado, que é influenciar a decisão de compra de veículos mais eficientes por parte do consumidor: 1- Se tornar obrigatório para todas as montadoras e para todos os veículos da frota; 2- Obrigatoriedade de afixar a etiqueta com a sua respectiva classificação no ponto de venda e no veículo; 3- Ampla divulgação do programa por parte dos órgãos responsáveis do governo; e 4- Fim da faixa de tolerância entre as categorias do PBEV, por exemplo: carros subcompactos podem ser classificados na categoria dos compactos, os compactos podem ser classificados como médios, o mesmo acontecendo com estes em relação aos grandes. O

programa, com isso, perde credibilidade, na medida em que permite a manipulação, pelas montadoras, da classificação do veículo que será informada ao consumidor (SMITH, 2010).

Segundo Wills (2008), os consumidores devem ter pleno conhecimento que eficiência energética é um valor adicional do seu veículo, que deve ser levado em consideração no momento da escolha do veículo a ser comprado. Nesse sentido, um programa de comunicação e informação aos consumidores e ao mercado deve ser realizado a partir dos resultados de medições de consumo em cidade e em estrada – como indicativos de desempenho. Para maior alcance dos objetivos de tal programa de etiquetagem, devem ser explorados todos os meios de comunicação viáveis para a divulgação.

Cabe ressaltar que anteriormente ao PBEV, vigora no Brasil, desde 1987²⁵, o PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores), com o intuito de mitigar os impactos no meio ambiente e na saúde humana da frota de veículos automotores. O objetivo do programa não é aumentar diretamente a eficiência energética, mas reduzir os níveis de emissão de poluentes dos veículos, através do estabelecimento de limites máximos de emissões para categorias de veículos e incentivo ao desenvolvimento tecnológico nacional que propiciem a otimização do funcionamento dos motores e da combustão dos combustíveis. Uma das grandes contribuições do PROCONVE foi à obrigatoriedade da incorporação de catalisadores pelos veículos leves em 1992 e a injeção eletrônica em 1997 (AZUAGA, 2000).

Em 18 de julho de 1991, foi criado no Brasil o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) em consonância com as diretrizes do Programa Nacional de Racionalização da Produção e do Uso de Energia.

O CONPET no setor de transportes atinge apenas os veículos pesados, e possui como objetivo promover o aumento da eficiência no uso do óleo Diesel em ônibus e caminhões. Estudos realizados pelo CONPET mostram que uma economia mínima de 5% no uso de combustível é obtida quando pequenos ajustes são realizados para manter o veículo dentro dos

²⁵ Inicialmente para ônibus urbanos, e partir de 1º de janeiro de 1989, para os demais veículos ciclo Diesel.

padrões de capacidade. Correlata à economia de combustível, ocorre a redução de poluentes atmosféricos e de GEE. As ações do programa são desenvolvidas por meio de parcerias com sindicatos e federações de transportadores, secretarias estaduais e municipais de transporte e meio ambiente, entrepostos de carregamento ou distribuição de produtos, além de refinarias, terminais de abastecimento, postos de combustível e área de Engenharia da Petrobras. O CONPET também auxilia empresas e motoristas a participarem voluntariamente do programa a fim de reduzirem seus custos operacionais com combustível e atenderem às resoluções dos órgãos ambientais (CONPET, 2012a).

2.9.7.1. Inovar-Auto

No final de 2012, o Brasil lançou o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto). Esse Programa possui como objetivo apoiar o desenvolvimento tecnológico, a inovação, a segurança, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade dos veículos e das autopeças. O Inovar-Auto, começou a vigorar em 1º de janeiro de 2013 e será aplicado até 31 de dezembro de 2017, data em que cessarão seus efeitos e todas as habilitações vigentes serão consideradas canceladas (CONPET, 2012b).

Poderão participar montadoras já instaladas no Brasil bem como as que têm projeto de abrir novas unidades e as importadoras que apenas comercializam carros importados. Para ingressarem no Inovar-Auto, as empresas terão que se adaptar a alguns requisitos, em troca ganharão isenção percentual de até 30% no IPI (CONPET, 2012b).

Os requisitos para se habilitar ao programa são: melhorar ao menos 12% a eficiência energética média da sua frota de veículos comercializados no país; entre as etapas fabris de produção dos veículos, pelo menos seis delas deverão ocorrer no Brasil, devendo envolver, no mínimo, 80% dos veículos produzidos; empresas que não produzam, apenas comercializam carros no país, deverão se comprometer a importar veículos mais econômicos; realizar no Brasil

investimentos em pesquisas de engenharia e tecnologia industrial; e capacitar fornecedores e aderirem ao PBEV (CONPET, 2012b).

É digno de nota que o Inovar-Auto encerrou o seu primeiro mês de vigência (janeiro de 2013) com 33 empresas habilitadas no programa, como produtoras, importadoras e/ou investidoras.

2.9.8. Comparação entre os principais programas de eficiência energética veicular no mundo

Segundo Wills (2008), para os tomadores de decisão (*policy makers*) há uma variada gama de opções ao se planejar as metas de emissões de GEE para o setor de transportes. Essas metas podem ser únicas para toda a frota, ou segmentadas por tamanho, peso, potência do motor e classe do veículo. As metas podem ser voluntárias, ou obrigatórias e os tomadores de decisão devem também escolher o tipo de ciclo de testes que será utilizado no programa a ser implementado. A Tabela 2.5 resume os tipos de metas escolhidas por diversos países – incluindo alguns países que não constam nas análises realizadas nas seções anteriores.

Tabela 2.5: Comparação entre os programas de eficiência energética veicular no mundo

País/Estado	Início	Implementação	Parâmetro	Veículos	Critério
Austrália	1983	Voluntária	L/100km	Automóveis e Comerciais Leves	Tamanho
Brasil	2008	Voluntária	MJ/km	Automóveis e Comerciais Leves	Tamanho
Canadá	1976	Voluntária	L/100km	Automóveis e Caminhões Leves	Tipo
Califórnia	2002	Compulsória	gCO ₂ /milha	Automóveis e Comerciais Leves	Tipo
Cingapura	2005	Voluntária	km/L	Automóveis	Cilindrada
China	2005	Compulsória	L/100km	Automóveis	Peso
Coréia do Sul	2004	Compulsória	km/L	Automóveis	Cilindrada
EUA	1975	Compulsória	milhas/galão	Automóveis e Caminhões Leves	Peso
Japão	1998	Compulsória	km/L	Automóveis e Comerciais Leves	Peso
Nova Zelândia	2003	Voluntária	L/100km	Automóveis	Único
Reino Unido	2005	Voluntária	gCO ₂ /km	Automóveis e Comerciais Leves	Único
Taiwan	2001	Compulsória	km/L	Automóveis e Comerciais Leves	Cilindrada
União Européia	1998	Voluntária	gCO ₂ /km	Automóveis e Comerciais Leves	Único

Fonte: Alzuguir & Cordeiro, 2007, *apud* Wills, 2008.

O Brasil, através do PBEV, desde o final de 2008, possui o seu programa de EE voluntário, abrangendo apenas os veículos leves da frota, segmentando sua frota através do critério de tamanho do veículo. O parâmetro de comparação de eficiência energética utilizado é o de MJ/km, o que facilita na avaliação dos resultados de consumo de veículos utilizando combustíveis diferentes (WILLS, 2008) – portanto bem adequado ao mercado brasileiro de combustíveis. Com relação as emissões de CO₂, a Figura 2.11 compara as metas em gCO_{2eq}/km para os veículos leves da frota, a partir do ano de 2002. A fim de comparar fidedignamente os diferentes tipos de padrões utilizados pelos países selecionados, o padrão de cada país foi convertido em unidades de gramas equivalente de dióxido de carbono por quilômetro percorrido, de acordo com o ciclo de condução europeu (NEDC – *New European Drive Cycle*).

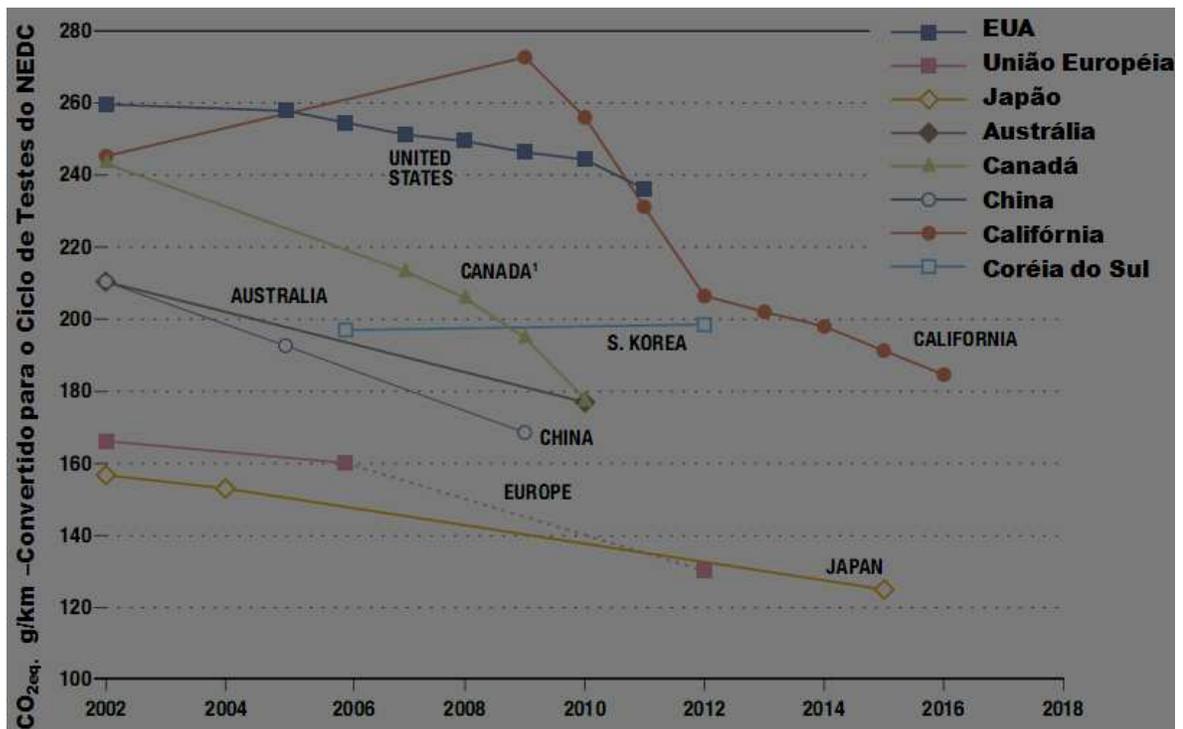


Figura 2.11: Comparação das metas de emissão de GEE – padronizadas

Fonte: ICCT, 2007

Nota: No Canadá a meta abrange também a frota antiga.

Pela análise da Figura 2.11, os países da União Europeia e o Japão são os que possuem metas de redução de GEE mais rigorosas. No ano de 2014, o frota de veículos leves novos japonesa terá um fator de emissão de GEE de 125 gCO_{2eq.}/km e a frota europeia de 130 gCO_{2eq.}/km já em 2012. Os EUA, que possuem a maior frota de veículos mundial, é o país que apresentará o fator de emissão de GEE mais alto, entre os países analisados, cerca de 240 gCO_{2eq.}/km. Já países como China, Canadá e Austrália possuem metas bem semelhantes, que, por sua vez, são intermediárias às metas japonesa e norte-americana. A Figura 2.12 mostra as metas atuais e projetadas entre 2002 e 2016 para novos veículos, normalizadas segundo o ciclo de testes padrão utilizado pelo programa norte-americana CAFE, em milhas por galão.

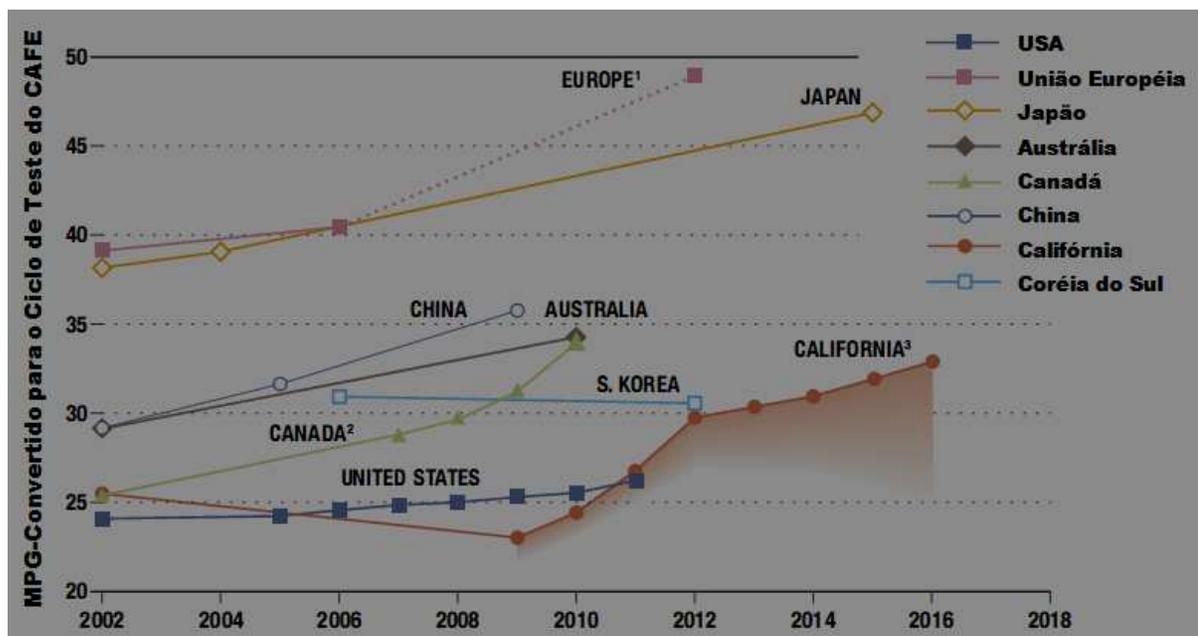


Figura 2.12: Comparação das metas de consumo de combustíveis – padronizadas

Fonte: ICCT, 2007.

Notas: [1] No Canadá a meta abrange também a frota antiga.

[2] A área sombreada sob a curva da Califórnia representa a incerteza relacionada às medidas de redução de emissões dos fabricantes.

Assim como as metas de emissão de GEE, a União Europeia e o Japão são os países que possuem também as metas mais restritivas para consumo de combustíveis da sua frota de veículos leves novos. Em 2002, o desempenho médio dos veículos no Japão e na Europa era de cerca de 40 milhas por galão (17 km/L). Os EUA é o país que apresenta o pior desempenho médio entre os países analisados, porém o estado da Califórnia apresenta as metas com maiores perspectivas de crescimento, mesmo ficando aquém da Europa e Japão (WILLS, 2008).

Urge ressaltar que a aparente discrepância entre o desempenho europeu e japonês, quando comparado o consumo de combustível e as emissões de GEE, é devido ao fato de na Europa os veículos ciclo Diesel serem largamente utilizados na frota de veículos leves. Os veículos ciclo Diesel são mais eficientes, porém o combustível óleo Diesel apresenta cerca de 10% mais carbono que a gasolina, o que explica a aparente discrepância citada.

2.10. Conclusões do Capítulo 2

O setor de transporte mundial é o setor econômico que apresenta o maior consumo de derivados de petróleo e também é o setor que apresenta o maior crescimento nas emissões de GEE. No Brasil, apesar do uso, em larga escala, de biocombustíveis, a situação do setor de transportes não é muito diferente do resto do mundo. Esse fato deve-se a grande demanda reprimida por bens de consumo que há no Brasil por ser um país emergente e que faz com que ano a ano as vendas de veículos automotores batam recordes, principalmente veículos particulares no setor de transportes de passageiros e de caminhões no setor de transportes de cargas. A predominância do uso do veículo particular em detrimento aos transportes coletivos acarreta em aumentos substanciais no consumo de combustíveis e nas emissões de GEE.

No setor de transporte rodoviário de passageiros, foco desse Estudo, enquanto o tamanho (peso) e potência dos veículos continuarem a aumentar, dificilmente as emissões de GEE vão declinar substancialmente. A aplicação de taxas/impostos mais altas conforme aumenta o tamanho (peso) e potência do motor traz resultados significativos, mas somente quando a diferença entre os impostos para automóveis mais eficientes for substancial (“pesar no bolso” do comprador de automóvel novo). Esse tipo de política, de fato, incentiva a compra de veículos mais leves e menos potentes; vide os resultados dos programas de EE chineses e japoneses. Medidas complementares para aumentar a eficiência e/ou diminuição das emissões de GEE dos veículos leves da frota podem incluir sistemas de monitoramento da pressão do pneu, indicadores para a mudança de marcha e o aumento do uso de biocombustíveis – assim como é realizado no programa da ACEA (União Europeia). Os resultados dos programas canadenses e australianos, revelam que acordos não obrigatórios de fixação de metas de emissões podem trazer resultados altamente positivos quando implementados conjuntamente com mecanismos eficientes de informação aos compradores de veículos. Programas que geram créditos para as montadoras quando um veículo supera as metas são também importantes nesse sentido.

Como foi analisado no presente Capítulo, medidas de mitigação do consumo de combustíveis, principalmente os de origem fóssil, é importante para o Brasil, não só em termos

ambientais (mitigação de poluentes e GEE), mas também em termos econômicos (para atenuar o déficit da balança de pagamentos do petróleo e derivados).

O próximo Capítulo analisa as principais medidas de mitigação do consumo de energia e emissões de GEE do setor de transportes através da ferramenta da engenharia de transportes chamada de gestão da demanda. Analisa também as influências das políticas públicas e dos instrumentos econômicos e de regulação direta no consumo de combustíveis e nas emissões de GEE no setor de transportes.

3. Gestão da demanda e as políticas públicas no setor de transportes

Quanto maiores os níveis de congestionamentos, maiores serão os níveis de consumo de combustíveis e, conseqüentemente, maiores serão as emissões de GEE. A gestão da demanda está relacionada diretamente ou indiretamente com uma maior fluidez do tráfego; portanto, medidas de gestão da demanda possuem potencial real de redução do consumo de combustíveis no setor de transportes. O presente Capítulo analisa, mesmo que sucintamente, as principais medidas de gestão da demanda por transportes. Analisa também a importância das políticas públicas – através de instrumentos econômicos, informação e regulação direta – que mitiguem o consumo de combustíveis e as emissões de GEE do setor de transportes.

3.1. Introdução

A partir da década de 1950, a importância do automóvel particular aumentou consideravelmente para a sociedade. A partir de então, o espaço urbano foi se moldando a ele, sem, contudo, haver controle na distribuição das atividades e nos níveis de adensamento do sistema viário, de modo a garantir os padrões de geração e atração de viagens adequadas (LANDMANN, 1994, *apud* CRUZ, 2006). A partir da década de 1970, o número relativo de viagens por automóvel cresceu acentuadamente em detrimento de viagens realizadas por ônibus, como consequência da prioridade das políticas de circulação que beneficiavam o transporte individual, que oferece maior flexibilidade e comodidade aos seus usuários, em relação aos meios de transporte coletivos (CRUZ, 2006).

O número de veículos em circulação está aumentando rapidamente, proporcionalmente ao aumento da população, aumento da riqueza, crescimento da atividade comercial, e provavelmente com a influência do estilo de vida internacional, no qual o automóvel é um elemento essencial.

Na maioria dos países em desenvolvimento, a taxa de crescimento da frota de veículos motorizados apresenta-se de forma acelerada (IEA, 2008b). Com isto, em grandes cidades dos países em desenvolvimento, os tempos de viagem são crescentes e a acessibilidade ao destino dentro de um tempo limite é decrescente (GAKENHEIMER, 1999).

No Brasil, a rápida expansão da frota veicular pode ser justificada por alguns aspectos, como estabilização econômica, mudanças na estrutura social, adoção de um planejamento baseado no transporte rodoviário e falta de investimentos em transporte coletivo (VIANNA *et al.*, 2004).

Como diversos estudos mostram, o crescimento da procura por mobilidade pessoal (carros, principalmente) em cenários tendenciais supera o potencial de redução de GEE através de soluções tecnológicas (WBCSD, 2004; IEA, 2008b; WWF, 2008). As medidas de melhoria da eficiência energética dos veículos geram economia de combustível e trazem benefícios líquidos para os veículos leves da frota. Contudo, o potencial global de mitigação torna-se reduzido, em razão do grande volume de veículos novos vendidos anualmente e também da influência de outras considerações dos consumidores, como motores mais potentes e modelos maiores repletos de “opcionais”. Não se espera, portanto, que as forças de mercado sozinhas, incluindo entre elas o aumento dos custos dos combustíveis, promovam reduções significativas de emissões de GEE no setor de transportes (IPCC, 2007b).

Vários autores enumeram os principais impactos negativos causados pelo amplo uso de veículos automotores em geral em áreas urbanas (BLESSINGTON, 1994; JONES & HERVIK, 1992; MAY, 1986, *apud* CRUZ, 2006): congestionamentos; acidentes de trânsito; poluição sonora; poluição atmosférica; aquecimento global; degradação da paisagem; degradação da qualidade de vida; desagregação comunitária e rompimento nos relacionamentos sociais; utilização de espaços públicos prioritariamente por veículos; desconforto geral no uso dos espaços públicos pelo pedestre; dentre outros.

Os problemas do uso do automóvel citados anteriormente são agravados pelo fato do automóvel ser o meio de transporte que mais prejudica o desempenho de toda a rede viária. É o

veículo com menor capacidade de transporte e maior grau de ocupação dos espaços de circulação. Com o aumento da participação dos automóveis no número total de viagens, inicialmente aumenta a densidade de automóveis nas vias principais e, posteriormente, nas vias locais (POYARES, 2000; WOOTTON 1999, *apud* CRUZ, 2006)²⁶, causando longos congestionamentos. Considera-se que, na maior parte das grandes e médias cidades, a capacidade viária não aumentará o suficiente para suportar os crescimentos atuais da frota de veículos (CRUZ, 2006). Isso ocorre pois os investimentos na ampliação do sistema viário possuem vida útil curta, uma vez que tais medidas atraem cada vez mais automóveis para a nova via (WOOTTON, *apud* CRUZ, 2006). Desta forma, as condições de tráfego e, conseqüentemente, o consumo de energia do setor de transportes pode e deve ser mitigada, aplicando-se medidas de gestão da demanda (POYARES, 2000).

A gestão da demanda por transporte engloba uma vasta gama de medidas com o objetivo de promover mudança significativa no modo, horário, rota ou destino final, resultando na redução do número total das viagens realizadas (MAY, 1986 *apud* CRUZ, 2006).

Envolve medidas de incentivo ao uso do transporte público, em detrimento ao uso ao transporte individual, (WOOTTON, 1999 *apud* CRUZ, 2006), incluindo medidas de incentivo ao transporte compartilhado e técnicas de restrição ao trânsito (POYARES, 2000). A gestão da demanda envolve também planejamento urbano e o fornecimento de informações e técnicas educacionais (que podem reduzir o uso de carros e promover um estilo eficiente de direção) (IPCC, 2007b). Essas medidas, em conjunto, possuem força suficiente para promover tanto a conservação de energia quanto a mitigação das emissões de GEE e de poluentes do setor de transportes (IPCC, 2007b), além, é claro, de diminuir os congestionamentos (POYARES, 2000).

²⁶ O resultado de uma pesquisa realizada pelo *National Travel Survey*, do Reino Unido, mostra que famílias que não têm acesso ao automóvel fazem em média 2,5 viagens por dia, enquanto famílias com um automóvel fazem em média 6,4 viagens. Isto implica a geração de 3,9 novas viagens por família. Quando a família adquire dois ou mais automóveis a mudança é ainda maior, uma vez que a média de viagens sobe para 8,7 por dia. "... parece pouco razoável admitir que as viagens resultantes de novas atividades geradas pela aquisição de um automóvel possam ser absorvidas pelas formas existentes de transporte público. As novas viagens representam 60% das realizadas por automóvel e não existiam quando o transporte público era mais eficiente do que no presente" (WOOTTON, 1999 *apud* CRUZ, 2006).

Muitas das opções de mitigação das emissões de GEE do setor de transportes, analisadas nesse Capítulo, no que tange à gestão da demanda por transportes, estão relacionadas, diretamente ou indiretamente, com uma maior fluidez do tráfego. Isso decorre do fato que, quanto maiores os níveis de congestionamentos, maiores serão os níveis de consumo de combustíveis (em unidade de energia por km percorrido) e, conseqüentemente, maiores serão as emissões de GEE (MAY, 1986, *apud* CRUZ, 2006).

3.2. Medidas Restritivas

Medidas de restrição ao trânsito podem ser definidas como aquelas que impõem restrição ao uso dos veículos, principalmente a do automóvel particular, modificando substancialmente o modo, horário, rota ou destino das viagens, visando com isso, diminuir o número de viagens para as áreas onde tais medidas são implementadas (LANDMANN, 1994, *apud* CRUZ, 2006). O uso de medidas de restrição ao trânsito pode, principalmente, contribuir para atenuar os congestionamentos, fato esse que diminui o consumo de combustível dos veículos (MAY, 1986, *apud* CRUZ, 2006). Quando aplicadas em conjunto com medidas de incentivo à utilização do transporte público e mudança do uso do solo, podem constituir uma política eficiente de mitigação dos congestionamentos (LANDMANN, 1994, *apud* CRUZ, 2006).

Urge ressaltar que a restrição ao trânsito nem sempre traz os resultados esperados pelos planejadores devido à alta resistência dos usuários de automóvel, que são afetados diretamente pela privação do uso do carro e do *status* que a posse do mesmo traz na sociedade (VIOLATO & SANCHES, 2001). Com isso, uma parcela importante da população tende a rejeitar qualquer medida que afete diretamente o uso do automóvel particular, apesar de reconhecer que a forma atual, dependente do uso do automóvel, é a principal causa do congestionamento, poluição do ar, acidentes e doenças respiratórias (WOOTTON, 1999 *apud* CRUZ, 2006).

A seguir, são descritas as principais restrições à circulação de automóveis (física, regulamentar e fiscal) e de estacionamento que possuem potencial pra mitigar os

congestionamentos, concomitantemente com a mitigação do consumo de energia e das emissões de GEE do setor de transportes.

3.2.1. Restrição Física

A restrição física é a limitação do espaço ou tempo disponível para movimento veicular em uma ligação, ou na malha viária. A restrição física pode ocorrer através do uso das células de tráfego, que são áreas da malha viária, delimitadas por obstáculos físicos na pista, onde há apenas uma entrada e uma saída aos veículos automotores. Em Barcelona (Espanha), foram implantados controles de acesso a uma área residencial durante os jogos Olímpicos de 1992, melhorando a disponibilidade de estacionamento em 15% (MILES *et al.*, 1998). Em Gotemburgo (Suécia), através do uso da célula de tráfego, houve redução de 48% do volume de tráfego (VTPI, 2002). Em Bremen (Alemanha), tal restrição reduziu o tráfego e incentivou significativamente o uso de outros modos de transporte, como as bicicletas (CRUZ, 2006).

Outra medida restritiva importante é a chamada *traffic calming* (ou moderação de tráfego), que compreende o uso de alterações no alinhamento horizontal da via, chamadas deflexões horizontais e elevações na seção da via, chamadas deflexões verticais, que diminuem a facilidade do fluxo de veículos; ou ainda pela ampliação das calçadas e implantação de áreas verdes, aumentando a facilidade de fluxo de pedestres (BARBOSA *et al.*, 2000). *Traffic calming* possui como objetivos alcançar uma melhor qualidade de vida nas cidades através da diminuição dos limites de velocidade em áreas urbanas específicas. Dessa forma, ocorre prioridade aos pedestres, bicicletas e transporte público, gerando diminuição do uso dos automóveis particulares (GTZ, 2001). Bons resultados com o *traffic calming* foram conseguidas nas cidades de Freiburg, Heidelberg, Berlim, Lübeck, Mainz, Münster e 10 outras cidades alemãs (GTZ, 2001).

Outra medida que impõe maior restrição aos veículos é a pedestrianização, que compreende zonas de exclusão do veículo pela implementação de calçadas em toda largura da via, tornando-a imprópria para a passagem de veículos (os chamados “calçadões”). Atualmente, quase todas as cidades na Alemanha tem uma zona de pedestres menor ou maior (GTZ, 2001).

Medida restritiva que também apresenta resultados positivos na melhora do trânsito é o chamado *ramp metering*. O *ramp metering* consiste na utilização de sinais luminosos de trânsito que regulam o acesso a vias principais. O conceito de *ramp metering* visa reduzir a perturbação da corrente de tráfego nas autoestradas pelas rampas de acesso (VIEGAS & MOURA, 2006) aumentando a eficiência dos veículos que já estão em movimento na via principal e incentivar a mudança modal (CRUZ, 2006). Os semáforos abrem o verde para um veículo de cada vez quando os sensores detectam folga na corrente de tráfego da pista da direita (“soluções inteligentes”) ou, nas soluções “semi-inteligentes”, a intervalos regulares em função da carga de tráfego medida na pista da direita da autoestrada (VIEGAS & MOURA, 2006). Com isto, é possível melhorar a utilização da capacidade na via principal, aumentando a eficiência dos veículos que já estão em movimento, reduzindo a extensão dos congestionamentos nas vias expressas e o tempo total de viagem, incluindo os tempos de espera no acesso. O *ramp metering* é utilizado há vários anos na França, Japão e EUA, onde são instalados nas rampas de acesso a autoestradas com fortes cargas de tráfego (VIEGAS & MOURA, 2006).

3.2.2. Restrição Regulamentar

A restrição regulamentar é o controle sobre a utilização do espaço viário, limitando o acesso a certos veículos em uma determinada ligação ou área, por meio de regulamentações. O controle regulamentar é mais flexível que o controle físico, podendo ser modificado com facilidade, conforme a necessidade (MAY, 1986 *apud* CRUZ, 2006).

A restrição regulamentar pode ser realizada através da hierarquização de tráfego (divisão de determinada área da malha viária em vias categorizadas pelo tipo de usuário ou tipo de veículo). Esta regulamentação pode ser acompanhada de restrição à velocidade. Cada categoria de via tem a mesma restrição imposta em todas as faixas e pode ser implementada homoganeamente ao longo de todo o dia ou em apenas determinados períodos, liberando o tráfego a outros usuários fora dos períodos de restrição (CRUZ, 2006). Um exemplo de hierarquização de tráfego foi aplicado em Bordeaux, na França, onde foi feita a hierarquização baseada em 3 categorias: 25%

da rede viária destinada ao trânsito de veículos automotores em geral; 25% da rede viária limitada ao transporte público e a veículos de entrega e; 50% da rede limitada a pedestres e ciclistas com a malha viária sendo reformulada paisagisticamente (CRUZ, 2006).

A redução dos limites de velocidade é também medida importante na conservação de energia e nas emissões de GEE, uma vez que os veículos em altas velocidades tem perda significativa da sua eficiência energética. Tomando por exemplo o Reino Unido, se as velocidades médias dos veículos se tornassem um pouco mais lentas, através da redução do limite de velocidade nas autoestradas para 60 mph ao invés de 70 mph, permitiria reduzir as emissões dos automóveis de 0,82 MtC ao ano, uma redução de cerca de 18%. O controle dos limites de velocidade na França nas principais autoestradas em 2004 conseguiu reduzir as emissões de carbono em 19% e de acidentes em 30% (HOUSE OF COMMONS, 2006).

Outro exemplo de restrição regulamentar são os chamados labirintos (regulamentações que permitem o movimento nas vias geralmente em sentido único, tornando o trânsito de passagem não atrativo) (MAY, 1986 *apud* CRUZ, 2006). O objetivo dos labirintos é transferir o trânsito de passagem de uma área para rotas orbitais que possuam vias com capacidade para absorvê-lo. Melhora, portanto, as condições do trânsito local, incentivando o uso de bicicletas e caminhadas.

Restrição regulamentar é importante também para dar agilidade aos ônibus. Isso é realizado através da implantação de faixas exclusivas, ou outra sinalização que favoreça o trânsito destes veículos. Já a *High-occupancy vehicle* (faixa de alta ocupação, ou, ainda, faixa solidária) é uma restrição que segrega os veículos na via, que compreende a regulamentação de uma faixa da pista, em determinado período do dia, para uso exclusivo por automóveis com no mínimo dois ocupantes, ônibus e micro-ônibus. Estas faixas visam promover a diminuição do número de veículos nas vias e diminuir o tempo de viagem para veículos com alta ocupação (WASHINGTON STATE, 2005). Outra restrição utilizada há anos no Brasil é a restrição por placas de licenciamento (rodízio). O rodízio é realizado pelo último dígito do número da placa de licenciamento do veículo. A cada dia, veículos com placa de determinado final estão proibidos de circular em uma área da malha viária. Esse tipo de restrição foi aplicado em muitas cidades, destacando-se Atenas, México e São Paulo.

3.2.3. Restrição Fiscal e Tarifação

A restrição fiscal é a cobrança pelo uso do espaço viário, utilizando o pagamento de taxa para tornar disponível o escasso espaço viário. A forma mais comum de restrição fiscal são os pedágios. Em anos recentes, tem ganhado importância os sistemas de tarifação rodoviária inteligentes. Sistemas de tarifação rodoviária inteligentes têm o potencial de redução da demanda de tráfego de automóveis, fomentar a mudança para o transporte público e assegurar a gestão nos horários de pico de congestionamento (GTZ, 2001).

Os mecanismos de preços diferenciados têm sido utilizados, como nos pedágios ao domingo à tarde ao norte de Paris (França), e nas tarifas de transporte coletivo variáveis em hora de ponta (mais elevadas) e fora de ponta (mais baixas), em Santiago (Chile) e Washington (EUA). São utilizadas também em algumas autoestradas nas regiões de San Diego (EUA) e Toronto (Canadá), com atualização em tempo real, e disponibilização da informação previamente (através da *internet*) e no momento da escolha do percurso (VIEGAS & MOURA, 2006). Londres é talvez o mais conhecido exemplo recente de uma cidade que vêm implementando um sistema de cobrança eletrônica (pedágio urbano) para veículos que entrem no distrito central de negócios. Há sistemas semelhantes existentes em Singapura, Estocolmo (Suécia), Milão (Itália) e várias cidades norueguesas. Pedágios eletrônicos em rodovias existem também na América do Norte e Europa (IEA, 2008b). Outro exemplo de restrição fiscal é a *high-occupancy toll*, sistema utilizado em estradas norte-americanas. A cobrança de pedágio por este sistema é feita em uma faixa da via, sendo que a tarifa é menor para os veículos com maior número de ocupantes.

Pesquisa perpetrada pelo IPPR (*Institute for Public Policy Research*), sediado no Reino Unido, mostrou que um aumento dos preços do sistema de tarifação rodoviária poderia reduzir as emissões de carbono provenientes do transporte rodoviário em até 8%, enquanto que a não cobrança do mesmo poderia aumentar as emissões em até 5% (HOUSE OF COMMONS, 2006). A *Social Market Foundation* (SMF), também do Reino Unido, entretanto, alegou que, desde 1990, o aumento das emissões nas estradas vem ocorrendo desproporcionalmente através de caminhões e SUV, portanto, uma das principais funções de um regime de tarifação rodoviária

deve ser a diferenciação entre o tráfego de mercadorias e o tráfego de veículos privados, entre os veículos menos e mais poluentes e entre caminhões pequenos e grandes (HOUSE OF COMMONS, 2006). A SMF citou um exemplo da Suíça, como a demonstração do potencial de tal sistema (HOUSE OF COMMONS, 2006). Os pedágios sobre caminhões na Suíça, na Áustria e na Alemanha são suficientemente elevados para influir na competitividade das empresas, pois ao incidirem sobre a capacidade do veículo (não sobre a sua ocupação em cada momento), forçaram os transportadores a melhorar a sua organização para poder transportar as mesmas toneladas com menos viagens (VIEGAS & MOURA, 2006).

Uma ferramenta importante para efetuar a cobrança dos pedágios inteligentes consiste na instalação dos *transponders* ou *electronic number plate* nos veículos. Esses aparelhos transmitem uma série de dados quando passam por sensores instalados no pavimento, identificando o veículo para a cobrança pelo uso da via. A cobrança eletrônica permite a alteração da tarifa ao longo do dia.

Urge ressaltar que ainda não é suficientemente claro as medidas tomadas como reação a cobranças por parte dos usuários. Podem tanto mudar seus horários de partida, suas rotas ou utilizar mais o transporte público. O importante é que qualquer das medidas escolhidas causará redução da demanda nos horários de pico (SPOCK, 1988, *apud* CAMPOS & MELO, 2005).

3.2.4. Restrição ao Estacionamento e rotatividade

Segundo TOPP (1995), a disponibilidade de áreas ou vagas para estacionamento encoraja o uso do automóvel em detrimento do pedestre e ao transporte público. O aumento da disponibilidade de áreas para estacionamento resulta em aumento do fluxo de veículos particulares para determinada localidade. O objetivo principal das políticas de restrição ao estacionamento é otimizar o uso dos espaços existentes, tanto para estacionamento como para o trânsito, diminuindo o fluxo de veículos (TOPP, 1995). A restrição física ao estacionamento consiste no controle sobre a oferta de vagas, pela diminuição do número de vagas. É uma forma

efetiva de controle, pois ocorre um desincentivo do uso do veículo particular (MAY, 1986 *apud* CRUZ, 2006).

A restrição ao estacionamento pode ser também do tipo regulamentar, onde o controle sobre o uso das vagas limita o horário, a duração dos estacionamentos ou o tempo de permanência na vaga. Em Salsburgo (Áustria), onde foi aplicado este tipo de restrição, a rotatividade das vagas aumentaram de 6 para 8,5 automóveis por dia e o tráfego na área afetada teve um decréscimo de 5,5%, em virtude da redução de procura por vagas (TOPP, 1995). A cobrança pelo estacionamento pode também influenciar na mudança do uso do solo. Em pesquisa realizada na Nova Zelândia, muitos motoristas preferiam evitar dirigir se tivessem que pagar para estacionar (Auckland – 15% e Wellington – 23%), incentivando o uso de outro modal e do transporte público (O’FALLON *et. al.*, 2004, *apud* CRUZ, 2006).

Existe ainda o incentivo ao uso de estacionamento periférico, chamado *Park and Ride* (semelhante a um “bolsão” de estacionamento) que, apesar de não ser uma restrição, pode ser um instrumento auxiliar na política de estacionamentos (MILES *et al.*, 1998). Neste sistema, motoristas são incentivados a estacionar seus veículos em locais próximos a linhas de ônibus, metrô e trem, por exemplo.

3.3. Priorização dos transportes públicos

Em qualquer área urbana, praticamente todas as viagens são realizadas através de automóveis, ônibus, metrôs, motos, bicicletas ou a pé. Essas escolhas possuem características muito distintas em termos de rapidez, custo, conforto e uso da energia. Uma série de fatores influencia o modal utilizado para o transporte de passageiros. A densidade populacional e a infraestrutura viária disponível são elementos importantes na escolha, pelo passageiro, do modo de transporte (IEA, 2008b). Outros fatores também importantes são: conforto, oferta de transporte público, tempo de viagem, segurança, acessibilidade e facilidade de estacionamento (LANDMANN, 1994 *apud* CRUZ, 2006).

Cidades com altas participações de viagens não motorizadas e de transporte público geralmente possuem menor consumo de energia per capita no setor de transportes do que cidades que são mais dependentes do carro (IEA, 2008b). Cidades que investem fortemente em sistemas de transporte público e na manutenção ou melhoria da infraestrutura para caminhada e ciclismo, juntamente com um minucioso planejamento territorial e outras medidas complementares, tendem a manter muito mais elevadas participações dos modos mais eficientes do que as cidades que investem fortemente em expansão da infraestrutura rodoviária (IEA, 2008b).

Há uma vasta gama de combinações modais nas cidades ao redor do mundo. Em Hong Kong (China), por exemplo, mais de 80% das viagens são feitas tanto pelo transporte público (por exemplo, ônibus e metrô), ou por modais não motorizados (caminhada ou bicicleta) (IEA, 2008b).

Quando avalia o impacto do transporte público na redução efetiva das viagens por automóvel, estudo realizado por Holtzclaw (1994) no distrito de Manhattan (Nova Iorque – EUA), mostrou que um motorista dessa região dirigia 46% a menos se comparado à um motorista morador do subúrbio, e que apenas 20% dos moradores do distrito de Manhattan possuíam carros. Neste caso ocorreu a migração do modo automóvel para o transporte coletivo e/ou táxis.

O uso de faixas exclusivas e/ou vias exclusivas para ônibus é uma opção de incentivo ao transporte público utilizada em várias cidades. Em julho de 2010, iniciou o funcionamento de 36 paradas e estações de transferência que formam um dos corredores de ônibus mais úteis da Grande São Paulo: o Corredor Metropolitano Diadema-São Paulo. Ao longo de seus 12 km de extensão, a viagem nesse corredor ocorre de forma mais rápida, em relação às faixas paralelas a esse corredor. Isso ocorre, pois esse corredor é exclusivo para ônibus comuns, e possui capacidade para transportar mais de 85 mil pessoas por dia (EMTU, 2011). Em Curitiba houve uma demonstração real das possibilidades do uso dos transportes urbanos públicos de passageiros em detrimento ao uso do automóvel. As medidas tomadas incluíram planejamento do espaço urbano, prioridade para os ônibus em corredores-chaves, e integração física para a compra de passagens dos ônibus maiores que trafegam em faixas exclusivas com ônibus menores que trafegam fora dessas faixas por toda a cidade. Tais medidas resultaram na redução de cerca de

25% no consumo de combustível por automóvel, em relação a outras cidades de porte parecido (INEE, 1998). Outras opções semelhantes às faixas exclusivas de ônibus referem-se ao uso do monotrilho²⁷ e do trólebus²⁸.

3.3.1. BRT – Bus Rapid Transit

Até o final do ano de 2012, havia 13 projetos do Tipo BRT (*Bus Rapid Transit*), aprovados como projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) na UNFCCC (Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças do Clima), sendo 5 na Colômbia, 4 no México, 3 na China e 1 na Guatemala. Todos os 13 projetos aprovados possuem como aspecto ambiental principal, gerar uma maior eficiência no transporte de passageiros, reduzindo, assim, o nível de emissões por passageiro transportado. Essa redução é alcançada, pois ao se implantar o sistema BRT, reduz-se o uso de ônibus tradicional, táxis, carros e motos – quando comparado com a situação da inexistência do projeto (UNFCCC, 2012).

O primeiro projeto de BRT aprovado como MDL foi o BRT Bogotá, também chamado de TransMilenio, em dezembro de 2006. Os BRTs são veículos muito semelhantes aos ônibus convencionais, porém é o sistema BRT que o torna muito mais eficiente. Os principais aspectos que compõem o TransMilenio e os demais projetos do tipo BRT são: 1- Um melhor sistema de gestão de transporte por ônibus, evoluindo de um cenário nas quais muitas pequenas empresas competem entre si disputando passageiros ônibus a ônibus, para outro no qual um sistema consolidado irá controlar a concessão de operação por áreas; 2- Racionamento da frota de ônibus existente, aumentando a taxa de ocupação do sistema remanescente; 3- Pagamento antecipado da tarifa, o que agiliza sobremaneira o embarque; 4- Construção de uma nova infraestrutura viária consistindo de linhas exclusivas para ônibus de alta capacidade de transporte de

²⁷ Trata-se de tipo de metrô leve, que utiliza pneus ao invés das tradicionais rodas de ferro utilizadas pelo metrô. O monotrilho trafega sobre um trilho único, metálico ou de concreto. Esses trens são mais leves e silenciosos que os do metrô, e atingem velocidade de até 80 km/h. A zona Sul da cidade de São Paulo vai receber essa nova modalidade de transporte. Serão 34 quilômetros do novo sistema.

²⁸ Trólebus é um ônibus movido a eletricidade. Similar aos ônibus convencionais, roda por meio de pneus de borracha e não sobre trilhos, como o fazem a maioria dos veículos elétricos (como trens ou bondes).

passageiros; e 5- Controle centralizado da frota, permitindo monitoramento, comunicação e respostas em tempo real para contingências (UNFCCC, 2006).

No ano de 2009 foi desenvolvido um sistema do tipo BRT na cidade indiana de Ahmedabad (população de cerca de 5,5 milhões de habitantes), e que possuía um sério déficit no seu sistema de transportes. Batizado de “Janmarg” ou “caminho do povo”, começou a operar em outubro de 2009, crescendo de iniciais 12 quilômetros de percurso para atuais 45 quilômetros. O número de passageiros também cresceu, de 18 mil por dia, no início, para cerca de 130 mil, atualmente. A rede do referido BRT foi planejada de forma a garantir que praticamente toda a cidade esteja no roteiro do projeto. O BRT de Ahmedabad tornou-se a espinha dorsal do transporte público na cidade, melhorando a vida de milhões de pessoas e ganhando, inclusive, diversos prêmios, entre eles o *Momentum for Change Initiative* da UNFCCC (UNFCCC, 2013).

3.4. Modais não motorizados - ciclistas

A Holanda é um dos países da Europa que mais utilizam bicicletas como meio de transporte, com cerca de 27% do total das viagens realizadas, com destaque para a cidade de Houten (HOUSE OF COMMONS, 2006). Já a Grã-Bretanha tem uma das taxas mais baixas de uso de ciclismo da Europa, com apenas 2% do total das viagens realizadas (HOUSE OF COMMONS, 2006). Na Alemanha, mais de 30% de todas as jornadas diárias são realizadas a pé ou de bicicleta. Apesar disso, esses meios de locomoção são frequentemente negligenciados pelo poder público local. Apesar de todas as adversidades (contínua deterioração das condições para os pedestres e os ciclistas na maioria dos ambientes urbanos), a quota destes dois meios de transporte atingiu mais da metade dos deslocamentos dos cidadãos urbanos na cidade de Münster (53%) (GTZ, 2001). O Relatório do Ministério dos Transportes Alemão revelou que, na Alemanha, a bicicleta é um meio de transporte popular de uso diário, sendo que os principais objetivos do uso da bicicleta são para fazer compras (29%), movimentos pendulares (migrações diárias) (19%) e para fins educacionais (14%) (GTZ, 2001).

A bicicleta é a melhor relação custo-benefício de todos os modos de transporte urbano e medidas de suporte para o tráfego de bicicletas não requerem altos investimentos, mas, via de regra, para os decisores políticos e planejadores de tráfego, as bicicletas possuem somente a finalidade de lazer ou esporte (GTZ, 2001). Melhoras significativas no tráfego urbano poderiam ser conseguidas através da transferência das viagens curtas do carro para a bicicleta. O potencial é grande, conforme ocorreu em várias cidades na Alemanha e Holanda – principalmente (GTZ, 2001). Segundo algumas estimativas, cerca de 30% de todas as viagens de automóveis nas áreas metropolitanas alemãs podem ser transferidas para bicicletas (GTZ, 2001). Portanto, o potencial de transformação da bicicleta é superior até dos transportes públicos. Em Munique (Alemanha), o tráfego de bicicletas mais que dobrou nas últimas duas décadas (de 6% em 1976 para 13% em 1997), e em Freiburg a participação das bicicletas aumentou no mesmo período, de 11% para 18% (GTZ, 2001). Estes números demonstram claramente o potencial de mudanças para modos de transporte não motorizados, desde que hajam consistentes estratégias de fomento ao uso de bicicletas. No oeste alemão, cerca de 6% de todos os deslocamentos realizados através de automóveis não atingem um quilômetro e 40% do total de deslocamento realizados por carros não excedem 5 km (GTZ, 2001). A importância das bicicletas como meio de transporte regular nas cidades decorre do fato que, em média, as viagens estão se tornando cada vez mais curtas, enquanto os respectivos tempos de deslocamento são crescentes. Comparando a média de tempo total de deslocamento em situação real de tráfego urbano, a bicicleta é a modalidade de transporte mais rápida para viagens inferiores a 6 km (GTZ, 2001).

No caso da cidade alemã de Münster, o nivelamento do terreno, e a elevada participação de alunos na população ajudaram a popularizar o uso das bicicletas, e a ampliação subsequente da infraestrutura cicloviária. Münster tem uma densa rede de ciclovias ao longo de todas as ruas principais e um anel viário exclusivo para bicicletas em torno do centro histórico. Algumas ruas no centro de Münster privilegiam totalmente o uso das bicicletas, e são chamadas de "ruas de bicicleta". Para os automóveis particulares, é permitido circular apenas em velocidade de bicicleta. O fato de privilegiar o ciclismo em detrimento dos carros oferece aos ciclistas trajetos curtos sem desvios. Boas experiências iguais a Münster acontecem em muitas outras cidades

holandesas (GTZ, 2001). Münster foi também uma das primeiras cidades na Alemanha a estabelecer as chamadas eco-pistas, ou seja, ônibus combinado a pistas de bicicleta (GTZ, 2001).

Outro ponto que auxilia na expansão do uso de bicicletas em detrimento de veículos particulares são as chamadas Estações de Bicicleta. Estações de bicicleta têm como objetivo facilitar a utilização combinada de transporte ferroviário e de bicicleta. Uma dessas estações de bicicletas foi inaugurada na estação principal da cidade alemã de Freiburg (com pagamentos diários, mensais ou anuais com desconto) e foi denominado de "Mobile". A Estação de Bicicletas "Mobile" oferece serviços adicionais tais como: informações sobre viagens para a cadeia de transporte integrado; venda de bilhetes integrados para os trens e os ônibus; reserva e aluguel de carros; e estacionamentos. Com altos investimentos (cerca de 40 milhões de marcos alemães) entre 1976 e 1996, Freiburg criou um sistema extensivo de ciclofaixas (29 km em 1972 e 160 km em 1995) e parque de estacionamento, os quais são adaptados totalmente às necessidades dos ciclistas. A recompensa a esta política é que a cidade apresenta nível muito baixo de utilização do automóvel, apenas cerca de 39% das viagens diárias (GTZ, 2001).

Outra estratégia bem sucedida para melhorar o uso da bicicleta é a criação de uma rede de hetero ciclovias. Estas rotas servem para interligar importantes lugares e destinos do tráfego de bicicleta (escolas, escritórios, distritos industriais). Transporte ferroviário suburbano e estações de metrô devem ser conectados diretamente a essas hetero ciclovias. Munique aplica integralmente essa rede de rotas ciclísticas no seu espaço urbano. Onze rotas são completamente funcionais desde 2000 (GTZ, 2001).

Paris lançou no ano de 2007 o chamado *Velib* – sistema de aluguel de bicicletas, disponível em centenas de locais da cidade. Depois de algumas semanas do início do programa, dobrou a quota de viagens de bicicletas na cidade (cerca de 1,5% a 3% das viagens). Havia 20 mil bicicletas disponíveis em quase 1.500 estações (com no máximo 300 metros de distância), o *Velib* possui cerca de 100 mil usuários por dia. Lyon (França) e Barcelona têm sistemas semelhantes, e muitas outras cidades estão planejando implementar programas semelhantes (IEA, 2008b), incluindo Rio de Janeiro e São Paulo – já implementados ainda que timidamente.

3.5. Políticas Públicas de Planejamento Urbano

Políticas de planejamento urbano adequadas devem incluir medidas específicas para reduzir as necessidades de deslocamentos. Uma das medidas mais eficazes para mitigar as emissões de GEE provenientes dos transportes rodoviários é reduzir a dependência do uso do automóvel através de regulamentação e planejamento urbano (IPCC, 2007b).

Mudanças no comportamento das viagens por parte da população são muitas vezes resultado de mudanças políticas mais amplas de "ordenamento territorial". Uma premissa básica do planejamento dos transportes é a de que usos diferentes do solo geram padrões de viagens diferentes (CAMPOS & MELO, 2005). A acessibilidade dada pelo transporte é considerada como uma variável importante para diferentes tipos de uso do solo, pois é um fator essencial para localização de lojas de varejo, escritórios e residências. Locais com alta acessibilidade tendem a ter um desenvolvimento mais rápido que outras áreas que possuem menos acessibilidade (LAUTSO *et al.*, 2004).

Muitas vezes a política de planejamento urbano é focada em interesses locais. Por exemplo, a construção da infraestrutura viária é muitas vezes favorecida apesar dos seus impactos altamente negativos sobre o meio ambiente, por causa do seu potencial benefício econômico local (WWF, 2008). Isso é causado por obstáculos relacionados à falta de uma liderança forte dos decisores políticos, juntamente com o foco no curto prazo (que é o que traz maiores benefícios políticos, como votos) e apoio público insuficiente. No entanto, há exceções, como mostram as taxas de congestionamentos declinantes no centro urbano de Londres, mostrando que uma liderança governamental forte pode levar a iniciativas que combatam o crescimento insustentável da procura por mobilidade. A introdução da cobrança de pedágio no centro de Londres apresentou resultados altamente positivos, apesar do recente aumento dos níveis de congestionamento (WWF, 2008).

No ano de 2004, o Departamento de Transporte do Reino Unido, apresentou uma série de opções para reduzir o uso de automóveis. As principais opções apresentadas foram: incentivos a

regimes de deslocamentos que promovessem modos de transporte de baixo carbono, concomitantemente desestimulando o uso do carro; planejamento de viagem para indivíduos e famílias, mostrando como eles poderiam se beneficiar se fizessem muitos dos seus trajetos diários através de caminhadas, ciclismo, opções de transporte público e caronas (HOUSE OF COMMONS, 2006).

De modo geral, qualquer tipo de medida que reduza o uso do carro tem impactos positivos sobre o tráfego de pedestres. Por isso, o ordenamento do território, medidas de *traffic calming*, incentivo ao uso de transporte público, uso de modais de baixo carbono, caronas programadas, etc. devem ser encaradas como medidas de prioridade para aumentar o tráfego de pedestres (WWF, 2008; HOUSE OF COMMONS, 2006). Enquanto houver fornecimento de capacidades adicionais de estradas a demanda por transporte motorizado continuará crescente e o déficit de mobilidade permanecerá, mesmo a despeito de melhoras nas condições de tráfego no curto prazo. Portanto, o simples fornecimento de infraestrutura adicional não é a resposta no longo prazo.

Até o momento as causas do problema da mobilidade (ou mais precisamente, da falta dela) não têm sido atendidas de forma adequada, apesar dos numerosos estudos, modelos e propostas apresentadas. Portanto, a conformação atual de cidades dos países em desenvolvimento, impõe um novo desafio aos planejadores de transporte, relacionado à definição e implantação de modelos alternativos que atendam à meta da sustentabilidade urbana (AMPT & WILLUMSEN, 2001). Surge a necessidade de maior informação, comunicação, organização e coordenação entre os diferentes atores, na tentativa de estabelecer uma nova consciência coletiva sobre o desenvolvimento urbano, o transporte e a mobilidade, necessários para garantir uma melhor qualidade de vida nas cidades (CASTRO, 2006).

3.5.1. O uso do solo e o consumo de energia do setor de transportes

Segundo Costa (2001), a ocupação desordenada do solo urbano traz como consequência negativa direta um aumento no consumo da quantidade de energia (combustíveis) nas viagens dentro das cidades. Outro aspecto do planejamento urbano que também afeta a quantidade de

energia utilizada nas viagens urbanas é a dispersão espacial das atividades urbanas mais usuais da sociedade, como o trabalho, estudo, compras e lazer, por exemplo (COSTA, 2001). Tais deslocamentos devem ser restringidos, na medida do possível, já que estes deslocamentos “adicionais” são responsáveis por perda de tempo da população em geral, e por um aumento do consumo de combustíveis e das emissões de GEE e demais poluentes atmosféricos (COSTA, 2001).

Segundo Castro (2006), o cerne do problema da diminuição da mobilidade nos centros urbanos está na relação de sustentação mútua que existe entre o espaço urbano construído e o veículo particular, onde parte considerável da população foi influenciada a pensar que a melhor opção de mobilidade ocorre pelo automóvel. A ideia da posse do automóvel particular como elemento de *status* social mais do que um meio de transporte, também ajuda a agravar o problema. Esse pensamento foi herdado do modelo de crescimento espacial conhecido como *urban sprawl* (cidade espalhada), iniciado nas cidades norte-americanas (VTPI, 2004, *apud* CASTRO, 2006). Tal modelo tem levado a que boa parte da população dependa do automóvel para realizar suas viagens, já que as opções de outras modalidades alternativas de transporte são bastante reduzidas (CASTRO, 2006). Paralelamente também se realiza a proposta espacial do modelo *smart growth* (cidade inteligente – compacta), a antítese do modelo *urban sprawl*, de forma integrada às medidas associadas ao conceito de gerenciamento da demanda (VTPI, 2004, *apud* CASTRO, 2006). Para ilustrar a diferença de consumo de energia no setor de transportes entre os diferentes tipos de cidades (*urban sprawl e smart growth*), a Figura 3.1 compara o uso de energia (gasolina) per capita de 32 cidades ao redor do mundo em relação à sua densidade urbana.

A Figura 3.1 revela claramente que existe uma forte correlação positiva entre densidade urbana e consumo de combustível veicular. Quanto mais “espalhada” for a população de uma cidade, maior será seu consumo per capita de gasolina. Segundo Newman & Kenworthy (1989, *apud* COSTA, 2001), políticas de planejamento físico, com destaques para reurbanização e reorientação das prioridades nos sistemas de transporte, são opções eficientes para reduzir o consumo de combustíveis e diminuir a dependência do automóvel particular. Nesse sentido, a reurbanização seria uma intensificação das atividades urbanas dentro da área existente, ao invés de uma urbanização em novas áreas verdes da periferia das cidades (COSTA, 2001). A

reorientação dos sistemas de transportes seria feita através de incentivos ao transporte coletivo e de meios de transportes não motorizados, através do aumento da oferta da rede de infraestrutura para esses modos de transportes alternativos (COSTA, 2001).

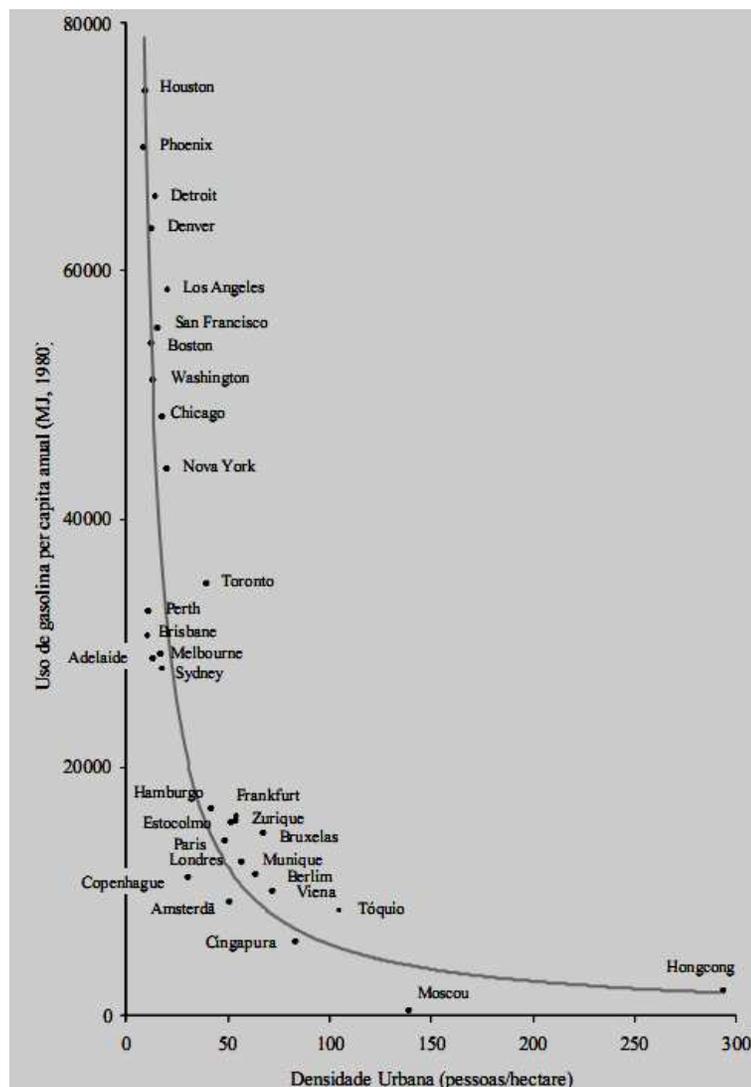


Figura 3.1: Uso de energia per capita anual versus densidade urbana

Fonte: Adaptado de Newman & Kenworthy (1989, *apud* Costa, 2001).

Em outro estudo, Newman & Kenworthy (1999, *apud* COSTA, 2001) demonstram que o transporte coletivo tende a contribuir para uma ocupação mais racional do solo, favorecendo o adensamento populacional, a concentração de comércio e serviços, tendo como resultado economia de combustível por passageiro transportado.

Diante do exposto, o planejamento físico das cidades mostra-se como uma alternativa com potencial para racionalizar o consumo de energia do setor de transportes (COSTA, 2001). Como foi analisado, é muito importante a relação densidade urbana com economia de energia. Com isso, uma zona urbana pode gradualmente reformular seus padrões de transporte, desenvolvendo áreas e centros mais densos, com uso do solo mais misto e mais orientado ao transporte público e aos modos não motorizados como forma de economizar energia e melhorar o trânsito (KENWORTHY & LAUBE, 1999, *apud* COSTA, 2001). Newman & Kenworthy (1989, *apud* COSTA, 2001) traçaram ainda o perfil de uma cidade hipotética de baixo consumo de gasolina. Esta cidade deveria ser compacta, com um forte centro, intensivamente ocupado por pessoas e empregos, que viabilizasse mais viagens com transporte público, a pé e de bicicleta. Políticas relacionadas a preços de automóveis e eficiência dos veículos (chamadas de “*hard*” políticas) também foram destacadas como importantes, mas deveriam ser aplicadas concomitantemente às relacionadas ao planejamento físico (chamadas de “*soft*” políticas)²⁹. Dessa maneira, os autores sugeriram como medidas para economizar combustível: aumentar a densidade urbana; fortalecer o centro da cidade; intensificar o uso do solo nas proximidades do centro; proporcionar um transporte público com bom nível de serviço; e restringir a construção de infraestrutura voltada ao automóvel.

3.6. Mudança Comportamental

A redução da demanda através do conceito "evitar viagens" geralmente não faz parte do “mix” de soluções para se atingir uma mobilidade sustentável do *mainstream* (WWF, 2008). Embora “evitar viagem” tenha grande potencial para reduzir uma grande parte do impacto ambiental causado pela mobilidade, a pressão para que cada vez mais pessoas viajem é maior, especialmente nos países em desenvolvimento, onde ainda se encontram baixas taxas *per capita*

²⁹ As políticas de transporte rodoviário são geralmente classificadas em: 1- “*Soft*” Políticas – Fatores que afetam a forma das pessoas de conduzir seus veículos ou escolher o modal – principalmente através de medidas de gerenciamento da demanda; e 2- “*Hard*” Políticas – Fatores que afetam os combustíveis e as tecnologias dos veículos, incluindo impostos e incentivos para impulsionar a aceitação pelo mercado de tecnologias mais sustentáveis (GTZ, 2001; HOUSE OF COMMONS, 2006).

de propriedades de veículos, fato esse que gera uma grande demanda reprimida por transporte individual (relacionado também a copiar estilos de vida dos países ocidentais desenvolvidos) (IEA, 2008b). A mobilidade sustentável, portanto, dificilmente será alcançada sem que os atuais paradigmas sejam questionados e mudados (WWF, 2008). Nesse contexto, ferramenta muito importante para essa mudança de paradigma é a educação/informação da população.

Outro aspecto importante na economia de energia do setor de transportes e geralmente negligenciada é a chamada condução econômica. Consiste na condução que vise o deslocamento do veículo com recurso à menor quantidade de energia, com o menor desgaste mecânico e com o menor impacto ambiental. A condução econômica depende de alguns factores fundamentais: estilo de condução; escolha do percurso; evitar acelerações e freadas bruscas; configuração do veículo; manutenção do veículo e boas práticas (IMTT, 2010).

Outra opção importante no conceito de diminuição do uso do carro, além das já apresentadas nesse estudo, como a mudança para modais menos energo-intensivos (metrô, trem, bicicleta, caminhada, ônibus, metrô) é o uso de carona e do programa *car share* (ou *car sharing* – carro compartilhado). O uso do *car share* mostra-se como solução ideal para a parcela da população que não se importa em dirigir um carro que não é seu. Nesse sistema, os veículos de plantão podem ser reservados por telefone e internet, 24 horas por dia. A combinação do transporte público e o *car share* é uma das mais eficientes formas de mobilidade disponíveis atualmente. Até 57% da energia é economizada e menos “carga” é colocada sobre a infraestrutura (GTZ, 2001). No final de 2009, esse sistema começou a ser implementado na cidade de São Paulo pela empresa Zazcar.

3.6.1. Importância do pensamento sistêmico

Trabalhar para a mudança sistêmica³⁰ é uma das maiores e mais importante questões no que diz respeito à sustentabilidade, tanto no setor de transportes quanto nos demais setores

³⁰ O pensamento sistêmico ou holístico é uma nova forma de abordagem que compreende o desenvolvimento humano sobre a perspectiva da complexidade. Para percebê-lo, a abordagem sistêmica lança seu olhar não somente para o

econômicos. A aplicação do pensamento sistêmico na questão da mobilidade ajuda a evitar soluções rápidas – que com o passar do tempo se tornam armadilhas, pois muitas soluções, a princípio atraentes em curto prazo, acabam aumentando a demanda no longo prazo.

Um bom exemplo para ilustrar é o impacto de novas estradas e melhorias de infraestrutura. Estes são muitas vezes aplicados em resposta ao tráfego lento e ao aumento dos níveis de congestionamento. A adição e/ou ampliação de novas rotas é a medida mais comum adotada para resolver o problema dos congestionamentos. Mas, embora no curto prazo a construção de uma nova via provoque o efeito desejado de aliviar o congestionamento, no longo prazo essas mesmas novas vias levam a um aumento da demanda, e após algum tempo (*delay*), o congestionamento reaparece ainda maior (pois “surgem” mais carros) (WWF, 2008). Estudos têm demonstrado que, após o período de cerca de três anos, entre 50% e 100% da capacidade adicional da estrada é, posteriormente, preenchido com tráfego induzido (WWF, 2008). A mudança sistêmica requer abordagens de colaboração entre diferentes *stakeholders* para criar soluções eficazes. Por exemplo, no caso do problema de congestionamentos constantes em determinada área, formuladores de políticas públicas poderiam trabalhar com as empresas através da promoção de incentivos financeiros para os transportes públicos ou *home office*, a fim de reduzir a necessidade de viagens. Outros comportamentos sistêmicos que impactam positivamente o tráfego é o uso de serviços do tipo *delivery* (entrega em domicílio) e video conferência (para reuniões).

Para alcançar tais soluções é fundamental que empresas e a sociedade avaliem criticamente as suas funções e responsabilidades. Nesse sentido, uma coalizão de atores pode auxiliar na mitigação desses desafios de mobilidade – ou mais especificamente, da falta dela.

indivíduo isoladamente, considera também seu contexto e as relações aí estabelecidas. Resumindo, é pensar no todo e não apenas na parte.

3.7. Tecnologias da Informação – TI

Tecnologias de comunicação via satélite são importantes instrumentos que possuem grande potencial para auxiliar em políticas públicas, cujos objetivos sejam tornar a atividade de transportes mais sustentável, apesar de, provavelmente, ainda se encontrar a muitos anos de se tornar realidade em larga escala. Através desses instrumentos via satélite, seria possível variar as tarifas, de acordo com o tipo de veículo, hora e local de viagem. Essa tecnologia teria como objetivos principais reduzir o congestionamento e/ou as emissões de carbono. O problema é que a redução dos congestionamentos poderia ocasionar um aumento do volume de tráfego geral (mais veículos circulantes), e com isso as emissões de CO₂ aumentariam (HOUSE OF COMMONS, 2006).

Em Lisboa (Portugal) e Helsinque (Finlândia) foi implantado um sistema composto por agendamento, cobrança e orientação através do uso do *transponder*, que permite o acesso sem a necessidade de parada do veículo ou qualquer ação do motorista. Através deste sistema, é permitido ao motorista se informar da disponibilidade de locais para estacionamento e, ainda, se orientar sobre a melhor rota a ser seguida, reduzindo o número de motoristas utilizando a via para a procura de vagas (MILES *et al.*, 1998). Com o direcionamento dos usuários, são garantidos alguns benefícios aos vários envolvidos na gestão de estacionamento como: economia de combustível e de tempo gastos na procura por local para estacionamento; redução dos atrasos causados aos demais veículos pela procura por vaga de estacionamento; melhoria na distribuição da demanda e na facilidade de controle; simplificação do processo de tomada de decisão do usuário; garantia de maiores níveis de ocupação dos espaços disponíveis; e diminuição dos níveis de poluição atmosférica (VIANNA *et al.*, 2004).

O Programa GALILEO³¹, quando for implementado na sua plenitude, irá abrir as portas a uma nova geração de aplicações e serviços em vários domínios. Os transportes serão os

³¹ GALILEO é o programa europeu de radionavegação e de posicionamento por satélite. Lançado pela Comissão Europeia e desenvolvido conjuntamente com a Agência Espacial Europeia, o programa GALILEO dota a União Europeia de uma tecnologia independente em relação ao GPS americano e ao GLONASS russo – ambos de origem militar.

utilizadores por excelência deste novo sistema de radionavegação por satélite, que oferece sistemas fiáveis e precisos de posicionamento aos veículos automotivos, tornado possível desenvolver sistemas destinados aos usuários das estradas, bem como assistência aos condutores. O desenvolvimento do sistema de navegação por satélite ajudará também a desenvolver transportes sustentáveis, graças à otimização do fluxo de tráfego no transporte rodoviário, aéreo, marítimo e ferroviário. Ao “empurrar” os limites de saturação das infraestruturas, fará diminuir os altos custos gerados pelos congestionamentos.

3.8. As políticas públicas na área de gestão da demanda – “Soft” Políticas

Apesar de existirem vastas experiências internacionais sobre gerenciamento da mobilidade que podem contribuir para possíveis intervenções no sistema de transporte das cidades brasileiras, muito pouco foi realizado ou está sendo feito, salvando poucas exceções (como a cidade de Curitiba, por exemplo). Na América Latina, observa-se uma realidade similar em diferentes cidades, onde planejadores e técnicos encontram dificuldades em identificar estratégias eficientes para melhorar as condições de vida nos principais centros urbanos. No Brasil, em especial, os desafios são grandes, devido a certas particularidades, como: informalidade do mercado de transporte; falta de políticas definidas quanto ao tema, à exclusão social (reforçada pelo modelo de uso de solo que segrega na periferia e nas agora chamadas comunidades os segmentos de baixa renda e concentra nos centros urbanos as ofertas de trabalho e serviços); falta de alternativas ao uso do automóvel; e a falta de interação e cooperação entre os diversos agentes/agências relacionados diretamente ou indiretamente com a situação do trânsito (CASTRO, 2006). Nesse sentido, é importante desenvolver uma proposta original e inovadora que estimule a mudança de consciência urbana e de atitude na escolha do modal, e mais especificamente dos usuários de sistemas de transportes (CASTRO, 2006).

Políticas de transporte bem sucedido poderiam reduzir o uso do veículo privado para cerca de 40% do total das viagens pessoais diariamente (em Zurique – Suíça, por exemplo, a diminuição foi de 28%). As análises das “boas práticas” no domínio dos transportes urbanos

revelaram que há um grande número de medidas possíveis para promover abordagens orientadas para a mobilidade em várias esferas de atividade (através de medidas de gerenciamento da demanda) (GTZ, 2001).

Em particular, algumas das abordagens implementadas com elevado êxito em diversas cidades europeias, principalmente, e que foram analisadas ao longo desse Capítulo, podem e devem ser consideradas como exemplos a serem seguidos pelas cidades brasileiras. Essas medidas incluem ordenamento integrado do território (no caso de Hannover e Hamburgo – Alemanha), a promoção do tráfego de bicicletas (no caso de Münster e Freiburg), e a melhoria da eficiência do setor de transportes através do transporte coletivos integrado (no caso de várias cidades alemãs e holandesas). Políticas de estacionamento (no caso de Bremen – Alemanha) e medidas de *traffic calming* são de fácil adaptação – em vigor em muitas cidades alemãs, por exemplo – devem ser implementadas (GTZ, 2001).

Tarifas de transporte público atraentes são tão importantes quanto uma infraestrutura de transportes urbanos disponíveis e de boa qualidade. Os operadores de transporte na Alemanha têm investido esforços consideráveis no melhoramento do sistema de tarifação de transportes coletivo. É um fato bem conhecido que a exigência de compra de bilhetes individuais cada vez que o usuário entra em um trem ou um ônibus age contrariamente na frequência do uso desses meios de transportes. Uma estratégia muito importante para minimizar a necessidade de gastos monetários para os passageiros é a oferta dos bilhetes que são válidos em todos os meios de transporte público em uma determinada cidade ou toda uma área metropolitana. A compra de um bilhete que permita a utilização de todos os diferentes veículos de transporte público num intervalo pré-determinado (durante o seu período de validade – normalmente um mês) é muito mais adequado. Este conceito de integração de transportes públicos, com estruturas tarifárias simples e claras é hoje comumente aplicado em toda a Alemanha e também em outros países europeus (por exemplo, na Suíça, Holanda e Dinamarca). Cerca de 37% da superfície da Alemanha, que atende mais da metade da população alemã, é coberto por uma das 25 associações integradas de transportes coletivos. Quase todas as cidades com mais de 100.000 habitantes são parte desse sistema. Este tipo de cooperação formal dos operadores de transportes coletivos é um elemento muito importante do transporte público, tornando-o muitas vezes mais atraente aos seus

potenciais usuários. Urge ressaltar que na Alemanha todas as regiões metropolitanas oferecem o seu próprio sistema de bilhetes, enquanto na Holanda só existe um sistema de bilhetes de transporte público (“*strippenkaart nationaale*”) que pode ser usado em qualquer cidade holandesa (GTZ, 2001).

Outra medida importante na atração de usuários para os transportes coletivos são os “eco-ingressos”. O princípio básico por trás do emprego desses bilhetes é um acordo abrangente – para ser executado por pelo menos um ano – entre os empregadores locais e operadores de transporte. Nos termos deste acordo, uma empresa privada compra os “eco-ingressos” e os distribui aos seus funcionários. Todos os funcionários da empresa que adquirir esses ingressos são elegíveis para usar irrestritamente ônibus e serviços ferroviários pelo período de validade do “eco-ingresso”. Os bilhetes são vendidos e pagos diretamente pelo empregador com descontos (GTZ, 2001).

Em Zurique um sistema semelhante foi criado em 1985 e chama-se *Rainbow Cards*. A introdução desse cartão foi acompanhada por uma estratégia de *marketing* muito bem sucedida. Várias empresas importantes foram induzidas a comprar *Rainbow Cards* e distribuí-los aos seus funcionários. Foram realizadas concorrências para se obter os melhores preços de venda entre revendedores de *Rainbow Cards*. O desenvolvimento do total das vendas foi um assunto comum na mídia local e que foi visualizado em todos os lugares importantes da cidade, ajudando a aumentar o interesse da população para o uso desse cartão (GTZ, 2001).

Urge ressaltar que, embora a gestão da demanda não possa, nem deva ser considerada uma panaceia, ou a solução única para os problemas de transporte nas cidades, pode se intuir que ele favorece a formação de uma maior consciência dos indivíduos que fazem parte da sociedade urbana; incentivando às mudanças destes no momento da escolha modal e, conseqüentemente, mudanças de comportamento dos usuários de sistemas de transportes (CASTRO, 2006).

3.9. “Hard” políticas

Na mitigação do consumo de energia do setor de transportes, além das políticas relacionadas com medidas de gestão da demanda (“soft” políticas), existe também uma grande gama de ações mais diretas que permitem aumentar a eficiência nos usos de energia e, por conseguinte, reduzir as emissões de CO₂ no setor de transportes, são as chamadas “hard” políticas (GTZ, 2001; HOUSE OF COMMONS, 2006).

Um dos grandes obstáculos para programas que objetivam ganhos de eficiência energética e/ou mitigação nas emissões de poluentes e GEE, é que os atuais sistemas de tarifação dos produtos energéticos não orientam o consumidor para padrões de consumo que promovam uma utilização mais econômica e racional da energia (MENKS, 2001). Além disso, eles não consideram o valor energético relativo dos produtos, nem o impacto ambiental da sua utilização. O atual sistema de tarifação não assegura a integração dos custos externos (as chamadas externalidades negativas). Isto não estimula a se consumir menos, nem a se produzir energia a partir de fontes menos poluidoras. Este problema é particularmente agudo no setor de transportes. Depois de décadas sem transformações significativas, o setor de transportes encontra-se hoje no centro dos debates acerca de estratégias factíveis que permitam melhorar ou até alterar o binômio “motores a combustão e derivados de petróleo”. Contudo, a mudança de paradigma do setor de transportes, calcada no uso de motores a combustão interna, uso de derivados de petróleo e uso predominante de veículos particulares não é de fácil realização (QUEIROZ, 2010). Enquanto os preços não refletirem a totalidade dos custos sociais que envolvem o setor de transportes, a procura continuará a ser artificialmente excessiva (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2005). Se fossem aplicadas políticas adequadas de tarifação tanto dos veículos menos eficientes, maiores, com motores mais potentes e/ou levando em conta o teor de carbono de origem fóssil do combustível utilizado, esta ineficácia tenderia a diminuir sensivelmente.

Políticas planejadas adequadamente podem combater os mais diversos tipos de imperfeições de mercado. Essas políticas são implementadas através do uso de diversos tipos de instrumentos: 1- Econômicos; 2- De informação; e 3- De comando e controle (também chamada

regulação direta). Os instrumentos econômicos compreendem ações tais como linhas de crédito específicas, garantias, incentivos fiscais, estruturas de preços dos energéticos, subsídios cruzados e apoio à pesquisa. Ações no âmbito da informação vão desde a publicidade, prêmios e selos, até bases de dados, ensino e a certificação de alguns profissionais. As ações de comando e controle incluem também normas e regulamentos, como a obrigação de possuir padrões mínimos de eficiência (INEE, 1998).

A importância dos instrumentos econômicos para melhorar a qualidade do meio ambiente é que o mesmo pode induzir mudanças comportamentais na sociedade. Dependendo do valor das taxas aplicadas, a tendência é que novas tecnologias menos poluidoras e/ou eficientes sejam desenvolvidas. Como exemplo, tem-se o imposto sobre combustíveis. Se este for elevado, tende a ocorrer racionalização do seu uso no médio prazo, pois no curto prazo os combustíveis tendem a ter uma demanda inelástica relacionada a um aumento do preço. Nesse exemplo, pode ocorrer estímulo ao uso de combustíveis alternativos, através de políticas de preços e impostos mais baixos. A diminuição das emissões de CO₂, também pode ser amenizada por meio de taxaço do carbono contido nos combustíveis fósseis. O valor da taxa deve ser proporcionalmente maior quanto maior for o percentual de carbono de origem fóssil contido no combustível – no caso na cadeia toda do combustível, quais sejam: gasolina, óleo Diesel, gás natural, biodiesel, etanol, etc. Isso incentiva a redução do uso do combustível que possui maiores teores de carbono de origem fóssil, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e para um maior uso de combustíveis alternativos e com menores teores de carbono de origem fóssil (MENKES, 2001).

3.9.1. Tributação diferenciada para veículos mais eficientes

A tributação diferenciada se configura como um instrumento econômico que pode ser utilizado objetivando melhorar a harmonização dos regimes fiscais; por exemplo, apoiando o desenvolvimento de veículos que utilizem combustíveis menos poluidores e/ou que sejam mais eficientes do ponto de vista energético. Reduções de impostos e/ou encargos (exemplos: Imposto

de Importação, IPI, PIS, PASEP, COFINS, ICMS, etc.) para equipamentos e veículos mais eficientes, tornam mais atrativa a compra dos mesmos por parte dos consumidores.

Para veículos particulares, a política brasileira de preços para os combustíveis (gasolina e etanol) se aproxima da europeia – com impostos relativamente elevados – mesmo a despeito de recentemente abaixar a CIDE (Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico) sobre os combustíveis. Isto incentiva a compra de veículos mais eficientes, porém o efeito sobre decisões de compra parece modesto – pelo menos na faixa atual dos preços dos combustíveis³².

Portanto, deve ser estudado um novo quadro que preveja a introdução de mecanismos para diferenciar os impostos – por exemplo, o Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e o imposto de licenciamento – em função do consumo de energia, o que permitirá ter em conta o nível de emissões de CO₂. Esta medida iria encorajar os veículos de baixo consumo e penalizar os de alto consumo. Tal política encorajaria a aquisição de veículos de menor consumo (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2005).

Esse tipo de política de tributação diferenciada estimula o mercado de carros menores e/ou menos potentes (pois possuem menores padrões de consumo de combustível e de emissões de GEE). Um outro aspecto desta política de substituição de veículos menos eficientes por veículos mais eficientes que precisa ser levado em conta é a eliminação dos veículos mais velhos na frota circulante. Se os carros com níveis de emissões superiores, em unidade de combustível por quilômetro rodado, não são eliminados, mas continuam em circulação, as reduções das emissões dos veículos novos terão um efeito bastante limitado.

Incentivos financeiros do tipo bônus para compra de veículos mais eficientes, por exemplo, constituem uma política que tende a acelerar a renovação da frota. Como exemplo, o governo francês fornece bônus para a retirada de carros com mais de 10 anos de idade, política essa que não só encoraja a renovação da frota, como principalmente estimula a retirada de circulação de veículos detentores de tecnologia menos eficiente. Já o governo norte-americano fornecia um

³² O custo do combustível é uma parcela relativamente pequena do custo total de comprar e operar um carro novo. A alta incidência de impostos sobre o veículo e a alta taxa de desconto dos usuários contribui para diminuir ainda mais o peso da eficiência nas decisões (INEE, 1998).

bônus para a compra de veículos que consumiam menos combustíveis e emitiam menos CO₂ (MENKES, 2001). É importante também que a cadeia total de produção dos carros novos seja também sustentável, a fim de maximizar os resultados de tais políticas (HOUSE OF COMMONS, 2006).

Equipamentos e/ou veículos mais eficientes são normalmente mais caros. Ainda que tenha consciência das vantagens econômicas de se fazer o investimento inicial (o que não é óbvio), o consumidor pode ter dificuldade em ter acesso a um crédito, ou apenas conseguiu-lo a juros elevados. Como as soluções mais eficientes tendem a ser também mais capital-intensivas, um dos problemas básicos dos programas "voluntários" é induzir os proprietários dos veículos a investirem em veículos mais eficientes para ganhar com a redução de custos posteriormente (economia de combustível). Nesse sentido, quanto maior o preço do combustível, maiores incentivos o consumidor terá para adquirir veículos mais eficientes, mesmo eles apresentando valores superiores de preço de venda. O principal empecilho a essas políticas de bônus para veículos eficientes é que, geralmente, o consumidor de automóvel novo permanece poucos anos de posse do veículo. Esse fato desencoraja o consumidor a investir mais recursos financeiros em um veículo mais eficiente. Como esse consumidor que adquiriu automóvel novo tende a ficar poucos anos com o veículo antes de trocar por outro, dificilmente vai recuperar o investimento adicional que realizou na compra do veículo mais eficiente em comparação com a compra de um veículo equivalente em potência e conforto, mas menos eficiente.

3.10. Conclusões do Capítulo 3

Claramente, a dinâmica de crescimento das cidades é complexa, e não é completamente claro que conjunto de circunstâncias e políticas são necessárias para tornar uma cidade mais sustentável. Contudo, diversos estudos indicam que alguns elementos são fundamentais: forte planejamento urbano; investimentos maciços em transporte público e infraestruturas de transporte não motorizado; e políticas públicas para desencorajar a utilização do veículo particular. O presente Capítulo identifica uma vasta gama de estratégias que podem reduzir a utilização do

automóvel como forma de mitigar o consumo de combustíveis e as emissões de GEE. Dentre as opções analisadas, destacam-se as medidas relacionadas às políticas de planejamento urbano, maior uso do transporte coletivo (ônibus e metrô), implantação de ciclofaixas, sítios favoráveis aos pedestres, viagem compartilhada, restrições a circulação e estacionamento de veículos particulares em locais que possuem histórico de congestionamentos, aplicação de sistemas BRT nos grandes e médios centros urbanos, mudanças comportamentais (ex: *home office*, mudanças no “estilo” de direção” e nos horários da jornadas de trabalho) e de condução econômica.

Bilhetes únicos de mobilidade, integrando ferrovias, metrô, ônibus, BRT e aluguel de bicicletas, com pagamento antecipado aos embarques surgem como uma opção viável e de baixo custo de implementação para aplicação já no curto prazo. No médio/longo prazo, o uso e posterior disseminação de mecanismos eletrônicos e de satélite através dos *transponders*, por exemplo, tende a gerar oportunidades de se utilizar os chamados pedágios inteligentes, incentivando meios de transportes mais sustentáveis. O uso desses mecanismos eletrônicos possibilita cobranças diferenciadas para veículos particulares nos horários de pico de congestionamentos e também nas áreas urbanas com histórico frequente de congestionamentos, desincentivando o uso do automóvel particular e, com isso, otimizando o trânsito de forma geral.

Quando se analisa as “*hard*” políticas, os instrumentos econômicos e de regulação direta vêm se mostrando efetivos nos programas de eficiência energética em nível mundial, seja no setor de transportes ou não. Através de instrumentos de regulação direta, pode-se limitar a capacidade máxima que cada veículo poderá emitir de CO₂/km ou a obrigatoriedade de uma meta de consumo mínimo por categoria de veículo, em km/L de combustível, por exemplo. Já o uso de instrumentos econômicos podem ser efetivos para que as montadoras possam oferecer tais veículos mais eficientes e/ou os consumidores tenham condições financeiras para adquirí-los.

Diante do contexto apresentado no Capítulo 3, a maior sinergia possível entre as medidas de *hard* políticas com as medidas de *soft* políticas é fundamental para tornar o setor de transportes mais sustentável no futuro.

O próximo capítulo analisa a eficiência energética como ferramenta de mitigação do consumo de combustíveis e das emissões de CO₂ do setor de transportes rodoviário de passageiros, focando nos veículos leves.

4. Medidas de Eficiência Energética aplicadas ao setor de transportes rodoviário de passageiros

Esse Capítulo analisa, em termos de viabilidade técnica, econômica e potencial de mercado, uma vasta gama de tecnologias para aumentar a eficiência energética dos veículos leves no curto, médio e longo prazo. A análise engloba tanto inovações tecnológicas incrementais (tecnologias que não possuem diferenças significativas em comparação as que já existem disponíveis no mercado) quanto tecnologias radicais (inovadoras).

4.1. Introdução

A eficiência energética de um veículo pode ser mensurada através da relação energia útil produzida pelo veículo por unidade de energia fornecida pelo combustível. Segundo Smith (2010), a eficiência energética de um veículo pode ser expressa de diversas formas, dentre elas destacam-se: 1- *Fuel economy* (economia de combustível – inverso do consumo específico) refere-se à distância percorrida pelo veículo por unidade de combustível utilizado – nos Estados Unidos é geralmente expresso em milhas por galão (mpg) e no Brasil em quilômetros por litro (km/L); 2- *Fuel consumption* (consumo específico de combustível), termo mais utilizado na Europa, China, Austrália e Nova Zelândia, refere-se ao volume de combustível, em litros, consumido pelo veículo para percorrer uma dada distância, geralmente 100 km (L/100km); e 3- *Fuel efficiency* (eficiência do combustível), refere-se a relação entre a quantidade de energia útil pela quantidade de energia total obtida na combustão de um combustível. No Brasil, o termo autonomia por litro (ou simplesmente autonomia) é o termo mais utilizado, e é equivalente à *fuel economy*.

Estudo capitaneado pela *National Research Council* (NRC, 2008, *apud* SMITH, 2010) alerta que o termo que melhor reflete a eficiência energética para veículos automotores é o consumo específico de combustível (*fuel consumption*). De acordo com o mesmo estudo, é o

termo que mais reflete a economia de combustível ou autonomia por litro, facilitando a compreensão por parte do consumidor sobre qual veículo é mais “econômico” em termos de consumo de combustível.

Os veículos automotores a combustão interna (ICEVs – na sigla em inglês), assim como toda máquina térmica, estão sujeitos a limitações de eficiência de acordo com os postulados da 2ª Lei da Termodinâmica. Com isso, cerca de 2/3 da energia disponível nos combustíveis é perdida na forma de calor durante a combustão, ainda no motor do veículo³³ (NRC, 2002). Outras perdas consideráveis ocorrem no sistema de transmissão, no sistema de refrigeração, no sistema de frenagem e também no uso de acessórios do veículo, como o ar condicionado. Apenas uma pequena fração da energia disponível nos combustíveis, 13% a 20% (em média), é de fato transmitida para as rodas (NRC, 2002). Ainda vão ocorrer perdas devido ao atrito com o solo (diretamente proporcionais ao peso do veículo e a qualidade dos pneus) e através da resistência do ar (arraste aerodinâmico) (NRC, 2002). A Figura 4.1 ilustra as perdas energéticas em um veículo trafegando no meio urbano e em estrada.

³³ De acordo com a 2ª Lei da Termodinâmica, a máxima eficiência energética teórica de uma máquina térmica está limitada pela razão das temperaturas do reservatório frio e do reservatório quente – em Kelvin. Quanto maior for essa diferença, maior a eficiência. No caso do motor de combustão interna (ICE), devido as limitações técnica-econômica dos materiais envolvidos, a diferença entre as temperaturas é relativamente pequena, o que acarreta eficiências máximas teóricas também pequenas. As limitações técnica-econômica dos materiais devem-se, principalmente, a temperatura de fusão dos materiais metálicos presentes no motor.

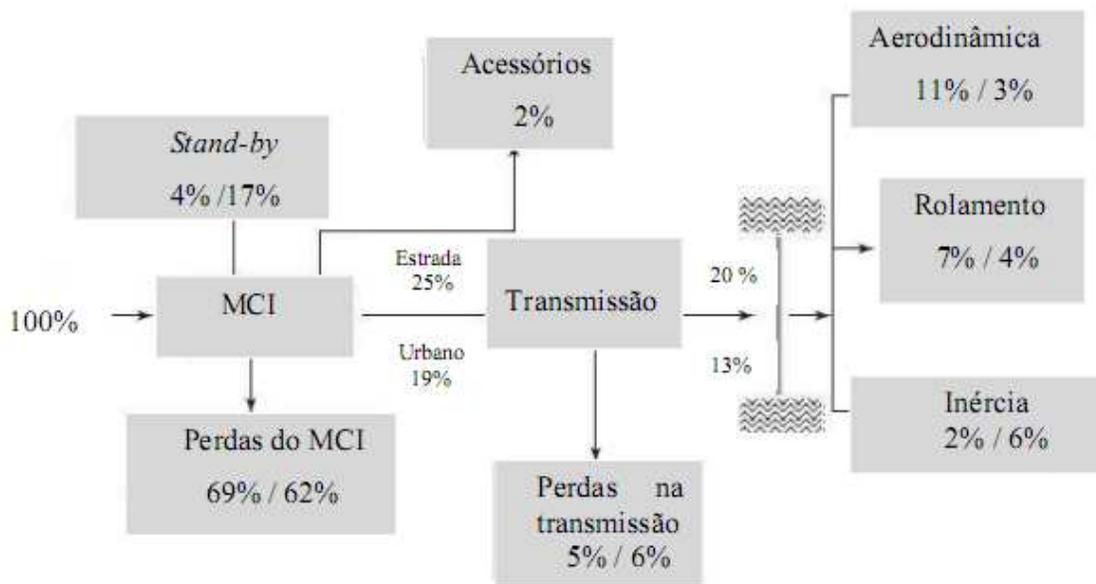


Figura 4.1: Perdas energéticas em um veículo trafegando no ciclo estrada e no meio urbano

Fonte: NRC, 2006, *apud* SMITH, 2010.

Pela análise da Figura 4.1 observa-se uma maior perda de energia, ainda no motor, quando o veículo hipotético roda em trecho urbano, no qual cerca de 87% da energia é perdida, contra “apenas” 80% quando o veículo roda em estrada. Essa maior perda decorre do fato de que, no uso urbano, ocorre constantes paradas, em virtude de lombadas, semáforos, valetas, sinalizações, maior tráfego, dentre outros. Outras perdas importantes estão na transmissão, nos pneus (rolamentos) e na resistência do ar (aerodinâmica) (NRC, 2002).

Em termos de potencial de mitigação pelos LDVs, devem-se privilegiar medidas que envolvam o *powetrain*, principalmente os motores, se o objetivo for um ganho substancial na EE dos veículos automotores – conforme evidencia a Figura 4.1.

4.2. Veículos Leves – LDVs

Os LDVs com motor de combustão interna (MCI, na sigla em inglês) representam praticamente a totalidade da frota mundial e são basicamente de 2 tipos: 1- Veículos ciclo Otto, com MCI à gasolina (gasolina A ou gasolina C), *flex fuel* ou a etanol hidratado e; 2- Veículos

ciclo Diesel à óleo Diesel (ou misturas biodiesel e óleo Diesel). Os veículos equipados exclusivamente com motores elétricos têm sido vendidos somente em alguns mercados, todavia suas vendas ainda não são significativas. Nos EUA e Japão, representam atualmente 0,02% e 0,2% das vendas, respectivamente, ambos com menos de 10 mil unidades/ano (SCHMITT, 2010).

Além das perdas apresentadas pela Figura 4.1, a autonomia de um automóvel é influenciada, também, pelo comportamento do condutor. Tendo em vista esses aspectos, existe uma vasta gama de tecnologias para tornar os veículos mais eficientes no uso de combustível e muitas já estão disponíveis à um custo razoável. São as chamadas tecnologias incrementais.

O potencial para melhorar a eficiência dos LDVs, com consequente mitigação das emissões de CO₂ dos mesmos, através da utilização de tecnologias incrementais não se limita ao motor e combustíveis. Mudanças nos materiais utilizados na construção do veículo, itens de segurança adicionais, sistemas eletrônicos maiores, características dos pneus e outros fatores também podem afetar negativamente a eficiência do veículo (WBCSD, 2004). A combinação de melhorias na aerodinâmica, uso de materiais mais leves, redução da resistência ao rolamento (incluindo o uso de pneus com menor resistência ao rolamento e adequadamente calibrados) e motores de alta eficiência, podem, eventualmente, produzir elevações consideráveis na eficiência energética dos veículos automotores (WBCSD, 2004). No entanto, estas mesmas tecnologias podem igualmente permitir que veículos sejam fabricados maiores e conseqüentemente mais pesados e/ou com motores mais potentes, mantendo-se a eficiência global do veículo relativamente constante (IEA, 2008b).

Apesar de a indústria automobilística ter feito avanços tecnológicos em eficiência energética, estes avanços terminam por ser neutralizados pela demanda do mercado, cada vez maior por itens de segurança e conforto. Estes consomem mais combustíveis, quer diretamente através de acessórios como o ar condicionado³⁴, ou indiretamente pela adição de massa, como as

³⁴ De acordo com estudos capitaneados pelo *Energy Saving Trust* (EST) o ar condicionado pode aumentar o consumo de combustível até 25% (HOUSE OF COMMONS, 2006).

barras de proteção, por exemplo. Os componentes dos sistemas elétricos tiveram de ser aumentados para lidar com as demandas adicionais de energia elétrica. Carros mais pesados também requerem equipamentos extras para manter a condução com o desempenho desejado (WBCSD, 2004).

Um pressuposto importante e necessário para tornar o setor de transportes menos carbono intensivo: todas as tecnologias dos novos veículos devem resultar inteiramente em melhorar a economia de combustível, mantendo-se, portanto, os LDVs, em média com o mesmo tamanho, peso e potência (ou, em alguns casos menores, mais leves e menos potentes) (IEA, 2008b). Para este pressuposto ser válido, será imprescindível que os governos apliquem políticas incisivas – através de instrumentos econômicos e de regulação direta, por exemplo – no que tange a economia de combustível, desencorajando a produção e compra de veículos maiores e mais potentes (HOUSE OF COMMONS, 2006; IEA, 2008b).

A seguir são analisadas, a partir de uma ampla revisão da literatura científica sobre o tema, as principais tecnologias automotivas com potencial em nível técnico-econômico de aumento da eficiência energética dos LDVs.

4.2.1. Tamanho, peso e potência dos veículos novos

Os anos 1990 foram caracterizados pela ampla difusão de veículos equipados com controles eletrônicos, sistemas de gestão de combustível e por uma maior procura do consumidor por automóveis mais eficientes – uma reação aos preços elevados dos combustíveis. Porém, nos últimos 20 anos, aproximadamente, ocorreram substanciais aumentos no tamanho e peso médio dos veículos particulares, com as grandes SUVs tornando-se deveras populares (IEA, 2008a). Esta tendência, combinada com a adição de itens de segurança e opcionais contribuíram negativamente para o aumento do peso, fato que tende a elevar o consumo de energia. No Canadá, no ano de 2005, os SUVs representavam um terço de toda a frota de LDVs, passando de uma quota de um quinto em 1990. Nos Estados Unidos, a frota de automóveis manteve-se praticamente estável entre 1990 e 2005, enquanto os SUVs e similares (grandes picapes) quase

duplicaram sua frota. Nos países europeus, o número de veículos com cilindrada superior a dois litros (2.0) mais do que dobrou desde 1990. Em contraste, o Japão registrou um aumento muito menor em relação ao peso dos carros, principalmente porque possui uma regulação eficaz de eficiência energética dos seus veículos através do programa *Top Runner* (IEA, 2008a).

Na Europa, em média, o peso dos LDVs aumentou cerca de 30% nos últimos 30 anos. Durante este mesmo período, a média de peso dos LDVs nos Estados Unidos, que inicialmente foi significativamente maior do que na Europa, baixou de 1845 kg em 1975 para 1455 kg em 1981/82 (21%). Posteriormente, começou a subir novamente. Em 2003, o peso voltou aos níveis de 1975 e ganhou 24% desde 1981/82 (WBCSD, 2004). Altos níveis de consumo específico (unidade de combustível/km rodado) também se fazem presente na Austrália e Nova Zelândia (IEA, 2008a), fatos esses que evidenciam a atual tendência de aumento do tamanho e peso dos veículos.

Por outro lado, houve redução no peso dos componentes individuais através da melhora do projeto dos veículos e pela substituição de materiais, utilizando mais alumínio, aços de alta resistência, magnésio, compósitos e plásticos, em detrimento ao aço convencional. Mas estas reduções foram mais do que compensadas pelo aumento de peso devido ao aumento das funcionalidades dos veículos (WBCSD, 2004). Muitas vezes estas substituições de materiais são interdependentes. A redução de massa cria o potencial para redução de massa adicional, pois a redução da massa de um veículo permite o uso de um motor menor e, por consequência, mais leve, mantendo-se desempenho equivalente (WBCSD, 2004).

Urge ressaltar que, na maioria dos casos, as “soluções leves” são mais custosas que os projetos convencionais. Por conseguinte, estas soluções não serão competitivas a menos que o consumidor de carro novo esteja disposto a pagar mais pela redução de peso em troca de economia de combustível ao longo dos anos e/ou consciência ecológica. Nesse contexto, incentivos governamentais, através da redução de impostos/encargos para os fabricantes e/ou bônus para o consumidor tende a tornar esses veículos com “soluções leves” competitivos.

4.2.2. Uma nova geração de veículos menores e baratos

Uma revolução no tipo de veículos à disposição dos consumidores nos países em desenvolvimento está se iniciando. A indústria automobilística tem grandes intenções de oferecer novos modelos de veículos, bem menores que os atuais compactos e de baixo custo, principalmente em países como a Índia e a China. As montadoras possuem como objetivo produzir veículos que seriam acessíveis para a maioria das famílias em áreas de rápido desenvolvimento – ideal para o mercado com demanda reprimida e em franca expansão que esses países possuem. Tais modelos poderiam custar menos de US\$ 3.000, com autonomia de cerca de 25 km/L de combustível (TATA MOTORS, 2008, *apud* IEA, 2008b).

De acordo com o cenário tendencial da Agência Internacional de Energia (denominado ETP *Transport Scenarios*) sobre as perspectivas tecnológicas no uso futuro de energia, esses pequenos veículos podema alcançar uma quota de mercado de 2% nos países da OCDE e 10% em países não membros da OCDE já no ano de 2015, mantendo-se constante em seguida. Contudo, dado o seu baixo preço, os benefícios em eficiência energética que esses “*small cars*” podem trazer são suscetíveis de serem neutralizados pelo aumento no total das vendas de automóveis, talvez até resultando num aumento global no uso final de energia. O impacto preciso dependerá de quantos serão os compradores que anteriormente não possuíam veículos, quantos serão os consumidores que comutarão a partir de carros maiores, e quantos (possivelmente uma elevada percentagem) comutarão a partir de veículos motorizados de duas rodas (motocicletas). A experiência e os estudos de mercado serão necessários para obter uma imagem mais nítida dos impactos que estes veículos trarão sobre o consumo global de combustíveis (IEA, 2008b). Urge ressaltar que, quanto maior for o número de veículos circulando nos grandes centros urbanos, maiores e mais frequentes serão os congestionamentos e, portanto, menor será a eficiência energética do sistema de transporte em questão.

4.2.3. Veículos a gás natural

O gás natural é utilizado, atualmente, tanto em veículos ciclo Diesel quanto em veículos ciclo Otto, chamados *dual-fuel* e *bi-fuel*, respectivamente. Um veículo *bi-fuel* pode operar alternadamente a GN ou à gasolina A ou gasolina C (CONCEIÇÃO, 2006). A maioria desses veículos é concebida para comutar automaticamente para a gasolina quando o reservatório de gás natural se esgota. O mercado brasileiro de automóveis novos já possui até veículos *tetra-fuel*³⁵ (GN, gasolina A, etanol hidratado e gasolina C). Já um veículo *dual-fuel* funciona tanto exclusivamente com óleo Diesel e também com misturas de óleo Diesel e gás natural. Cabe frisar que, no caso de um veículo *dual-fuel*, a combustão do carburante óleo Diesel tem como objetivo fazer a ignição do GN (CONCEIÇÃO, 2006).

No caso do uso do GN em motores concebidos para utilizar gasolina ou álcool hidratado, é comum que se opere na forma bicomcombustível, utilizando-se preferencialmente o GN, podendo, no entanto, ser usado o combustível original (gasolina, álcool hidratado ou gasolina C). Os veículos que possuem este tipo de adaptação podem ser fabricados desta forma, ou podem ser adaptados em oficinas credenciadas, onde sofrem um processo de conversão (DEMEC/UFMG, 2010).

Já os veículos pesados (caminhões e ônibus) e os comerciais leves ciclo Diesel podem ser transformados para operarem em *dual-fuel*. Nestes casos, a conversão do veículo é mais complexa e também mais onerosa que a conversão dos veículos ciclo Otto, principalmente se houver a necessidade de substituição do motor original ou a realização de serviços de retífica (GASNET, 2011).

Tanto nos veículos ciclo Otto, quanto nos veículos ciclo Diesel, a conversão se faz adicionando ao veículo equipamentos formados, basicamente, por: conjunto de reservatórios

³⁵ O veículo é o Fiat Siena Tetrafuel, comercializado no Brasil desde 2007. O Siena Tetrafuel troca de combustível de forma automática, dependendo da disponibilidade de combustível nos tanques e da potência que as condições de rodagem demandar. Se o motorista desejar operar somente com combustíveis líquidos, é necessário fechar a válvula do gás natural manualmente.

(denominados de cilindros), para acondicionar o GN; rede de tubos de alta e baixa pressão; dispositivo regulador de pressão; válvula de abastecimento; dispositivo de troca de combustível; e indicadores de condição do sistema (CONCEIÇÃO, 2006; DEMEC/UFMG, 2010).

O funcionamento dos motores ciclo Diesel para uso do gás natural baseia-se, primeiramente, na aspiração e compressão da mistura ar/gás natural e, em seguida, a combustão é iniciada quando somente uma pequena quantidade de óleo Diesel é injetada na câmara de combustão. A esta quantidade denomina-se "Injeção Piloto" e é necessária para inflamar e iniciar a frente de chama, exercendo função equivalente à faísca que é gerada por uma vela de ignição nos motores ciclo Otto. É importante ressaltar que, nestas condições, 15% da quantidade da energia fornecida ao motor é proveniente do óleo Diesel, enquanto o restante é fornecido pelo GN (DEMEC/UFMG, 2010). Uma chave comutadora fornece a opção ao usuário de utilizar o veículo nas duas condições: óleo Diesel ou óleo Diesel/gás natural.

Com uma eficiência global comparável ao Diesel, o uso do GN apresenta emissões inferiores de poluentes, em relação aos motores ciclo Diesel tradicionais. Veículos a gás natural emitem substancialmente menos óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) do que todos os automóveis convencionais disponíveis no mercado, assumindo potência e peso equivalentes. Mesmo os veículos híbridos elétricos utilizando combustíveis tradicionais (*Conventional fuel plus electricity*), ou veículos que utilizam misturas de combustíveis convencionais e biocombustíveis emitem mais desses poluentes (ENGERER & HORN, 2010). A princípio, uma grande desvantagem do uso do GN em detrimento da gasolina, etanol ou óleo Diesel refere-se à autonomia do veículo, que é caracteristicamente menor. Por outro lado, o veículo a GN continua com seu tanque original. Assim, na prática, o emprego do GN aumenta a autonomia do veículo, por apresentar dois tanques de combustíveis distintos.

Mesmo quando ocorre a contabilização das emissões de CO₂ ao longo da cadeia toda dos combustíveis (considerando a adoção da metodologia *Well-to-wheels*), os veículos a GN, normalmente, têm uma vantagem em relação aos veículos convencionais: veículos ICE a GN emitem cerca de 25% menos GEE na cadeia total, em comparação aos ICEV a gasolina (HEKKERT *et al.*, 2005) e aos ICEV a óleo Diesel de mesmas potências (ENGERER & HORN,

2010). Somente veículos que utilizam biocombustíveis puros caracterizam-se por menores emissões de CO₂ do que os ICEV a GN (ENGERER & HORN, 2010).

Cabe ressaltar que os veículos a GN também podem ser concebidos para operar como híbrido (uso tanto de GN quanto de eletricidade para propulsão do veículo). A substituição dos veículos convencionais por GN seria extremamente oportuna nas cidades nas quais concentrações de MP estejam acima do limite previsto por lei.

4.3. Motores

Como, praticamente todos os LDVs são equipados com motores a combustão interna e utilizam gasolina ou óleo Diesel como combustíveis, os derivados de petróleo fornecem cerca de 95% da energia primária consumida no setor dos transportes mundial (IPCC, 2007b). A grande exceção mundial é o Brasil, com a frota de veículos a etanol e *flex fuel* representando praticamente 50% da frota circulante de LDVs (MMA, 2011).

Os MCI por compressão (motores ciclo Diesel), que atualmente apresentam eficiência superior aos veículos com motores ciclo Otto quando integrados a *turbocharger*, podem alcançar entre 20 à 25% a mais de eficiência e potência que os motores similares à gasolina (SCHMITT, 2010). Apesar da tendência europeia de “dieselização” da frota de veículos leves³⁶, o uso de óleo Diesel pela frota de LDVs não foi contemplado nas análises dos cenários propostos (capítulos 6 e 7), em função das questões econômicas relacionadas a importação de óleo Diesel pelo Brasil – que foi abordado na Seção 2.8.

Motores mais leves e de menor cilindrada trazem economias consideráveis de combustível. Mas para que esses motores menos potentes não comprometam a velocidade dos veículos em

³⁶ Na Europa, em função dos incentivos, houve um aumento relevante nas vendas de veículos leves com motor à óleo Diesel. A introdução desses motores nos veículos leves de passageiros permitiu grandes reduções na quantidade de CO_{2eq} emitida por km nos veículos registrados na Europa (SCHMITT, 2010).

ultrapassagens (que além de ser incômodo por parte do motorista, compromete também a sua segurança), os veículos como um todo necessitam ser menores e mais leves também.

Os motores elétricos, mais eficientes, podem atuar isoladamente ou conjuntamente com o motor a combustão interna. Os principais tipos de veículos elétricos (VE) são: VE a bateria, VE híbrido, VE híbrido *plug-in* e VE a célula a combustível³⁷ (ABVE, 2010). Porém, de acordo com estudos capitaneados por WBCSD (2004); KASSERIS (2006); KASSERIS & HEYWOOD (2007); BANDIVADEKAR *et al.* (2008, *apud* SMITH, 2010); IEA (2008b); e NAS (2009), provavelmente os MCI serão o principal sistema de propulsão até 2030. Com isso, a introdução de tecnologias automotivas incrementais será provavelmente o caminho mais utilizado para o aumento da eficiência de consumo na frota de veículos leves. Em virtude do horizonte de tempo escolhido nesse Estudo, 2010 a 2030, as tecnologias de aumento de eficiência energética analisadas para incorporação nos cenários alternativos propostos no Capítulo 6 serão realizadas apenas nos ICEVs. Nesse sentido, assume-se que os VE provavelmente terão participação muito reduzida no período de análise desse Estudo, razão pela qual os mesmos foram negligenciados nos cenários do Capítulo 6.

4.3.1. Motor de ignição por compressão de carga homogênea

O motor de ignição por compressão de carga homogênea (HCCI – *Homogeneous Charge Compression-Ignition*) apresenta algumas características dos atuais motores a gasolina e a óleo Diesel. Estes motores realizam a combustão da gasolina por meio de velas de ignição, como nos motores convencionais, porém o combustível sofre combustão com a ajuda da ignição por compressão, gerando os benefícios dos motores a Diesel (CARNEY, 2008) – maiores razões de compressão, possibilitam rendimentos energéticos mais elevados. O motor HCCI apresenta menores emissões dos gases de escapamento e MP quando comparado ao motor ciclo Diesel, que apresentam eficiência similar, mas que requerem dispendiosos catalisadores de NO_x e sistemas pós-tratamento com ureia (WBCSD, 2004; SMITH, 2010).

A eficiência de um motor HCCI operando com gasolina pode ser 15% superior à de um motor convencional movido a gasolina de mesma potência (ICCT, 2010). Como desvantagem, a tecnologia HCCI ainda apresenta problemas técnicos que dificultam a sua aplicação em escala comercial. A combustão HCCI é sensível quanto às mudanças de temperatura e pressão do ar, bem como em relação à octanagem do combustível (gasolina, etanol, gás natural, etanol e misturas entre os combustíveis citados). Maiores níveis de ruídos e perda de dirigibilidade do veículo também são obstáculos para sua difusão (CARNEY, 2008).

4.3.2. Comando de Válvulas

O tempo de abertura das válvulas do motor, bem como seu curso e levantamento alteram substancialmente o desempenho do motor. No MCI, quem gerencia esses parâmetros é o comando de válvulas do motor, determinando o momento de abertura e fechamento das válvulas, na admissão e na exaustão dos gases de combustão. A fim de melhorar o desempenho do motor, foi desenvolvido o chamado sistema variável de comando de válvulas (*Variable Valve Timing and Lift*). Esse sistema variável, adapta melhor o momento de abertura e fechamento das válvulas, bem como o levantamento das mesmas, otimizando seu funcionamento em função da rotação do motor e também da abertura do acelerador, através de um comando eletrônico (NRC, 2002). Essa tecnologia tende a diminuir o *trade-off* entre a potência obtida em altas e baixas rotações, atingindo ganhos de eficiência da ordem de 3,0 a 7,4% (NHTSA, 2009, *apud* SMITH, 2010).

4.3.3. Válvula com Tempo Variável

O tempo variável de abertura da válvula ou *variable valve timing* (VVT) é um sistema de comando de válvulas que altera o tempo da válvula de admissão e/ou de exaustão, tendo como objetivo aumento da eficiência ou de potência, através de um maior controle dos gases de

³⁷ Há ainda segundo a ABVE (2010), os veículos elétricos solares e o trólebus. O primeiro apresenta ainda pouca viabilidade técnica e o segundo é uma tecnologia muito restritiva em termos de liberdade de locomoção.

combustão (DOT, 2008). Por exemplo, algumas montadoras utilizam um sistema que, sob altas velocidades, altera o tempo de abertura da válvula de admissão facilitando a saída dos gases de exaustão. O sistema de válvulas variável pode aumentar a eficiência dos veículos entre 1-7% (SCHMITT, 2010).

Essa tecnologia já é empregada no Japão há muitos anos, e no ano de 2009, atingiu 78% de participação nas vendas de veículos leves do mercado automobilístico japonês (IEA, 2009a). Por consequência, verifica-se esse tipo de tecnologia em alguns veículos vendidos no Brasil, por exemplo, no Honda Civic e no Toyota Corolla.

4.3.4. Motor sem Árvore de Cames

Os motores com esta tecnologia usam atuadores eletromagnéticos para abrir e fechar as válvulas ao invés das tradicionais árvores de cames. Por não haver contato mecânico, ocorre aumento da eficiência do motor em cerca de 15% quando comparado com os motores convencionais de mesma potência (NRC, 2002). Esta tecnologia, atualmente, se encontra em fase de P&D. Como exemplo de montadoras desenvolvendo esta tecnologia, tem-se a BMW e a Fiat (SMITH, 2010).

4.3.5. Razão de Compressão Variável

Os MCI com controle variável da taxa de compressão (*variable compression ratio*) aumentam a eficiência do motor ao se utilizar taxas de compressão mais altas sob cargas baixas e baixas taxas de compressão sob cargas mais altas³⁸ (SCHMITT, 2010). A variação da taxa de compressão pode ser obtida alterando o volume do cilindro por meio da movimentação da cabeça

³⁸ A taxa de compressão do motor é um dos principais fatores limitantes de potência e de eficiência de um MCI, sendo maiores quanto maiores forem a taxa de compressão do motor. Porém, se essa taxa de compressão for muito elevado, ocorrerá a chamada "batida de pino", causando danos ao motor. Segundo Schmitt (2010), quando a taxa de compressão puder variar, o motor pode funcionar à taxa de compressão mais alta (14:1) em cargas baixas, de maneira

do cilindro, variando o volume da câmara de combustão utilizando um pistão secundário ou altura do pistão (SHAIK *et al.*, 2007). Esses dispositivos possuem potencial de redução do consumo de combustível de até 10% (ECCJ, 2007).

O emprego desse tipo de tecnologia poderia ser mais bem avaliado no Brasil, onde os motores *flex fuel* operam com combustíveis que possuem taxas de compressão ótimas diferentes. Os veículos com MCI dedicados a etanol geralmente possuem taxas de compressão mais altas (12:1) que aqueles com motores à gasolina (8:1). Os veículos *flex fuel* apresentam taxa de compressão intermediária, porém fora do ponto ótimo de cada combustível. A variação da taxa de compressão em função da carga e também do tipo de combustível poderia trazer ganhos de autonomia, atendendo a uma particularidade da grande maioria dos MCI vendidos atualmente no Brasil (SCHMITT, 2010).

4.3.6. Turbocompressor e *downsizing* do MCI

A potência específica de um MCI é limitada, em parte, pela relação estequiométrica ar-combustível dentro da câmara de combustão do motor. Ao se comprimir o ar antes da admissão na câmara de combustão, mais quantidade de ar e, conseqüentemente, de combustível irão reagir. Portanto, a utilização de um turbocompressor permite aumento da potência do motor, abrindo possibilidade de mesmo mantendo a potência ocorrer uma redução do tamanho do motor (*downsizing*). Segundo estudo capitaneado pelo *United States Department of Transportation* (DOT, 2007), a eficiência no uso de um turbocompressor fica na faixa de 5 à 7%. Já segundo estudo capitaneado pelo *National Academy of Sciences* dos EUA (NAS, 2010), ganhos superiores a 10% podem ser obtidos. Os principais ganhos na economia de combustível são mais visíveis no meio urbano, em situações de marcha lenta, pois os veículos passam a consumir menos combustível em baixa rotação (SMITH, 2010).

mais eficiente, e depois reduzir para 8:1 em altas cargas, permitindo que a potência seja aumentada por superalimentação sem ocorrer "batida de pino".

Já a economia de combustível decorrente do *downsizing* do motor é variável e depende do quanto foi reduzido o tamanho (peso) do motor. A economia de combustível pode variar entre 3% à 4% para motores de menor potência (NRC, 2002) a até 7,5% para motores de maior potência (NHTSA, 2009 *apud* SMITH, 2010).

4.3.7. Desativação de Cilindros

Esse tipo de tecnologia é usualmente considerada quando o MCI possui ao menos 6 cilindros. Sob cargas parciais, em determinadas regiões do plano Torque x Velocidade, alguns cilindros são desativados com objetivo de aumentar a eficiência na conversão de energia (SCHMITT, 2010). No caso dos veículos vendidos no Brasil, a quantidade de veículos com mais de 6 cilindros é bastante reduzida (ANFAVEA, 2011).

4.3.8. MCI atuando conjuntamente com motor elétrico

A eficiência do ICEV pode ser melhorada e as emissões de GEE reduzidas através da utilização de sistemas de propulsão híbrido-elétricos³⁹. O veículo híbrido elétrico possui tanto motor elétrico (ou motores) alimentado por um gerador quanto um motor a combustão interna alimentado por um combustível fóssil (por exemplo: gasolina, óleo Diesel, gás natural ou GLP) ou renovável (por exemplo: etanol ou biodiesel). O motor a combustão interna e o gerador de eletricidade abastecem o motor elétrico e são capazes de recarregar a bateria. O uso mais simples e comum do veículo híbrido elétrico se dá através do uso da frenagem regenerativa.

³⁹ O termo "sistema de propulsão híbrido-elétrico" abrange um vasto leque de modalidades de *powertrain* possíveis. Todos combinam um motor MCI ou célula a combustível (FC) com um gerador, bateria e um ou mais motores elétricos. Mas estes componentes podem ser organizados em uma variedade de maneiras. O motor elétrico (s) pode suportar uma parte maior ou menor da carga de propulsão do veículo. De um modo geral, um veículo só é classificado como um híbrido "completo" se puder ser impelido pelo menos por algum tempo exclusivamente pelo motor elétrico (WBCSD, 2004).

A frenagem regenerativa ou *kers* é um dispositivo mecânico que transforma a energia cinética liberada durante a frenagem em energia elétrica. A energia elétrica gerada durante a frenagem é armazenada nas baterias dos veículos elétricos. Há 2 tipos de configuração de acionamento das rodas: em série (acionamento apenas pelo motor elétrico); e em paralelo (o motor de combustão interna aciona as rodas paralelamente ao motor elétrico), conforme ilustra a Figura 4.2.

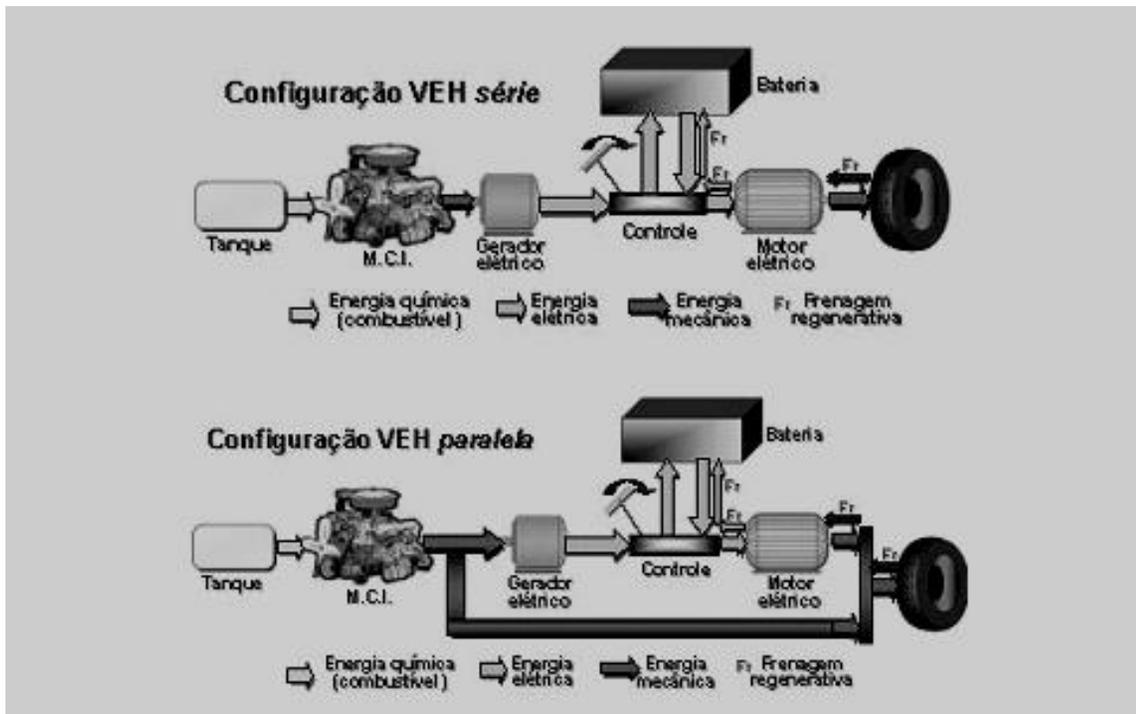


Figura 4.2: Diagrama simplificado de funcionamento de um veículo híbrido elétrico

Fonte: ABVE, 2010.

Os veículos híbridos se beneficiam de uma maior eficiência na utilização do MCI, permitindo-lhe operar quase que continuamente em cargas ótimas. Isto porque o motor e o sistema de bateria processam o pico de potência exigida e a potência do motor pode ser deslocada para recarregar as baterias durante períodos de baixa carga (EIA, 2008b). As vantagens destes veículos, em relação a um veículo convencional, incluem a redução de emissões atmosféricas de poluentes e GEE, redução do consumo de combustível (principalmente no perímetro urbano), menor ruído e maior autonomia (CHAU & WONG, 2002, *apud* SMITH, 2010). De acordo com a

ABVE (2010), a economia de combustível é de no mínimo 10% comparando-se com o veículo equivalente movido apenas com MCI. Já de acordo com IEA (2008b), melhorias de 15% são conseguidas através do *kers*. As reduções das emissões de CO₂ podem chegar a 50% e de hidrocarbonetos e NO_x em até 90% (ABVE, 2010).

Veículos híbridos elétricos na configuração em paralelo já estão disponíveis no mercado. O Toyota Prius é vendido no Japão desde 1997 e nos EUA e Europa desde 2000. O Prius vem obtendo sucesso comercial, apesar dos custos relativamente mais elevados em relação aos preços dos seus principais concorrentes – já superando a marca de um milhão de unidades comercializadas em todo o mundo. O Prius é considerado um veículo híbrido, pois, apesar de funcionar com um motor a combustão interna na maior parte do tempo, o motor elétrico é carregado através da frenagem regenerativa atuando como um motor auxiliar e, portanto, aumentando consideravelmente a eficiência energética global do veículo (IEA, 2008b). Quando o Prius atinge uma velocidade maior, o MCI passa a movimentar o veículo, minimizando a atuação do motor elétrico. O exemplo do Prius, foi seguido por muitas outras marcas e modelos de veículos nos últimos anos, e é esperado que os mais importantes fabricantes ofereçam, pelo menos, um modelo híbrido (ou um modelo híbrido como opção por classe) nos próximos anos⁴⁰. O Ford Fusion híbrido mesmo possuindo motor 2.0 apresenta desempenho em trechos urbanos superiores até que os veículos 1.0 com melhores desempenhos vendidos no mercado brasileiro – ainda que apresente maior peso e potência que os citados veículos 1.0.

4.3.8.1. Ônibus híbrido – motor elétrico e a óleo Diesel

A cidade de Nova York possui a maior frota de ônibus híbridos dos Estados Unidos. São cerca de 850 ônibus híbridos a óleo Diesel que circulam diariamente entre os cinco distritos da cidade. Como vantagem, esses ônibus apresentam menores emissões de MP e NO_x, além de serem mais silenciosos, em comparação aos modelos tradicionais. A grande desvantagem é o seu preço, cerca duas vezes maior que um ônibus a óleo Diesel convencional, contudo, este valor já

diminuiu cerca de 50% desde o início de sua utilização, no ano de 1998 (NEW YORK TIMES, 2009, *apud* SMITH, 2010).

Com a operação híbrida, há uma redução de 35% no consumo de combustível e de 80% a 90% na emissão de poluentes pelo escapamento, em comparação com os ônibus a óleo Diesel tradicionais. O motor elétrico é utilizado no momento da partida e em velocidades baixas. A partir de 20 km/h, o motor a Diesel também inicia a operação. Estudos da empresa Volvo demonstram que o tempo que o veículo fica parado pode representar até 50% do período total de operação do ônibus. Durante o tempo que o ônibus estiver parado, não há emissões de poluentes, pois o motor Diesel desliga completamente (PORTAL G1, 2010).

A previsão é de que a fábrica da Volvo no Brasil, fabricante do ônibus, tenha a capacidade de produzir 4.000 veículos por ano quando estiver totalmente operante – o que é previsto para 2014. A fábrica será instalada em Curitiba, no Paraná, e atenderá toda a América Latina. Caso os testes sejam aprovados, os ônibus serão incorporados à frota no processo de renovação dos veículos. O ônibus irá operar em uma linha que liga a Cidade Universitária (USP – São Paulo), na Zona Oeste, com o bairro Aclimação, na Zona Sul. Na linha, circulam cinco veículos – e o híbrido será um deles, para que os desempenhos possam ser comparados. O ônibus já foi testado em Curitiba, onde os resultados foram positivos (PORTAL G1, 2010).

4.4. Materiais avançados

Existem muitas oportunidades potenciais para diminuir a massa dos veículos, seja através da utilização de materiais substitutos no chassi, carenagem e nos componentes do motor. Exemplos incluem a utilização de ligas de alumínio e de magnésio, em vez de aço carbono, para as rodas e componentes do motor, bem como o aumento do uso de plásticos, fibra de carbono e outros materiais leves no veículo em geral (IEA, 2008b). Outros exemplos são: deslocamento das

⁴⁰ Atualmente a sua penetração de mercado nos países da OCDE é de cerca de 3% (IEA, 2009b). Atualmente também são vendidos 32 modelos de veículos híbridos no mercado norte-americano (EPA, 2010, *apud* SMITH, 2010).

ligas a base de ferro e aço para o alumínio e deslocamento de aços convencionais para os de alta resistência – mais leves (WBCSD, 2003).

O uso disseminado de materiais avançados leves poderá render ganhos substanciais de economia de combustível, conforme assume os Cenários BLUE Map da Agência Internacional de Energia (IEA, 2008b). Alguns materiais substitutos exigem significativas revisões nas suas concepções (por exemplo, veículos totalmente fabricados em alumínio, ou veículos construídos com utilização de grandes quantidades de materiais compósitos). Em tais circunstâncias, os custos são suscetíveis de aumentar (especialmente em uma indústria que tem construído automóveis utilizando aço há várias décadas). Esta é uma das razões pelas quais veículos com massa muito baixa, que dependem em grande medida de materiais compósitos, tais como o "Hypercar"⁴¹ (LOVINS, 2004, *apud* IEA, 2008b), não tenham sido bem sucedidos até o momento.

Em todos os Cenários BLUE Map, os materiais mais leves, incluindo aço de alta resistência e alumínio, são assumidos para, progressivamente, atingir 25% de redução de massa em 2050 com um custo adicional estimado de cerca de US\$ 1.000 por veículo (IEA, 2008b). Somando-se a melhorias em outras tecnologias, estima-se que a este resultado pode-se adicionar mais 10% de redução no consumo de combustível desses veículos (IEA, 2008b).

No longo prazo, os materiais compósitos podem tornar-se mais amplamente utilizados se os seus custos – mais elevados – forem compensados pela economia de combustível resultante dos altos preços do combustível, ou através da diminuição dos custos de produção se forem produzidos em larga escala (*learning curve* – curva de aprendizagem). Se as questões relacionadas com as debilidades intrínsecas das estruturas produzidas em fibra de carbono – como a sua alta sensibilidade transversal para cargas – forem resolvidas, os veículos com grandes quantidades de fibra de carbono na sua estrutura poderiam tornar-se um importante contribuinte para a redução do consumo de combustível e as emissões de GEE do setor de transportes (IEA, 2008b).

⁴¹ Possui metade do peso de um carro convencional similar devido a sua carroceria ser de fibra de carbono, o que proporciona também maior segurança aos passageiros, devido a maior resistência em caso de impacto.

Diferentes materiais proporcionarão diferentes potenciais para redução da massa dos veículos. A regra geral é que uma redução de 10% em peso do veículo pode produzir uma economia de combustível entre 5 e 7%, desde que o *powertrain* do veículo também seja modificado (IPAI, 2000). Se o peso do veículo for reduzido, mas nenhuma mudança for realizada no *powertrain*, a economia de combustível será menor – geralmente entre 3 e 4% (WBCSD, 2004). A economia real depende, evidentemente, do veículo em questão e do ciclo de condução. Adotando o ponto médio deste intervalo de 5 e 7%, e traduzindo percentagens em números absolutos, a economia de combustível projetada é de 0,46 litros de gasolina para cada 100 km rodados, orientado para cada 100 kg de massa reduzida. Este valor se aplica a um veículo de médio porte na América do Norte com um peso bruto de 1.532 kg. Sobre a vida útil de um veículo (supostamente 193.000 km), esta economia de combustível reduz as emissões de CO₂ em 25,3 kg para cada kg de peso reduzido (WBCSD, 2004).

A substituição de materiais mais leves, principalmente nos componentes do motor, vem sendo cogitada como alternativa promissora para aumentar a eficiência do veículo. Contudo, principalmente nos Estados Unidos, a redução de massa é vista como algo que depõe contra a segurança dos passageiros (SCHMITT, 2010). Essa opinião é contestada pelo estudo capitaneado pela JAMA (2009), que afirma que a substituição por materiais mais leves não traz perda de segurança.

4.5. Aerodinâmica

Arrasto aerodinâmico é o resultado da pressão e forças de atrito que são transmitidas para um veículo que se move através do ar. O tamanho do veículo e sua forma externa – geralmente relacionada com a função⁴² para o qual o veículo foi projetado – são fatores que influenciam na aerodinâmica, e conseqüentemente, no consumo de combustível do veículo.

⁴² Os requisitos funcionais: número de ocupantes disponíveis, espaço para bagagem, caçamba e altura do chassi em relação ao solo; são os parâmetros mais importantes na determinação da resistência aerodinâmica global do veículo.

Muitas das oportunidades mais óbvias para a redução do arrasto em LDVs já foram instaladas nos veículos. Atualmente, o arrasto dos LDVs está em níveis baixos. Melhorias são suscetíveis de serem alcançadas de forma incremental no curto prazo, em detrimento das características relacionadas ao *design* (“estética”) do veículo. Wood (2004, *apud* WBCSD, 2004), estima que 16% da energia total consumida nos veículos nos EUA é somente para superar o arrasto, fornecendo, portanto uma visão global do papel que a aerodinâmica possui sobre o consumo de combustível do veículo. Contudo, a preferência dada ao cliente para muitos aspectos utilitários e funcionais dos LDVs e as pressões econômicas do consumidor em favor da estética, farão, provavelmente, que diminuições adicionais do arrasto sejam de difícil obtenção. No entanto, ainda há grande potencial de redução do arrasto aerodinâmico nos ônibus (WBCSD, 2004).

Segundo estudo capitaneado pela IEA (2009a), excluindo-se as perdas do sistema de tração do veículo, o arraste aerodinâmico é responsável por 25% das perdas remanescente em ciclos urbanos e de 40-45% em ciclos rodoviários. As reduções do coeficiente aerodinâmico são maiores se ocorrerem mudanças de projeto do modelo do veículo; contudo, reduções consideráveis podem ser atingidas mesmo mantendo-se basicamente o mesmo modelo (DOT, 2008).

O desempenho aerodinâmico de um veículo depende, principalmente, de sua forma e altura. Normalmente o coeficiente aerodinâmico (C_x) dos veículos leves varia entre 0,25 a 0,38, enquanto os SUVs apresentam C_x entre 0,35 a 0,45 (BANDIVADEKAR *et al.*, 2008, *apud* SMITH, 2010). Urge ressaltar que veículos com coeficiente aerodinâmico de 0,22 já foram projetados (NAS, 2010). Segundo Schmitt (2010), valor aceitável para redução desse coeficiente seria 0,27. De acordo com KASSERIS (2006), nos próximos 25 anos, este coeficiente pode chegar a 0,21 para modelos de veículos leves, como o modelo sedan da montadora Toyota, o Camry.

Reduções da ordem de 10% no arraste aerodinâmico podem resultar em reduções de até 2% no consumo de combustível dos veículos (NRC, 2006, *apud* SMITH, 2010).

Outros fatores importantes que influem no C_x são: a substituição do espelho retrovisor por mini-câmaras de vídeo, maior inclinação do para-brisa, *spoilers* dianteiros e traseiros, áreas de entrada de ar frontal, aerofólios, cobertura das rodas do veículo, entre outros (NRC, 2008, *apud* SMITH, 2010). Contudo, tais medidas, podem acarretar em perda de conforto, segurança e aumento de peso dos veículos.

4.6. Pneumáticos

A resistência ao rolamento⁴³ dos pneus é dependente da carga que está depositada sobre os pneus e a pressão dos pneus. Pneus calibrados abaixo da pressão nominal aumentam a superfície de contato com o solo aumentando a resistência ao rolamento (SCHMITT, 2010). A utilização de pneumáticos dotados de um bom desempenho pode reduzir o consumo de energia dos veículos leves em cerca de 5%, fato que deveria encorajar a sua venda, não só nos novos veículos, mas também na subseqüente substituição dos pneumáticos (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2005).

Um melhor controle da pressão dos pneumáticos pode também contribuir para reduzir o consumo. Entre 45% a 70% dos veículos circulam com pelo menos um pneumático abaixo da pressão recomendada, o que provoca 4% de aumento do consumo, além de aumento de risco de acidente e desgaste adicional nos veículos (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2005). Assim, deveria ser considerada a possibilidade de se instalar sensores de pressão dos pneumáticos no painel de instrumentos dos veículos.

De acordo com estudos da *Transportation Research Board* (TRB, 2006, *apud* SCHMITT, 2010), a redução média da resistência ao rolamento em 10% seria técnica e economicamente factível. A resistência ao rolamento dos veículos norte-americanos é em média de 0,009 (para veículos grandes – sedans e SUVs) e que valores da ordem de 0,006 poderiam ser atingidos

⁴³ Segundo Kasseris (2006), a resistência ao rolamento é causada pela perda de energia devido às características viscoelásticas da borracha (efeito da histerese) em decorrência do processo repetitivo de deformação do pneu em contacto com o solo. A resistência ao rolamento é dependente do formato, do material e da calibragem dos pneus (NRC, 2006, *apud* SMITH, 2010).

principalmente através de pneus com perfis menos largos e calibrações constantes. Nesse sentido, o aumento de autonomia por litro seria em torno de 2%, sendo que tais reduções podem alcançar 3% nos próximos 20 anos (KASSERIS, 2006). De acordo com a *Energy Conservation Center Japan* (ECCJ, 2007), a redução da resistência ao rolamento é apontada como solução factível de aumento de eficiência energética dos veículos japoneses, fazendo parte, inclusive, do programa de eficiência energética japonês *Top Runner*.

4.7. Transmissão

A transmissão do veículo pode ser dividida em manual, automática e continuamente variável. Em geral, as transmissões manuais atingem até 97% de eficiência, enquanto que as transmissões automáticas, geralmente, alcançam eficiência em torno de 85% (IEA, 2009a), podendo alcançar entre 93 a 97%, se a transmissão automática for de 6 ou 7 marchas (NAS, 2010).

A principal diferença entre os sistemas de transmissão convencionais e a chamada “continuamente variável” (*continuous variable transmission*) está na possibilidade de razões de velocidade motor/roda. Enquanto que no sistema de transmissão tradicional há um número reduzido de marchas (geralmente 5 mais a ré) no sistema continuamente variável há uma quantidade muito maior de possibilidades. Nesse último, há um sistema de polias de diâmetros variados conectados através de correias, permitindo essa variedade muito maior de possibilidades de razões de velocidade motor/roda, fato esse que otimiza a transmissão, gerando ganhos de eficiência global nos veículos de até 6% (NRC, 2002).

A maior parte dos veículos vendidos nos Estados Unidos e no Japão utilizam transmissão automática, com tendência menos marcante na Europa. Nos EUA e no Japão ocorre uma marcante tendência de utilização da transmissão do tipo continuamente variável (SCHMITT, 2010).

No Brasil, a grande maioria dos veículos já possui transmissão manual, que é a mais eficiente. Contudo, nos últimos anos, tem havido um crescimento nas vendas de veículos com transmissão automática (SCHMITT, 2010, ANFAVEA, 2011). Dessa forma, a simulação de uma alteração de padrão da transmissão no Brasil não está contemplada nas simulações dos capítulos 6 e 7.

4.8. Componentes não *powertrain*

Melhorias na maioria dos acessórios veiculares (iluminação e ar condicionado, por exemplo) não são devidamente capturadas nos procedimentos de ensaio de economia de combustível, nos países da OCDE, de modo que há pouco incentivo para os fabricantes realizar melhorias nesses componentes (ECMT, 2005). Modificações nos procedimentos de ensaio, ou a introdução de novos ciclos de ensaio (por exemplo, com ar condicionado funcionando e/ou com as luzes ligadas) poderia ajudar a fomentar tais melhorias. Para o pós venda (*aftermarket*), a informação aos consumidores sobre a eficiência de certos produtos, como pneus e óleos lubrificantes, por exemplo, pode influenciar em escolhas mais eficientes por parte dos compradores de veículos (IEA, 2008b).

A simples mudança do sistema elétrico dos veículos de 12 V para 42V, pode ser implementada nos veículos com ganhos próximos de 1% de eficiência energética global nos veículos, sem acarretar em maiores custos (NHTSA, 2009, *apud* SMITH, 2010). A voltagem de 42V permite, também, a introdução de tecnologias automotivas mais eficientes, como a direção elétrica assistida, sistemas de freio eletromecânicos e a diminuição de peso em cabos elétricos⁴⁴ (NRC, 2002).

Outro componente não *powertrain* que propicia razoável aumento na autonomia do veículo automotor são os chamados sistemas de partida integrada. Esses sistemas desligam o motor automaticamente quando o veículo para e o liga instantaneamente quando o acelerador é

⁴⁴ Sistemas de 12 V precisam de cabos elétricos mais grossos para suportar uma corrente mais alta (SMITH, 2010).

pressionado (SMITH, 2010). Esse sistema é particularmente interessante para o trânsito “pesado” nos grandes centros urbanos e seu desempenho é otimizado quando aplicado em veículos elétricos híbridos. Esta tecnologia pode alcançar de 4 a 7% de melhoria no consumo de combustível, dependendo das condições de trânsito (NRC, 2002).

4.9. Sinergia entre diferentes tecnologias incrementais para emprego nos LDVs no horizonte de tempo desse Estudo

Uma série de diferentes tecnologias veiculares, principalmente para o *powertrain*, está atualmente disponível para uso comercial no curto prazo. Essas configurações incluem veículos ciclo Otto a gasolina e ciclo Diesel, ambos nas configurações convencional, avançada e híbrido.

A Tabela 4.1 extraída do estudo da IEA (2008b), estima a melhora na eficiência no consumo de combustível nos LDVs para diferentes incorporações de tecnologias automotivas para 6 diferentes configurações do veículo. A Tabela 4.1 informa também os correspondentes custos associados à incorporação dessas tecnologias. Nesse contexto, "avançado" se refere a veículos que utilizam projetos de motores com algumas das opções anteriormente analisadas ao longo do presente Capítulo – como o comando de válvulas variável e *turbocharging*, por exemplo (IEA, 2008b).

Todas as tecnologias listadas na Tabela 4.1 já são comerciais, em pelo menos algum segmento do mercado de automóveis. Os seus custos são suscetíveis de serem compensados pelas economias no consumo de combustível que eles oferecem. Isto é particularmente verdadeiro em uma análise em que se incluem os benefícios socioambientais e, por conseguinte, levando também em consideração todo ou pelo menos a maior parte do combustível utilizado durante o ciclo de vida do veículo (IEA, 2008b). Espera-se que a maior parte das melhorias da eficiência energética dos veículos convencionais derivem a partir das atuais tecnologias através de mudanças no projeto dos veículos que já estão comercialmente disponíveis e não a partir de tecnologias inovadoras – o que diminui sensivelmente os custos dessas tecnologias e as barreiras para sua implementação. Contudo, tecnologias inovadoras, principalmente no que tange novos

projetos de motores são também esperadas de acontecer no horizonte de tempo previsto nesse Estudo.

Tabela 4.1: Potencial de economia de combustível advindo de melhoria nos componentes pertencentes ao powertrain e nos componentes não pertencentes ao powertrain

	Gasolina Convencional	Gasolina Avançado	Gasolina Híbrido	Diesel Convencional	Diesel Avançado	Diesel Híbrido
Pneus	1,5 - 4%	1,5 - 4%	1,5 - 4%	1,5 - 4%	1,5 - 4%	1,5 - 4%
Aerodinâmica	0,5 - 4%	0,5 - 4%	0,5 - 4%	0,5 - 4%	0,5 - 4%	0,5 - 4%
Melhores aparelhos[1]	0 - 2%	0 - 2%	0 - 2%	0 - 2%	0 - 2%	0 - 2%
Luzes	0,5 - 4%	0,5 - 4%	0,5 - 4%	0,5 - 4%	0,5 - 4%	0,5 - 4%
Materiais substitutos [2]	10 - 11%	10 - 11%	10 - 11%	10 - 11%	10 - 11%	10 - 11%
Comando de válvulas variável [3]		6 - 8%	5 - 6%	7 - 9%	7 - 9%	2 - 3%
Turbocharging		2 - 3%		3 - 4%	3 - 4%	
Injeção direta		3 - 5%	1 - 2%	5 - 7%	5 - 7%	7 - 8%
Melhorias na combustão		2 - 3%	2 - 3%		1 - 2%	3 - 4%
Partida integrada	0,5 - 3%	0,5 - 3%			0,5 - 2%	
TCV [4]	5 - 6%	5 - 6%		5 - 6%	5 - 6%	
Sistemas Híbridos			16 - 18%			15 - 17%
Faixa de aumento de eficiência energética	14 - 27%	28 - 45%	40 - 52%	30 - 43%	32 - 47%	40 - 55%
Média eficiência [5]	15%	31%	46%	31%	34%	47%
Faixa de custo [6]	1500 - 1800	2800 - 3400	4000 - 5400	2500 - 3400	3000 - 3600	4200 - 5600
Média custo	1650	3100	4700	2950	3300	4900

Fonte: IEA, 2008b.

[1] Como, por exemplo, o ar-condicionado.

[2] Redução de 25% da massa total do veículo.

[3] Maiores taxam de compressão, sem regulador de pressão.

[4] Transmissão continuamente variável (substitui transmissões automáticas).

[5] Descontando os ganhos com uso de transmissão continuamente variável, pois os veículos no Brasil possuem, em sua grande maioria, transmissão manual.

[6] Alteração do preço do veículo, em USD.

A despeito de todo o levantamento sobre tecnologias disponíveis no mercado com potencial real de aumento da eficiência energética, esse Estudo optou por utilizar as tecnologias listadas na Tabela 4.1 nas simulações dos cenários alternativos propostos nos capítulos 6 e 7. O principal motivo da escolha dessas tecnologias, em detrimento de muitas que foram analisadas ao longo do presente Capítulo, é que o estudo da IEA (2008b) apresenta, além da faixa de aumento da EE,

também a faixa de custo de implementação dessa tecnologias. Essas mesmas tecnologias para os veículos ciclo Otto a gasolina foram também simuladas para os veículos dedicados a etanol hidratado e para os veículos *flex fuel*.

4.10. Tecnologias com potencial de mitigação para se tornarem competitivas após 2030

4.10.1. Veículos elétricos

A eficiência energética dos motores exclusivamente elétricos é cerca de três vezes maior do que os a dos motores a combustão interna, mesmo os acoplados com frenagem regenerativa (IEA, 2008b). Essa característica dos motores elétricos traz implicações importantes no que tange à escolha do consumidor na compra do veículo. Mesmo que o preço do veículo elétrico seja superior ao preço do veículo convencional com motor a combustão interna, a maior eficiência do VE pode levar os consumidores a preferí-lo, pois a economia com “combustível” ao longo dos anos tende a compensar esse custo maior na aquisição de um VE em detrimento a um ICEV. A economia real (financeira) dependerá da relação dos preços dos combustíveis tradicionais em relação à eletricidade, com isso, economias da ordem de 50% por quilômetro não são improváveis de ocorrer.

Segundo FRIEDMAN (2003), o conceito do veículo elétrico a bateria é mais simples se comparado ao motor de combustão interna. Veículos elétricos “puros” (sem motor de combustão interna) se beneficiam da remoção de todo o sistema mecânico do veículo relacionado ao motor de combustão interna (sistema de refrigeração, lubrificação e transmissão, além do tanque de combustível), proporcionando uma economia de até US\$ 4.000 por veículo em comparação com os ICEVs (IEA, 2008b). Outras vantagens dos veículos elétricos é que os mesmos não possuem problemas de vazamento de óleo, não emitem poluentes e são muito mais silenciosos.

Veículo elétrico híbrido *plug-in* é um tipo de veículo elétrico (podendo apresentar configuração em série ou paralelo) que possui bateria de maior capacidade, que pode ser

recarregada na rede elétrica. Nos trajetos mais curtos (pendulares), o veículo seria acionado apenas pelo motor elétrico, anulando qualquer emissão direta de poluentes e GEE. Nos intervalos de inatividade, o veículo seria carregado na rede elétrica. Para trajetos de longas distâncias, onde a autonomia da bateria seja insuficiente, o motor de combustão interna entraria em ação, igual ao VE híbrido descrito anteriormente. Contudo, apresenta como desvantagens o alto preço de aquisição e o longo tempo para recarregar as baterias (para operação exclusivamente elétrica). Segundo estudo de DIORIO & BRADY (2008), o custo de capital para transformar um veículo convencional para VE híbrido *plug-in* seria de US\$ 10 mil, sendo necessário um crédito de US\$ 3,7 mil (supondo a gasolina a US\$ 3,00 por galão) para viabilizar economicamente a compra do veículo (SCHMITT, 2010).

Portanto, a competitividade dos veículos elétricos híbridos *plug-in*, e também dos VE à bateria, está intimamente atrelada aos avanços tecnológicos das baterias, principalmente no binômio custo e autonomia. Urge ressaltar que os veículos híbridos *plug-in* precisam de baterias de menor capacidade em relação a um VE à bateria, e de pelo menos cinco vezes mais capacidade de bateria que um VE híbrido “comum” (IEA, 2009b).

Outro exemplo diferenciado de VE híbrido é o modelo C-X75, desenvolvido pela montadora Jaguar Land Rover no ano de 2010. O C-X75 é um veículo do tipo “superesportivo” provido por 2 microturbinas a gás, com apenas 5% do tamanho e peso de um motor convencional, que são utilizadas apenas para recarregar as baterias. Essas microturbinas possuem menos de 10 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento e uma única peça móvel. Esse veículo é totalmente inovador, por possuir uma microturbina ao invés de um motor de combustão interna. O movimento do automóvel é realizado apenas pelos motores elétricos, o uso de uma turbina é somente para acionar o gerador que recarrega as baterias. Com isso a turbina pode operar em rotação constante, na qual sua eficiência é otimizada, dispensando o uso de um complexo sistema de transmissão.

A vantagem das turbinas em relação aos motores convencionais consiste em poder utilizar diferentes combustíveis, eventualmente, caracterizados por induzirem à eficiência energética superior do veículo como um todo. Apesar disso, não são utilizadas em automóveis de forma

direta por terem uma resposta muito lenta aos comandos do acelerador. Outra desvantagem do uso direto de uma turbina a gás para acionamento das rodas consiste na demora no arranque e na necessidade de um complexo sistema de transmissão.

Mesmo sendo um “superesportivo” (não foi projetado para otimizar a economia de combustível, mas sim a potência do motor), o C-X75 possui autonomia de cerca de 800 km utilizando apenas combustíveis convencionais em um tanque de 60 litros de capacidade, fora os cerca de 100 km “extras” que ele pode rodar utilizando apenas a energia das baterias, se as mesmas estiverem carregadas. Esse exemplo do C-X75 abre possibilidades enormes em termos de eficiência energética, se a mesma tecnologia de microturbinas fosse implementada em veículos convencionais de menor cilindrada.

4.10.2. Veículo a célula a combustível

No veículo elétrico de célula a combustível, a energia elétrica é obtida a bordo do veículo a partir de um processo eletroquímico em que o combustível hidrogênio transforma-se diretamente em eletricidade. Veículos de célula a combustível oferecem maior eficiência energética global em relação aos ICEV (IEA, 2008b). Essa energia gerada desempenha duas funções: alimentar o motor elétrico e recarregar a bateria. Segundo a IEA (2008b) estima-se que essa tecnologia só esteja disponível dentro de no mínimo 10 anos. Contudo, a ampla utilização de tecnologia de célula a combustível por parte dos LDVs é muito improvável antes de 2030. Os FCVs (*fuel cell vehicle* ou veículos a célula a combustível) ainda possuem custos de produção elevados, tornando-os não competitivos, em relação aos ICEVs. Desafios tecnológicos e obstáculos em relação à modificação da atual infraestrutura de abastecimento, também necessitam ser superados (IEA, 2008b). A utilização de hidrogênio através de células a combustível parece mais provável de ocorrer para automóveis, ônibus e caminhões urbanos, pelo menos no médio prazo (IEA, 2008b). O setor ferroviário também poderia ser um usuário de hidrogênio, possivelmente utilizando células de combustível maiores, desenvolvidas para aplicações estacionárias (IEA, 2008b).

Os FCVs podem utilizar o hidrogênio como combustível veicular de forma direta, onde o H₂ é estocado no tanque, e de forma indireta, onde o H₂ é gerado a bordo através de um sistema de reforma⁴⁵ – que converte os compostos orgânicos presentes, por exemplo, na gasolina, óleo Diesel, gás natural, etanol e metanol, em H₂, evitando, assim, a necessidade de estocagem do H₂ no veículo e a modificação da atual rede de distribuição de combustíveis (SMITH, 2010). Nesse caso, o uso do combustível H₂ pode se mostrar um vetor energético mais equilibrado, devido à sua obtenção a partir de diversas fontes (PORTAL H2, 2006).

Outra característica atraente dos FCV é a garantia de que as emissões veiculares permanecerão em nível zero, se o H₂ vier de uma fonte renovável, ou através do processo CCGS⁴⁶ (*carbon capture and geological storage* – captura e sequestro geológico de carbono), mesmo quando o veículo se tornar obsoleto e seu proprietário não mantiver uma boa conservação (WBCSD, 2004). Os veículos elétricos e os veículos movidos à célula a combustível não são considerados nas projeções dos capítulos 6 e 7 desse Estudo pelo fato de que, provavelmente, essas tecnologias só se tornarão competitivas, em relação aos ICEVs, no longo prazo, ou seja, após 2030 ou próximo de 2030 (EIA, 2008b).

4.11. Conclusões do Capítulo 4

Estudos desenvolvidos por WBCSD (2004); KASSERIS (2006); KASSERIS & HEYWOOD (2007); BANDIVADEKAR *et al.* (2008, *apud* SMITH, 2010); IEA (2008b); e NAS (2009), indicam que os MCI serão o principal sistema de propulsão nos próximos 25 anos e a introdução de tecnologias automotivas incrementais será provavelmente o caminho mais utilizado para o aumento da eficiência energética da frota de veículos leves. Uma das principais tecnologias para aumento da autonomia dos ICEV é tornando-os veículos híbridos, com o acréscimo do *kers*,

⁴⁵ Reforma é o nome do processo utilizado para extrair o hidrogênio de um combustível.

⁴⁶ O CCGS envolve a captura do CO₂ produzido na combustão dos combustíveis fósseis, seu transporte e sua injeção no subsolo, evitando o seu escape para a atmosfera. Jazidas de petróleo e de gás natural, aquíferos e jazidas de carvão sem atividade de extração são as principais formações geológicas utilizadas para essa estocagem de dióxido de carbono. Muitas críticas são reaiçadas devido as incertezas na permanência dos gases nessas estruturas geológicas.

como o Toyota Prius. Medidas suplementares e de grande valia podem ser alcançadas pela combinação de melhorias na aerodinâmica, redução da resistência ao rolamento (inclusive pneus de rolamento de baixa resistência e sensores que indicam calibração inadequada), redução do peso do veículo e aumento da eficiência do motor, fazendo-o operar em melhores condições de eficiência.

As medidas apresentadas possuem apelo maior nos motores ICE convencionais a gasolina, pois os mesmos possuem uma gama maior de tecnologias disponíveis para o aumento da eficiência energética (destacando-se *downsizing* do motor e adição de um turbocompressor) (KASSERIS & HEYWOOD, 2007). Soma-se a isso, o fato dos motores ciclo Diesel terem que atender às normas mais rigorosas, em termos de emissões de poluentes, especialmente óxidos de enxofre, que tenderão a causar perda na sua eficiência energética (NAS, 2009).

Porém, como mostram diversos estudos da IEA, após 2030 – 2035, os veículos elétricos oferecerão ganhos cada vez maiores na redução do consumo de combustível e preços-prêmio menores. Nesse cenário, os veículos híbridos e híbridos *plug-in* poderão ser uma “ponte” para a introdução de outras tecnologias de propulsão mais avançadas, como os veículos com propulsão elétrica pura (VE), ou híbridos a célula a combustível (SMITH, 2010). Contudo, esse cenário de longo prazo favorável aos veículos elétricos depende, sobremaneira, que as baterias melhorem de desempenho e principalmente de custos; concomitantemente deve ocorrer também superação das barreiras de infraestrutura de abastecimento. Para que esse quadro favorável aos VE se concretize, precisa-se, além de, no mínimo, dobrar os atuais investimentos em P&D, de atuações incisivas por parte dos governos através de políticas de apoio a fontes não poluentes, tendo não só a eletricidade e o hidrogênio como grandes “carros chefes”, como também a biomassa (IEA, 2008b).

Urge ressaltar que, a despeito do enorme potencial de mitigação nas emissões de GEE dos VE em geral, se essa energia não for produzida através de fontes primárias não poluentes (nuclear); e/ou renováveis (energia solar, eólica, biomassa); e/ou fósseis (carvão, gás natural, petróleo) com CCGS, a sustentabilidade do setor de transporte não será alcançada.

O próximo Capítulo analisa os principais combustíveis utilizados no setor de transportes com ênfase nos biocombustíveis.

5. Combustíveis

Assim como o Capítulo 4 analisou em termos de viabilidade técnica, econômica e potencial de mercado uma vasta gama de tecnologias para aumentar a eficiência energética dos LDVs, esse presente Capítulo faz uma análise semelhante para os combustíveis para utilização no setor de transportes rodoviário no curto, médio e longo prazo. Essas análises envolvem tanto os combustíveis tradicionais (derivados de petróleo, gás natural e biocombustíveis de 1º geração – etanol e o biodiesel) quanto os combustíveis alternativos – combustíveis sintéticos, hidrogênio e os biocombustíveis de 2º geração.

5.1. Introdução – Combustíveis de origem fóssil

Se nada de inovador surgir para mudar o quadro atual dos preços dos combustíveis, provavelmente a gasolina e o óleo Diesel continuarão sendo os principais combustíveis de transporte rodoviário até 2030, ao menos (IEA, 2008b). Economias globais desenvolveram-se ao redor destes combustíveis, com investimento significativo nos processos de produção e nas redes extensivas de infraestrutura de fornecimento existentes. Nesse contexto, investimentos em outros tipos de combustíveis são elevados e de alto risco, devido a demanda das frotas ser calcada quase que predominantemente pelo uso de gasolina e óleo Diesel, somado à difundida disponibilidade de infraestrutura de distribuição desses combustíveis. Misturas cada vez maiores de etanol anidro na gasolina e de biodiesel e/ou BtL Diesel, conjuntamente com o uso de motores *flex fuel* operando preferencialmente com etanol hidratado em detrimento a gasolina, é uma solução factível para diminuir a intensidade de carbono do setor de transportes mundial, em termos técnicos e econômicos (IEA, 2008b).

No curto e médio prazo, a gasolina e o óleo Diesel com baixo nível de dióxido de enxofre serão padrões nos países desenvolvidos e na maioria dos países em desenvolvimento. Isso torna

maiores as probabilidades de substitutos do petrodiesel que possuem baixos teores de enxofre (BRANCO, 2008).

Esses combustíveis com baixo nível de SO₂ são necessários para possibilitar a operação eficaz dos veículos atuais e futuros com tecnologias menos poluidoras e para reduzir a deterioração dos catalisadores dos veículos mais antigos, além de cumprir portarias ambientais mais rigorosas. Esta profunda dessulfurização requer uma grande quantidade de energia, principalmente devido ao alto consumo de hidrogênio nos processos de refino. Sendo assim, melhorias nas emissões locais acarretam elevação dos custos e aumento nas emissões de CO₂ nas refinarias. Logo, faz sentido coordenar a produção desses combustíveis de baixo enxofre através de processos que envolvam menos quantidades de energia e menos emissões de CO₂. Nesse contexto, ganham importância os combustíveis sintéticos BtL Diesel, produzido através do uso da biomassa, e o Diesel FT, produzido, principalmente, através do uso do GN como insumo (ambos são abordados a *posteriori* nesse Capítulo).

Os combustíveis sintéticos, utilizando o gás natural ou a biomassa como insumo, possuem como grande vantagem o uso da infraestrutura de fornecimento existente, sem necessidades de sofrerem maiores modificações – já que os mesmos são líquidos na temperatura ambiente. Seus custos mais elevados são a sua maior desvantagem. Já o GLP e o GNV, exigem um nível significativo de investimento em infraestrutura de distribuição. Este investimento representa um grande obstáculo econômico para seu uso extensivo.

Os custos com infraestrutura aumentam significativamente à medida que os líquidos armazenados sob-baixa pressão, como o GLP, por exemplo, são transformados em combustíveis gasosos que exigem armazenamento sob alta pressão, como GNC (gás natural comprimido). O GLP derivado do petróleo bruto ou gás condensado, requer somente um tanque pressurizado na infraestrutura com distribuição feita basicamente por caminhões ou vagões ferroviários. O GNC exige uma distribuição mais sofisticada e segura e uma maior rede de armazenamento (WBCSD, 2004).

Os combustíveis GNC e GLP têm méritos no controle de emissões locais ou para uso em frotas de veículos em áreas urbanas onde o investimento pode ser localizado e justificado com base na redução de emissões locais comparadas às das frotas que utilizam somente derivados de petróleo. Os ICEV convencionais e híbridos que utilizam combustíveis gasosos demandam conversão especializada. Quase todos operam com ignição por centelha e, para atingir o desempenho ótimo, combustíveis gasosos devem ser usados, preferivelmente, em veículos com combustíveis exclusivos, ao invés de em sistemas bicombustível, ou sistemas com dualidade de combustíveis, onde os ajustes associados à operação bicombustível significam que o veículo opera em condições inferiores para ambos os combustíveis. Entretanto, veículos bicombustíveis, como os *flex fuel* a etanol ou gasolina C, são uma realidade para consumidores que não querem comprar veículos com um combustível alternativo exclusivo e para aqueles que desejam utilizar combustíveis alternativos quando uma das duas opções for a mais atraente.

Estima-se que, por volta de 2030, a infraestrutura de reabastecimento mundial do GLP terá expandido, já que a instalação de novos postos de reabastecimento não é dispendiosa. Nesse sentido, o GLP permanecerá, provavelmente, como um combustível de “nicho” na maioria dos mercados, embora possa, talvez, ser mais amplamente utilizado em mercados nacionais pontuais (WBCSD, 2004).

5.2. Potencial do gás natural como combustível de transição

Como as emissões dos veículos em geral devem ser reduzidas substancialmente no futuro e o aumento da eficiência energética possui alcance limitado, o GN pode vir a apresentar um papel importante na mitigação das emissões de GEE. De fato, no contexto de uma transição sustentável, o uso do GN seria oportuno até que tecnologias de emissões consideradas de baixo carbono de origem fóssil (ao longo da cadeia de produção do combustível, como os veículos puramente elétricos, e/ou a célula a hidrogênio, e/ou os biocombustíveis), tiverem condições de substituir (em nível mundial) ao menos uma parcela considerável – senão plenamente – dos derivados de

petróleo. Cabe denotar que, de acordo com relatório capitaneado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2008b), isto dificilmente ocorrerá antes de 2030/2035.

O uso do gás natural no setor de transportes pode ocorrer através de 2 alternativas: 1- Uso direto (HEKKERT *et al.* 2005); e 2- Uso indireto (SOUSA-AGUIAR, 2005).

A alternativa de uso direto é a que resultaria em maiores mitigações nas emissões de CO₂, pelo fato da troca dos derivados de petróleo pelo GN (menos carbono intensivo) se iniciar já no curto prazo (pois a tecnologia ICEV-GN já está madura). O GN seria utilizado como combustível até que a tecnologia FCV a algum biocombustível (etanol, por exemplo) ou a hidrogênio ou os VE se tornem viáveis economicamente.

O gás natural pode também ser utilizado de forma indireta, isto é, como insumo na produção de combustíveis sintéticos. Neste caso, também há 2 alternativas para produção de combustíveis sintéticos que apresentam maiores viabilidades econômicas no médio/longo prazo (SOUSA-AGUIAR, 2005): 1- Tecnologia *Gas-to-Liquids* (GtL), que produz combustíveis sintéticos através do processo *Fischer Tropsch* (FT), muito semelhantes aos derivados de petróleo, como óleo Diesel e a gasolina, e; 2- Tecnologia *Gas-to-Gas* (GtG): onde se obtém como produto final com maior potencial para uso do setor de transportes, o DME (éter dimetílico ou dimetil éter) (VOLVO, s.n.t).

A principal e distinta vantagem do uso da tecnologia GtL, em relação às outras tecnologias, refere-se ao aproveitamento da infraestrutura pré-existente. Os seus produtos (que são os mesmos da indústria do refino do petróleo) podem ser estocados, manuseados, transportados e comercializados através dos métodos convencionais, que, por sua vez, já estão bem estabelecidos e podem ser utilizados em equipamentos já devidamente maduros, como os motores a combustão interna. Em uma configuração mais básica, o transporte do produto final pode ser realizado até mesmo misturando-o com os derivados obtidos a partir do petróleo (DE KLERK, 2008). De acordo com HUTTON & HOLMES, (2005), outras vantagens são que a tecnologia GtL está

comercialmente provada, os produtos podem ser transportados em navios e oleodutos convencionais e os produtos têm um valor *premium*⁴⁷ – como o ULSD.

Já a tecnologia GtG – menos comum – possui o éter dimetílico, ou DME, como principal potencial combustível para uso no setor de transportes. O DME é considerado por diversas empresas e centros de pesquisas dos países mais desenvolvidos, como uma promissora alternativa energética aos derivados de petróleo (SOUSA-AGUIAR *et al.*, 2005; VOLVO, s.n.t). O principal uso atual do DME é como propelente de aerossóis, cosméticos, repelentes e inseticidas (SOUSA-AGUIAR *et al.*, 2005).

O DME pode ser obtido a partir do processo de reforma do gás natural, ou de derivados do petróleo, ou da gaseificação do carvão ou de biomassa (nesse caso é chamado de bio-DME). Pode ser utilizado como um combustível típico de baixas emissões de poluentes e GEE em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel) de alta eficiência com redução de NO_x, SO_x, CO e material particulado (SOUZA *et al.*, 2006). De acordo com testes da empresa Volvo, o bio-DME é atualmente o combustível de origem renovável que apresentou a maior eficiência energética nos seus testes (VOLVO, s.n.t). Além disso, não se caracteriza por apresentar problemas de toxicidade, produção e infraestrutura de distribuição (SEMELSBERGER *et al.*, 2005). De fato, o número de cetano (NC⁴⁸) relativo ao DME é superior ao do óleo Diesel, enquanto que a sua temperatura de ignição é inferior. Essas características tornam o DME um potencial combustível para motores ciclo Diesel no longo prazo (SOUZA-AGUIAR, *et al.*, 2005).

⁴⁷ No caso do óleo Diesel sintético (também chamado Diesel FT – pois deriva do processo Fischer-Tropsch – o mais comum dos processos de obtenção de combustíveis sintéticos), a tecnologia GtL produz o ULSD (*Ultra Low Sulfur Diesel* ou Diesel com baixo teor de enxofre) sem a necessidade de processos dispensiosos de desulfurização posteriores (DOE, 2007).

⁴⁸ NC ou número de cetano é uma característica que se relaciona, fisicamente, com o tempo de retardo de ignição de um combustível no momento em que ele sofre a compressão em um motor que opera em ciclo Diesel. Quanto maior for o número de cetano do óleo Diesel menor será esse retardo, e, como consequência, menor será a quantidade de combustível que permanecerá na câmara de compressão sem ter sofrido combustão. Esse combustível que não sofre combustão adequadamente causa perda de potência e com o tempo causa avarias no motor.

5.2.1. Entraves à utilização e/ou expansão do uso do GN

Apresenta-se, a seguir, uma análise focada nas principais barreiras que os veículos a gás natural necessitam superar para aumentar as suas participações no setor de transportes.

Mesmo os veículos ICEV a GN sendo bicomustíveis, há um custo relativamente elevado para torná-los aptos a utilizar GN. A implementação de novas cadeias de abastecimento para uso de GN (e para o H₂) também implica em mudanças dos atores envolvidos. Os MCI para funcionar a GN necessitam passar por adaptações (já citadas na Seção 4.2.3). Nesse sentido, poder-se-ia citar, em especial, a necessidade de modificações no cilindro, ou adição de tanque (ou tanques) que precisam ser instalados – o que compromete, geralmente, o espaço do “porta-malas”⁴⁹ do veículo. Outro fator importante na escolha do proprietário de veículos consiste no limitado fornecimento de gás natural por parte dos distribuidores varejistas. Portanto, de fato, há fatores que acabam comprometendo (eventualmente de modo negativo) a decisão dos proprietários dos veículos no sentido de adquirir automóvel a GN ou converter seu veículo para o uso do GN.

Para que os veículos a GN alcancem participações relevantes na matriz de transporte, é necessário também que a infraestrutura de abastecimento varejista seja expandida. Um número suficiente de postos de abastecimento é uma condição prévia essencial para o uso (generalizado) de gás natural como combustível veicular. O mesmo pode-se dizer a respeito da expansão da rede de gasodutos no país e, mesmo, a respeito de (ainda) mais investimentos para prospecção e extração do energético em foco.

Todos os países nos quais o gás natural possui alguma relevância na matriz energética do setor de transportes requereram no passado, consideráveis investimentos na implementação de infraestrutura de distribuição através de desenvolvimento de programas de apoios especiais.

⁴⁹ No início de 2009, a Toyota apresentou o seu modelo conceitual para o *Camry* Híbrido GN/Elétrico. Esse modelo emprega a nova tecnologia de pneus *run-flat*, que permite rodar sem ar a velocidades de até 75 km/h e distâncias de até 150 km. Dessa forma, não há necessidade do veículo transportar pneu sobressalente ou ferramentas para substituir pneus. Assim, o espaço no piso do veículo passa, então, a ser ocupado por cilindros de armazenamento de gás natural, sem perdas de espaço do “porta-malas”.

Através desses incentivos, os proprietários de automóveis particulares têm decidido a favor de veículos a gás natural (ENGERER & HORN, 2010). Esses apoios especiais são importantes, pois os custos envolvidos na expansão das redes de distribuição são grandes. Os proprietários de postos de abastecimento (varejo) não se sentem estimulados a investir na distribuição de GN a menos que a frota de veículos a GN seja grande. Por outro lado, o consumidor não se sente estimulado a investir em veículos a GN se a rede de distribuição não for amplamente expandida, fato esse que gera um impasse no processo de expansão de veículos a GN em muitos países – como no Brasil, por exemplo. Nesse contexto, políticas governamentais de incentivos (diminuição de impostos e/ou subsídios) tornam-se instrumentos importantes para expansão do setor.

A produção de óleo Diesel sintético utilizando como matéria-prima o GN é um método de produção que, apesar de bem conhecido, ainda não é economicamente viável. A viabilidade econômica fica na dependência, além da disponibilidade do energético, dos preços do petróleo no mercado internacional. De fato, quando o preço do petróleo é tipicamente baixo há natural desestímulo para o setor investir nas plantas GtL e vice-versa⁵⁰. Como a distribuição e uso final dos produtos das plantas GtL são os mesmos que os da cadeia de combustível convencional (refino do petróleo), esta inovação é considerada de menor custo e complexidade do que a troca de combustível óleo Diesel/gasolina por GN (HEKKERT *et al.*, 2005).

5.2.2. Situação atual do GN no Brasil

No Brasil, a ideia original era utilizar o GNV como substituto do óleo Diesel para a propulsão da frota de veículos pesados nos centros urbanos (GASNET, 2011). Esta ideia, porém, deu lugar a uma maior difusão do uso de GN na frota de veículos leves, em função de algumas

⁵⁰ Segundo Callari (2007), é viável construir uma planta de GtL no Brasil quando novas tecnologias de produção GtL estiverem mais desenvolvidas e o preço do petróleo se estabilizar ao menos entre US\$ 40 e US\$ 60 o barril (em 01/09/2010 o petróleo tipo Brent custava US\$ 76,00, em 20/02/2012 custava US\$ 121,00 e em outubro de 2012 – custava cerca de US\$ 110,00). Nos valores dos últimos anos, qualquer projeto passa a ser viável, mas não há garantia de sustentabilidade para o preço do petróleo nesses patamares, dificultando a aplicação de maciços recursos financeiros em projetos GtL de longo prazo.

dificuldades inerentes ao mercado de GN como substituto do óleo Diesel, tais como: pequena diferença entre o preço do óleo Diesel e do GN – por unidade de energia – e pouca disponibilidade em território nacional de postos de serviço com capacidade específica para atender à frota, além dos altos custos para adaptação dos veículos, em comparação aos custos de adaptação dos veículos ciclo Otto.

A partir do ano de 1997, até os dias atuais, ocorreu a liberação do uso de GN para veículos particulares. Houve uma maior percepção por parte dos usuários quanto às vantagens do uso do GN como substituto da gasolina e do etanol, principalmente em nível ambiental. O crescimento do mercado de transportes autônomos e de frotistas alavancou a demanda de GN (táxis principalmente). Um maior número de postos de serviço é oferecido ao público, apesar de ainda hoje ser bastante limitado.

Um dos maiores entraves para a expansão do uso do GN no setor de transportes está relacionado com o uso concorrente do GN para geração de eletricidade nas usinas térmicas. Em épocas de estiagem, quando os reservatórios das hidrelétricas baixam de certo limite, a ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) autoriza o despacho das usinas térmicas a GN, tornando-o escasso para uso no setor de transportes. A descoberta e posterior exploração das novas reservas de gás natural no Pré-sal tende a equacionar tal problema de escassez.

As recentes descobertas operadas pela Petrobras, com participação de outras empresas, mostram uma tendência de incorporação de reservas de gás remoto, associado ou não⁵¹ (BRANCO, 2008). No início do ano de 2008, foi anunciada a descoberta, pelo consórcio formado pela Petrobras, de uma jazida de gás e condensado, em águas ultra profundas – na chamada camada do Pré-Sal. O poço denominado Júpiter, encontra-se a cerca de 5.250 metros de profundidade, localiza-se a 290 km da costa do Estado do Rio de Janeiro e 37 km a leste da área do poço Tupi, rico em petróleo intermediário (28° API) (PETROBRAS, 2007a, *apud* BRANCO, 2008). O volume de petróleo descoberto somente na área do poço Tupi foi estimado entre 6 a 8

⁵¹ Gás natural encontrado dissolvido no petróleo, ou na forma de uma capa de gás livre acima do reservatório de óleo. Também conhecido como gás em solução e gás aprisionado. Normalmente está presente em um reservatório de petróleo nas fases iniciais de produção. Nesse caso a produção de gás é determinada diretamente pela produção de petróleo (GASNET, 2011).

bilhões de barris de petróleo e gás (PETROBRAS, 2007b *apud* BRANCO, 2008; PETROBRAS, 2007c *apud* BRANCO, 2008). O descobrimento de grandes volumes de petróleo recuperável no Pré-sal, tornaram as reservas de petróleo brasileiras atualmente a 15º no mundo (ANP, 2011). A relação reserva/produção (R/P) de petróleo do Brasil é atualmente de 14,2 bilhões de barris (ANP, 2011).

Nesse cenário de não escassez de gás natural, o GNV poderia ser substituto dos derivados de petróleo no uso direto em motores a combustão interna como ser utilizado como insumo para produção de combustíveis sintéticos nas plantas GtL, diminuindo assim, o déficit financeiro da balança comercial de petróleo – conforme foi explorado na Seção 2.8.

5.3. Biocombustíveis

Os biocombustíveis são definidos como qualquer combustível líquido, gasoso ou sólido, produzido por matéria orgânica animal ou vegetal, que sejam obtidos através da transformação e fermentação de fontes biológicas não fósseis, e podem ser utilizados em substituição dos combustíveis convencionais ou em mistura com estes (ALMEIDA, 2009).

Inicialmente os biocombustíveis (de 1º geração) eram produzidos através do cultivo de plantas com elevado teor de açúcares, como a cana-de-açúcar e a beterraba e também através de cereais, com destaque para o milho norte-americano (maior produtor mundial de etanol). O principal produto dessa fermentação é o etanol (anidro – para ser misturado a gasolina ou hidratado – para uso direto), utilizado em motores ciclo Otto (veículos leves – carros de passeio e motos). Outro biocombustível pertencente à 1º geração é o biodiesel, produzido utilizando como matérias primas gorduras animais e, principalmente, plantas oleaginosas (vegetais ricos em óleos), como a palma, a soja, o girassol, a mamona, o pinhão manso, o amendoim, a colza, dentre outras (SEBRAE, s.n.t), utilizado diretamente, ou misturado ao Diesel derivado do petróleo em motores do ciclo Diesel (no Brasil, veículos pesados – caminhões e ônibus – em sua maioria).

Já os biocombustíveis de 2ª geração utilizam complexas rotas tecnológicas para sintetizar os hidrocarbonetos que originarão os combustíveis a partir de unidades monoméricas ou outras rotas químicas, utilizando como matéria prima a lignocelulose, proveniente principalmente de resíduos florestais e agroindustriais como a palha e o bagaço de cana-de-açúcar e, também, através de gramíneas e madeira (IEA, 2008b). A utilização de biomassa para a produção de combustíveis líquidos é realizada através do processo de síntese *Fischer-Tropsch* (FT).

Urge ressaltar que há, também, uma terceira geração de biocombustíveis em desenvolvimento, incluindo os óleos butanol e outros alcoóis a partir de algas, mas devido à atual falta de *know how* (estado da técnica/ experiência) para a sua produção em larga escala, os estudos recentes da IEA tem assumido que estes terão pouca ou nenhuma contribuição na matriz energética do setor de transportes no horizonte de tempo proposto nesse Estudo (IEA, 2008b).

5.3.1. Etanol e os veículos *flex fuel*

O etanol, ou álcool etílico, é uma substância com fórmula molecular C_2H_6O , que pode ser utilizada como combustível em motores a combustão interna com ignição por centelha (ciclo Otto) de duas maneiras, basicamente: 1- Como etanol anidro em misturas com a gasolina; ou 2- Como etanol hidratado, em veículos dedicados ou em veículos *flex fuel*.

O etanol hidratado deve ser usado em motores fabricados ou adaptados especificamente para esse fim, em particular com a adoção de taxas de compressão mais elevadas, visando utilizar adequadamente a octanagem mais alta do etanol frente à gasolina e obter ganhos de eficiência de 10%. Em outras palavras, a maior octanagem do etanol permite que os motores obtenham mais energia útil do calor do combustível, comparativamente à gasolina. Outras modificações devem ser efetuadas no sistema de alimentação de combustível e na ignição, para compensar as diferenças na relação ar-combustível e outras propriedades (CGEE, 2008).

Com a intensa utilização da eletrônica embarcada em sistemas avançados de controle de mistura e de ignição, a partir de 2003 foram lançados comercialmente, no Brasil, veículos com os

motores flexíveis (os chamados *flex fuel*), capazes de utilizar, sem qualquer interferência do motorista, gasolina (com 20% a 25% de etanol anidro – no caso brasileiro), etanol hidratado puro ou ainda misturas desses dois combustíveis em qualquer proporção, de acordo com os requisitos de eficiência e dirigibilidade e atendendo aos limites legais de emissões de gases de escapamento (JOSEPH JR, 2007). Os veículos equipados com esses motores têm representado a maioria dos veículos novos vendidos no Brasil a partir de 2005 e, desde então, vêm se aperfeiçoando, em termos de desempenho e funcionalidade dos sistemas de partida a frio (CGEE, 2008).

O etanol possui cerca de 43% menos energia (poder calorífico inferior em kJ/L) que a gasolina, mas devido, principalmente, a presença de água no etanol (etanol hidratado) e de etanol anidro na gasolina (atualmente em 20%) o rendimento térmico do motor a gasolina C é de cerca de 25% superior ao mesmo motor utilizando apenas etanol hidratado.

5.3.1.1 Uso do etanol em motores ciclo Diesel

A opção mundial de combustível para o transporte público urbano é o Diesel e, para diversificar a matriz energética do setor de transportes, houve a iniciativa de se produzir o biodiesel para misturar no petrodiesel. Os resultados alcançados foram modestos, pois o biodiesel ainda não possui produção suficiente para atender uma grande demanda no curto e médio prazo (MOREIRA *et. al.*, 2008). Contudo, o etanol já possui infraestrutura de produção e distribuição e pode substituir o óleo Diesel de maneira mais significativa, já no curto prazo.

Com relação a utilização de etanol em caminhões, ônibus e também em veículos comerciais leves ciclo Diesel, é interessante observar que os mesmos fatores que tornam o etanol especialmente apto a ser utilizado em motores com ignição por centelha (ciclo Otto) o fazem pouco atrativo para os motores com ignição por compressão (ciclo Diesel), geralmente empregados nesses veículos. Nesse caso, é necessário aditivar o etanol de forma intensa, para reduzir sua octanagem, ampliar sua cetanagem e seu poder lubrificante e, eventualmente, utilizar co-solventes, o que por muito tempo se mostrou inviável em termos econômicos (CGEE, 2008).

Porém, devido aos avanços tecnológicos, motores a combustão interna movidos a etanol aditivado cuja aplicabilidade é a mesma de um motor Diesel convencional já são uma realidade, em particular na Suécia, onde, há mais de 20 anos, diversos ônibus em uso regular em Estocolmo vêm utilizando etanol hidratado com cerca de 5% de aditivo (chamado ED 95) em motores ciclo Diesel. O aditivo é necessário para que a combustão ocorra mais rapidamente e com maior eficiência energética (CGEE, 2008).

O uso do etanol em motores Diesel tem sido promovido, essencialmente, por seus benefícios ambientais. As emissões de poluentes do motor ciclo Diesel a etanol são bem menores que os limites impostos pelas fases P-5 e P-6 do PROCONVE⁵². Como os ônibus no Brasil funcionam a óleo Diesel, a produção de biodiesel, além de atualmente muito custosa, não possui condições de atender à demanda no curto prazo. Como o Brasil possui *know how* na produção e distribuição de etanol, esse surge, portanto, como forte potencial substituto do óleo Diesel (até mesmo no curto prazo).

Segundo a empresa Scania, a adaptação do motor Diesel para o etanol não requer mudanças significativas. Entre as modificações efetuadas destacam-se a modificação na taxa de compressão para 1:28 e injetores com maior capacidade volumétrica. Tais diferenças devem-se ao fato do etanol não possuir a propriedade de auto-ignição por compressão, que é o princípio de funcionamento do motor ciclo Diesel. Portanto, para que o motor ciclo Diesel movido a etanol funcione de maneira satisfatória, além da altíssima taxa de compressão, o combustível também deve ser aditivado em 5% no seu volume com um aditivo promovedor de ignição, por essa razão é chamado ED 95, que também garante a lubrificidade da mistura de acordo com os padrões do óleo Diesel (VELÁZQUEZ *et al.*, 2010a).

Ressalta-se que a disponibilidade e as perspectivas para a produção do etanol somadas às vantagens ambientais, como a redução das emissões de gases poluentes e GEE, indicam que o uso do etanol em motores ciclo Diesel oferece uma série de benefícios e pontos favoráveis ao Brasil. Entre eles, está à diversificação da matriz energética do setor de transportes de carga brasileiro, a

⁵² Com relação aos veículos pesados, o PROCONVE estabelece fases específicas no que tange a emissão de poluentes (CO, HC, NO_x e MP) em g/KWh.

utilização de um combustível nacional, além de infraestrutura de distribuição compatível com a existente no Brasil (VELÁZQUEZ *et al.*, 2010a). De acordo com as projeções do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, a demanda brasileira por óleo Diesel, apenas para uso em ônibus urbano, deve alcançar cerca de 10 milhões de m³ em 2020 (MMA, 2011), que é mais do que os cerca de 9 milhões de m³ que o país importou em 2010, segundo a ANP (2011). Nesse contexto, o uso de etanol aditivado com o ED 95 na frota de ônibus urbano é deveras oportuno.

Há, também, interesse do próprio setor sucroalcooleiro em utilizar etanol na sua própria frota. Estima-se que existam hoje cerca de cem mil motores ciclo Diesel em operação nos caminhões e no maquinário agrícola das usinas brasileiras, que, mediante o uso de etanol substituindo o Diesel, poderiam reduzir pela metade as despesas com combustível (IDEA, 2008).

De acordo com estudos de Milanez *et al.* (2008, *apud* CGEE, 2008) a indústria brasileira de bioetanol pode produzir (se necessário), já em 2015, cerca de 47 milhões de m³, equivalente a uma taxa de crescimento anual de 9%, a partir de 2010.

O Brasil possui um grande potencial para ser o líder na produção de etanol. Isso graças ao seu clima (adequado para a cana), ao grande conhecimento tecnológico que detém (devido ao seu histórico), a elevada quantidade de mão de obra disponível (o que gerará empregos⁵³ – nem sempre dignamente remunerados, em verdade) e as extensas áreas agricultáveis que permitem a expansão da cana. Segundo estudo do CGEE (2008), no Brasil há uma disponibilidade efetiva de 80 milhões de hectares de terras para expansão da cultura canavieira. Com apenas metade dessa área, incluindo a área a ser reservada para proteção ambiental (8 Mha), seria suficiente para produzir cerca de 205 milhões de m³ de bioetanol (suficiente para suprir 10% a demanda mundial de etanol projetada para 2025).

⁵³ A indústria canavieira é uma grande geradora de postos de trabalho: com base na pesquisa do PNAD, estima-se que, em 2005, havia 982 mil trabalhadores diretamente e formalmente envolvidos com produção sucroalcooleira. De acordo com um estudo baseado na matriz insumo-produto da economia brasileira, em 1997, para cada emprego direto nesse setor, existem 1,43 empregos indiretos e 2,75 empregos induzidos, o que permite estimar que em 2005, haveria um total de 4,1 milhões de pessoas trabalhando de algum modo dependente da atividade da agroindústria da cana, caso tenham se mantido essas relações (CGEE, 2008).

5.3.1.2. Projeto BEST

O Projeto BEST (*Bioethanol for Sustainable Transport*), iniciativa da União Europeia, coordenada pela Prefeitura de Estocolmo, na Suécia, teve por objetivo incentivar o uso do etanol, em substituição ao óleo Diesel, no transporte público urbano no Brasil e no mundo. Os veículos utilizados nos testes foram monitorados e avaliados e os resultados embasaram as recomendações para a formulação de políticas públicas de incentivo à substituição do óleo Diesel pelo etanol (MOREIRA *et. al.*, 2008).

Além de São Paulo, pioneira nas Américas, outras oito localidades na Europa e Ásia participam do projeto: Estocolmo (Suécia), Madri e País Basco (Espanha), Roterdã (Holanda), La Spezia (Itália), Somerset (Reino Unido), Nanyang (China) e Dublin (Irlanda). O CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa), do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE), da Universidade de São Paulo (USP), desenvolveu e coordenou o projeto em São Paulo (MOREIRA *et. al.*, 2008).

A meta brasileira do projeto BEST foi avaliar o uso do etanol como combustível alternativo ao óleo Diesel, em ônibus utilizados para o transporte público urbano. A Scania Latin América importou o chassi e o motor da Suécia, a Marcopolo projetou, construiu e forneceu a carroceria, a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) forneceu o etanol para os testes, a BAF/SEKAB forneceu o aditivo, de fabricação própria, para ser adicionado ao etanol, enquanto que a Petrobras importou o aditivo (MOREIRA *et. al.*, 2008). A mistura do aditivo ao etanol e a distribuição do combustível nas operadoras dos ônibus, ficou sob a responsabilidade da Br Distribuidora (VELÁSQUEZ *et al.*, 2010b).

Devido ao menor conteúdo energético do etanol em relação ao óleo Diesel, o ônibus a etanol apresenta um consumo de combustível médio maior que o veículo movido a óleo Diesel de mesma potência. Tal consumo deve-se ao fato da energia contida em um litro de óleo Diesel ser a mesma contida em 1,7 litro de etanol, o que justifica que o ônibus a etanol necessita de um

volume 60% maior de combustível para percorrer a mesma distância, bem como a necessidade do veículo ter maior capacidade dos tanques de combustível (MOREIRA, 2007; CGEE, 2008).

5.3.1.3. Etano aditivado x óleo Diesel

No ano de 2011, a média do preço do óleo Diesel praticado pelas distribuidoras e pago pelo consumidor foi de R\$ 2,026, enquanto o etanol hidratado foi vendido a R\$ 1,996 (ANP, 2012). Apesar dessa ligeira diferença de preço a favor do etanol hidratado, a grande diferença na quantidade de energia, por volume, entre os dois citados combustíveis, torna a conversão da frota de etanol não vantajosa economicamente. Portanto, ela só acontecerá se houver incentivos/subsídios. Nesse sentido, os benefícios ambientais do etanol, e o sistemático déficit na balança de pagamentos do óleo Diesel são fatores que devem ser levados em consideração nas políticas públicas do setor de transportes brasileiro, principalmente no que tange a frota de ônibus urbanos nos grandes centros urbanos.

Outro aspecto positivo sobre o uso de etanol aditivado pela frota de ônibus é que se essa mitigação do óleo Diesel for planejada adequadamente, atenuar-se-ia a pressão sobre o parque de refino, gerada principalmente pelo referido derivado de petróleo. Além de poder atenuar o déficit de óleo Diesel, que gera perdas de bilhões de dólares em divisas devido à necessidade de importações (ANP, 2011).

5.3.2. Biodiesel

Rudolf Diesel, no final do século XIX, já utilizava óleo vegetal para alimentar motores ciclo Diesel, mas o interesse para sua utilização como combustível só veio a se fortalecer na década de 1990, devido ao interesse por fontes de energia que reduzissem a emissão de gases causadores do efeito estufa e para aliviar o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis.

No ano de 2004, o Governo Federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), com o objetivo de implementar de forma sustentável, técnica e economicamente viável, a produção e o uso do biodiesel no Brasil, tendo como pilares a inclusão social e o desenvolvimento regional, através da geração de renda e emprego para os agricultores familiares (STI/MDIC, 2006). Os resultados mostraram que na prática essa sustentabilidade não ocorreu, já que, no ano de 2010, 78,5% do biodiesel produzido no Brasil utiliza como matéria prima a soja proveniente de grandes latifúndios e 17,1% é proveniente de sebo animal (ANP, 2011).

Em um primeiro momento, a legislação federal não definiu a obrigatoriedade da adição do biodiesel ao óleo Diesel de petróleo vendido no País, mas apenas autorizou as distribuidoras de combustíveis a adicionar 2% do biocombustível em cada litro do óleo Diesel derivado do petróleo vendido internamente. Contudo, a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, acabou estabelecendo a obrigatoriedade da adição, exigindo um percentual de 2% a partir do início de 2008, com elevação para 5% em 2013. Na prática, a adição de 2% de biodiesel ao óleo Diesel de petróleo foi antecipada para janeiro de 2006, com a obrigatoriedade da aquisição do biodiesel com selo social (MAPA, 2006). A meta de 5% de adição de biodiesel no Diesel de origem fóssil também foi antecipada para janeiro de 2010. A mistura de 2% de biodiesel ao Diesel de petróleo é chamada de B2 e assim sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100.

O Brasil é um país que, devido à sua extensa área geográfica e por possuir clima tropical e subtropical, possui uma ampla diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel. Dentre as matérias-primas cotejadas como matéria prima para produção de biodiesel, destacam-se os óleos de descarte, gorduras animais e diversas oleaginosas (pinhão manso, dendê, babaçu, girassol, mamona, amendoim, soja, etc.) (SEBRAE, s.n.t).

Cada oleaginosa, dependendo da região na qual é cultivada e segundo as condições de clima e de solo, apresenta características específicas na produtividade por hectare (ha) e na percentagem de óleo obtida da amêndoa ou grão. A produtividade obtida também está diretamente associada às condições de clima e do sol, às tecnologias de cultivo, à qualidade de semente, ao número anual de safras e às tecnologias de processamento praticadas (EMBRAPA, 2005).

Para expansão das metas do PNPB, torna-se imperativo que novas matérias primas sejam utilizadas em larga escala, desconcentrando a produção de biodiesel, atualmente focada, principalmente, no óleo de soja. Nesse sentido, o óleo de dendê proveniente da palma torna-se a grande aposta, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

A principal vantagem da palma em relação a soja consiste na sua alta produtividade, podendo atingir cerca de 6.000 quilos por hectare (kg/ha) – à soja produz cerca de 550 kg de óleo/ha. O zoneamento realizado pela Embrapa identificou mais de 30 milhões de hectares de terras fora de áreas protegidas que são aptas para o cultivo da palma. A expansão, no entanto, depende do aumento da oferta de sementes de variedades de alta qualidade genética desenvolvidas especialmente para o Brasil – incluindo o caiaué. O caiaué é uma oleaginosa semelhante à palma, porém resistente a diversas pragas em que a palma é particularmente suscetível – principalmente em relação à resistência ao amarelecimento fatal, principal doença que acomete o dendê. A Embrapa já desenvolveu um híbrido interespecífico entre o caiaué e o dendê, denominado BRS Manicoré. Além de ser resistente ao amarelecimento fatal, ele possui produção de cachos e óleo bastante semelhante ao dendê (EMBRAPA, 2013). Nesse contexto, atualmente, a Vale do Rio Doce – na Amazônia – e a Petrobras – principalmente através dos projetos Biodiesel Pará e Belém – estão investindo dezenas de milhões de reais na produção de biodiesel através da óleo de palma.

5.3.2.1. Custo de oportunidade

Apesar de não ser possível calcular exatamente o subsídio do biodiesel (devido às diferentes alíquotas de impostos que variam de acordo com a região da produção, a matéria prima utilizada e do tipo de produção – familiar ou industrial), a comparação dos preços pagos ao produtor nos leilões fornece informações suficientes para concluir que o subsídio existe. O preço médio (calculado através da média ponderada por volume vendido) dos leilões de março, maio, setembro e novembro de 2010 foi de R\$ 2,090/L, fato que deixa bem claro a presença de algum tipo de subsídio ao biodiesel, pois o preço médio do B5 (mistura de 5% de biodiesel no óleo

Diesel) no varejo é de 2,003 reais (ANP, 2011) e o preço médio do óleo Diesel nas refinarias de janeiro a setembro de 2010 foi de R\$ 1,35/L, segundo a ANP (2011). Fica claro, então, que algum subsídio está sendo fornecido, pois o mercado de derivados do petróleo é desregulamentado desde o final de 2001.

Um ponto interessante a destacar é que esse custo do biodiesel praticado nos leilões bem acima do preço do óleo Diesel de origem fóssil, está, provavelmente, atrelado ao custo de oportunidade da sua matéria prima principal, o óleo vegetal, no caso, de soja, e não necessariamente aos custos de produção. Esse custo de oportunidade, que torna o biodiesel tão caro, é um fator de complicação para expansões futuras de aumento dos teores de biodiesel no petrodiesel. As perspectivas futuras de produção e uso do BtL Diesel (2º geração) e do uso de etanol nos motores ciclo Diesel comprometem ainda mais as perspectivas futuras de expansão do uso do biodiesel.

5.4. Combustíveis com potencial real de mitigação para se tornarem competitivos após 2030

5.4.1. Biocombustíveis de 2º geração

Os biocombustíveis de 2º geração podem ser produzidos através de duas principais tecnologias: 1- Hidrólise enzimática de materiais celulósicos; e 2- Gaseificação/FT liquefação (IEA, 2008b). Esta tecnologia é denominada BtL (*biomass to liquid* – biomassa para líquido) e é derivada da tecnologia de conversão de carvão mineral para combustíveis líquidos (gasolina e óleo Diesel, por exemplo), também conhecidos como CtL (*Coal to Liquids* – carvão para líquidos) (IEA, 2008b). O processo FT inicialmente converte toda a biomassa, e não apenas a sua fração celulósica, em gases combustíveis, através da gaseificação. A fração desses gases composta por hidrogênio e monóxido de carbono é conhecida como gás de síntese, no caso gás de biosíntese (*biosyngas*). Em uma segunda etapa, esse gás de biosíntese é convertido em uma grande variedade de combustíveis líquidos – e também gasosos – através de reatores catalíticos, à

semelhança do que já ocorre em unidades industriais operando com carvão mineral, gás natural e resíduos petroquímicos (IPT, 2008).

Dentre os possíveis biocombustíveis de 2º geração, os que apresentam as maiores probabilidades para ampla utilização no setor de transportes são o LC etanol (ou etanol celulósico), a gasolina FT e o BtL Diesel (IEA, 2008b).

O LC etanol é o álcool etílico só que produzido utilizando como matéria prima a lignocelulose via processo *Fischer-Tropsch*. A gasolina FT e o BtL Diesel apresentam características semelhantes aos seus equivalentes fósseis. Com isso a infraestrutura de distribuição no varejo desses biocombustíveis continuaria igual e os problemas de ajustes nos motores a combustão dos veículos seriam minimizados ao se utilizar gasolina FT e BtL Diesel (AIRES, 2009).

Por outro lado, a gasolina FT ainda apresenta problemas como o seu baixo número de octanos (NO)⁵⁴, em relação à sua correspondente fóssil (HAMELINCK *et al.*, 2003). De positivo, tem-se que a gasolina FT pode ser misturada na gasolina fóssil em frações menores e também utilizada como matéria prima nas biorefinarias (para produção de plásticos “verdes”, por exemplo) (HAMELINCK *et al.*, 2003).

O BtL Diesel apresenta qualidade superior ao seu equivalente de origem fóssil, pois apresenta um número de cetanos (NC) de 76 (ou seja, cerca de duas vezes mais que a maioria dos óleos Diesel comerciais). Soma-se ao fato que o BtL Diesel não apresentar em sua composição enxofre, portanto não emite SO_x na sua combustão. Sua combustão também é mais limpa, pois não apresenta hidrocarbonetos aromáticos, portanto, reduz em cerca de 40% as emissões atmosféricas de material particulado e em 20% as emissões de NO_x. Outra vantagem é que o BtL Diesel pode tanto ser utilizado diretamente nos motores ciclo Diesel, como em misturas com óleo Diesel fóssil ou com outros óleos Dieséis FT (produzido via processos CtL – carvão – ou GtL –

⁵⁴ NO ou índice de octano ainda octanagem: é o principal parâmetro para medir a qualidade da gasolina, sendo uma medida da capacidade do combustível resistir à detonação espontânea, ou seja, sua capacidade de evitar que a combustão da mistura ar/combustível ocorra antes do ponto, prejudicando o rendimento do motor (popularmente conhecida como batida de pino). Quanto maior a octanagem tiver a gasolina melhor será sua resistência a sofrer detonação antes do tempo ótimo.

gás natural) (BOERRIGTER, 2002). Por fim, as emissões de CO₂ na cadeia toda do BtL Diesel são cerca de 87% menores, em relação ao seu equivalente fóssil (OPDAL, 2006).

A produção de combustíveis líquidos a partir da biomassa traz a promessa de um combustível líquido de baixas emissões de GEE (considerando o ciclo total do combustível). Outra grande vantagem dos biocombustíveis de 2º geração consiste no fato dos mesmos serem produzidos através de técnicas que utilizam predominantemente fontes de biomassa não alimentar⁵⁵. No entanto, existem ainda inúmeros obstáculos a serem superados para que esses combustíveis tornem-se viáveis economicamente e consigam substituírem uma parcela dos derivados de petróleo nas próximas décadas, além dos problemas de ordem econômica e técnicas, citados anteriormente. Questões como segurança alimentar, devido a mudanças no uso da terra e os potenciais impactos da produção dos biocombustíveis sobre os recursos hídricos, biodiversidade e outros aspectos ambientais, ainda são grandes preocupações que podem limitar severamente o papel desses biocombustíveis se um planejamento adequado para toda a sua cadeia de produção não for realizado adequadamente.

Estudo capitaneado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2008b) desenvolveu um conjunto de projeções de custos, potencial de mercado e penetração das duas principais tecnologias de conversão de biomassa em biocombustíveis de segunda geração, utilizando uma ampla variedade de materiais de biomassa. Esse referido estudo concluiu que a taxa de declínio dos custos de produção dos biocombustíveis de 2º geração vai depender, principalmente, dos preços de matérias-primas, da escala de produção e do desenvolvimento de plantas comerciais, e principalmente do “*learning curve*”. Com uma taxa otimista de aprendizagem, tanto os custos de produção do LC etanol e do BtL Diesel só se tornarão competitivos, em relação ao da gasolina, por volta de 2030. A um ritmo mais pessimista de aprendizagem, os custos caem mais lentamente de forma a permanecerem US\$ 0,15/Lgas_e (dólar por litro equivalente de gasolina) superior à curva otimista de custo (IEA, 2008b).

⁵⁵ Detritos provenientes dos agronegócios, madeira reciclada e material que já pertenceu à indústria moveleira, além da possibilidade de utilização de culturas oriundas de solos pobres (AIRES, 2009).

5.4.2. Hidrogênio

Diferentemente da eletricidade e dos combustíveis líquidos, não existe uma rede de distribuição ou de produção de hidrogênio estabelecida em qualquer parte do mundo. Outra desvantagem do H₂ em relação aos combustíveis tradicionais consiste no seu custo mais elevado por unidade de energia. Seguindo as tendências atuais de preços do petróleo, os custos do H₂ são suscetíveis de ser entre duas a três vezes o custo da gasolina, ou do óleo Diesel por unidade de energia produzida. No entanto, grande parte desse custo pode ser compensado pela maior eficiência que os veículos elétricos de células a combustível proporcionam, entre 2 ou 3 vezes maior (IEA, 2008b).

As tecnologias para a fabricação do hidrogênio a partir do carvão e gás natural são bastante conhecidas e aplicadas comercialmente, em especial na indústria petrolífera, onde o hidrogênio tem sido utilizado cada vez mais durante o processo de produção de gasolina e óleo Diesel com baixo teor de enxofre. Quase 90% do hidrogênio de alta pureza produzido atualmente deriva da reforma a vapor do metano proveniente do gás natural, e espera-se que esta continue a ser a rota dominante e a mais econômica no longo prazo (WBCSD, 2004).

Atualmente consideram-se limitadas as perspectivas para a produção de hidrogênio a partir de energias renováveis, mesmo no longo prazo. Embora uma parte substancial do fornecimento de eletricidade no futuro possa ser baseada em energias renováveis, a disponibilidade de excedentes de eletricidade de origem renovável para produção de hidrogênio será, provavelmente, limitada a poucas regiões do mundo. Para que o hidrogênio produzido a partir de combustíveis fósseis contribua com a sustentabilidade do setor de transportes, o mesmo deverá ser produzido de uma forma centralizada e com uso do CCGS. A produção de hidrogênio centralizado, no longo prazo, promete diminuir sensivelmente os custos de produção e tornar o CCGS do CO₂ resultante do processo viável economicamente (IEA, 2008b).

Uma forma de reduzir os custos associados à produção e ao armazenamento de hidrogênio pode ser produzi-lo a bordo dos veículos que utilizam combustíveis convencionais, através do

processo de reforma, embora até o momento essa tecnologia tenha se mostrado ainda muito custosa para aplicações em veículos leves. Outro problema da reforma é que irá resultar em emissões de CO₂, se o combustível do veículo for de origem fóssil. Como resultado, a geração de hidrogênio a bordo dos veículos parece pouco provável se tornar atraente, seja no plano técnico, econômico ou ambiental, antes de 2030 (IEA, 2008b).

5.5. Conclusões do Capítulo 5

No curto/médio prazo, o setor de transporte mundial continuará fortemente dependente dos derivados de petróleo. Contudo, o potencial de mitigação das emissões de CO₂ é vasto, com destaque para medidas de eficiência energética – vistas no Capítulo anterior – e aumento no uso de biocombustíveis de 1º geração (etanol – em maior escala – e biodiesel). Embora a substituição dos derivados de petróleo por biocombustíveis contribua para a redução das emissões de GEE, é necessário atentar às condições de sua produção (cadeia total). O Brasil, ao contrário da maioria dos outros países, possui potencial para ampliar substancialmente o uso de biocombustíveis (etanol e biodiesel) já no curto prazo, o que mitigaria o consumo de derivados de petróleo e as emissões de GEE do setor de transportes substancialmente.

O exposto mostra que o GN é um combustível de transição muito interessante, tanto no curto quanto no médio prazo, uma vez que cadeias mais eficientes que as dos derivados de petróleo podem ser baseadas no GN, tanto em termos de custos, como em termos ambientais e de disponibilidade. A principal vantagem do uso direto e indireto do GN é que as barreiras de implementação são mais baixas, em comparação aos VE e FCV, uma vez que a tecnologia pode ser considerada quase como uma inovação incremental. Contudo, ainda há necessidade de grandes investimentos em infraestrutura de distribuição – tanto no *upstream* quanto no *downstream*. No longo prazo – pós 2030 –, segundo a IEA (2008b), alternativas como a eletricidade, o hidrogênio e os biocombustíveis de segunda geração poderão substituir uma parcela considerável dos derivados de petróleo.

Os veículos a célula a combustível possuem como principal obstáculo para sua expansão os custos da mudança de infraestrutura de abastecimento para o uso do H₂ como combustível veicular. Outro obstáculo importante está relacionado aos altos custos de adaptação dos próprios veículos para uso do H₂. Já no caso dos veículos elétricos, apesar dos obstáculos no que tange a infraestrutura serem menores do que o dos FCV – porém ainda elevados –, os custos, a autonomia e o tempo de recarga das baterias ainda são os principais obstáculos para a sua ampla difusão.

Devido aos inúmeros obstáculos para uso do GNV no Brasil, o etanol e o biodiesel são os combustíveis que apresentam os melhores benefícios em termos técnico-econômicos e ambientais para substituir uma parcela ainda maior dos derivados de petróleo no setor de transportes brasileiro já no curto prazo. Outra vantagem dos biocombustíveis citados, é o fato deles serem líquidos, o País possuir o *know how* de todos os processos da cadeia de produção, distribuição e uso final e, também, por se adequarem mais à realidade brasileira. Nesse sentido, nos cenários alternativos propostos no Capítulo 6, somente são considerados esses dois biocombustíveis nas simulações – juntamente com as medidas de eficiência energética listadas na Tabela 4.1 do Capítulo anterior.

O próximo Capítulo descreve a metodologia utilizada para a construção dos cenários propostos – tendencial e alternativos.

6. Cenários associados aos veículos rodoviários de passageiros

Primeiramente, cabe mencionar que esse Capítulo apresenta a metodologia utilizada e as premissas adotadas para a construção do Cenário Tendencial (ou *Business-As-Usual* – BAU) do presente Estudo. *A posteriori*, esse mesmo Capítulo descreve as premissas adotadas e as características dos Cenários Alternativos propostos, quais sejam: aumentos de forma isolada e conjunta de medidas de eficiência energética e de uso de biocombustíveis pelos veículos rodoviários de passageiros.

6.1. Introdução

Os cenários de longo prazo para estimativa de demanda, de acordo com SMIL (2000, *apud* SMITH, 2010), tendem a estar equivocados em função da dificuldade de prever a maior parte dos desenvolvimentos sociais e econômicos futuros. Apesar disso, mudanças técnicas e estruturais podem ser avaliadas no médio prazo com o intuito de verificar os possíveis impactos de políticas de eficiência energética e biocombustíveis voltadas para veículos de passageiros. Nesse contexto, os cenários das emissões de GEE são:

“...um produto de sistemas dinâmicos muito complexos, determinados por forças motrizes tais como desenvolvimento demográfico, desenvolvimento sócio-econômico e mudanças tecnológicas. Sua evolução futura é altamente incerta. Os cenários são imagens alternativas de como o futuro pode se desdobrar e são uma ferramenta apropriada com as quais se analisa como as forças motrizes podem influenciar as emissões futuras e se avaliam as incertezas associadas. Os cenários contribuem para a análise da mudança climática, incluindo a modelagem climática e a avaliação dos impactos, adaptação e mitigação” (NELLI, 2000, *apud* DUBEUX, 2007).

A criação de cenários da demanda de combustíveis, em um aspecto mais geral, é um importante instrumento estratégico de gestão ambiental que objetiva estimar as emissões por fontes de poluição especificadas, numa dada área geográfica e num dado período de tempo,

permitindo assim orientar medidas mais eficientes de intervenção (MMA, 2011). A elaboração desses cenários é importante ponto de partida para o sucesso da implantação ou reorientação de quaisquer programas voltados a uma economia no uso de combustível e na mitigação das emissões de GEE, uma vez que prestam-se a:

- Identificar e hierarquizar as diferentes fontes contribuintes e as emissões totais;
- Avaliar os efeitos das medidas de controle sobre as taxas de emissão;
- Identificar medidas potenciais de redução e;
- Determinar tendências de emissões futuras.

Desta forma, a criação de um cenário tendencial para um determinado sub-setor rodoviário pode fornecer subsídios para entender as relações entre suas emissões e as concentrações ambientais resultantes e, portanto, quando territorialmente ajustado, auxiliar no estabelecimento de políticas e ações que permitam mitigar a influência do setor de transportes nas emissões totais de GEE (MMA, 2011). A elaboração de cenários (tendencial e alternativos) é, portanto, uma fase de suma importância do processo de planejamento. A seguir será descrita a metodologia adotada nesse Estudo.

6.2. Metodologia para a estimativa do consumo de combustíveis dos veículos

A metodologia utilizada para estimar o consumo de combustíveis e as emissões de CO₂ do setor de transportes rodoviário de passageiros adota uma abordagem *bottom-up*. Essas estimativas são realizadas a partir da agregação, à frota já existente, de veículos novos (afinal, neste caso é possível obter dados mais fidedignos⁵⁶); da aplicação de uma taxa de sucateamento à frota de veículos usados; da distância média anual percorrida pelos veículos em função do ano de uso; e

⁵⁶ Dados de licenciamento de veículos novos e motocicletas obtidos nos anuários da ANFAVEA (2011) e ABRACICLO (2011), respectivamente.

do consumo médio de combustíveis pela frota, por tipo de combustível utilizado. Portanto, antes do cálculo final do consumo de combustíveis e das emissões de CO₂ da frota considerada, é realizada uma estimativa do número de veículos em circulação em cada um dos anos do período cotejado. Esses procedimentos são realizados para cada categoria de veículo (exceto para os veículos a gás natural veicular).

Os veículos a GNV têm suas emissões estimadas a partir de uma metodologia *top-down* e possuem seus resultados apresentados de forma separada dos demais veículos. No Brasil, a comercialização de veículos novos movidos a GNV é pouco significativa e é composta, basicamente, por veículos convertidos a partir da instalação de *kits* de conversão. Como as informações sobre o número de veículos convertidos por ano modelo e o combustível original desses veículos não estão disponíveis, torna-se deveras impreciso utilizar uma metodologia *bottom-up*. Segundo SANTOS (2008), os proprietários de veículos automotores que mais convertem seus automóveis são aqueles que utilizam intensivamente seus veículos, especialmente os que têm uso comercial, como os táxis e comerciais leves. O principal motivo é que nesses casos, existe retorno financeiro em relação aos custos inerentes com a conversão do veículo em um intervalo menor de tempo. A Tabela 6.1 mostra o nível de desagregação da frota, por categoria de veículos adotada nesse Estudo.

As seguintes premissas foram consideradas na definição da evolução da frota no Cenário BAU:

- Taxa de crescimento anual das vendas de motocicletas, automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto novos: 4,8% de 2011 a 2015 e 3,8% de 2016 a 2030 (MMA, 2011);
- Participação de veículos dedicados à gasolina, dedicados a etanol hidratado e *flex fuel* nas vendas de automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto novos: mantidas as mesmas proporções observadas no ano de 2010 (para automóveis, respectivamente: 4%, 0% e 96%; para veículos comerciais leves do ciclo Otto: 22%, 0% e 78%) (ANFAVEA, 2011);

- Participação de motocicletas dedicadas à gasolina e *flex fuel* nas vendas de motocicletas novas: mantidas as mesmas proporções observadas no ano de 2010 (respectivamente: 81% e 19%) (ABRACICLO, 2011);
- Taxa de crescimento anual das vendas de veículos do ciclo Diesel novos de 2011 a 2030: 2,2% para veículos comerciais leves do ciclo Diesel, 1,7% para ônibus e 5,0% para caminhões⁵⁷ (MMA, 2011);
- Participação de ônibus urbanos e rodoviários nas vendas de ônibus novos: mantidas as mesmas proporções observadas em 2009 (respectivamente: 90% e 10%) (MMA, 2011);
- Curvas de sucateamento (função Gompertz para veículos ciclo Otto e função logística renormalizada para veículos ciclo Diesel): mantidas as mesmas dos cálculos das séries históricas (MMA, 2011);
- Em relação à intensidade de uso de referência para o período de 2010 a 2030, foram mantidos inalterados os valores dos cálculos das séries históricas (MMA, 2011);
- Quanto ao consumo de combustível (km por litro de combustível), foram mantidos os valores adotados para os veículos ano-modelo 2009, ou seja, não se considerou qualquer perda ou ganho de eficiência energética (MMA, 2011);
- A fração da frota de veículos *flex fuel* utilizando etanol hidratado (AEH) e gasolina C foi mantida em 53% para AEH e 47% para gasolina C (as mesmas frações observadas no ano

⁵⁷ Apesar de não se enquadrar no escopo do presente Estudo, o consumo de combustíveis e as emissões de CO₂ dos veículos de carga (caminhões) foram também simulados. O intuito foi viabilizar comparação entre o volume de óleo Diesel total consumido pelo setor de transportes rodoviário com os dados relativos a esse mesmo parâmetro explicitados no Balanço Energético Nacional – BEN (MME, 2012); e assim realizar ajustes no modelo, se necessários. Essa contabilização do consumo e das emissões de CO₂ dos caminhões é importante também para obtenção de parâmetro de comparação entre as estratégias de mitigação dos cenários alternativos propostos com o valor total do consumo de combustíveis (em especial o biodiesel) do setor de transportes rodoviário – e não apenas com o subsetor rodoviário de passageiros.

de 2009) (MMA, 2011), seguindo o modelo adotado no estudo de Goldemberg *et al.* (2008)⁵⁸.

Tabela 6.1: Categorização da frota de veículos

Categorias	Motor/Combustível	Definição
Automóveis	1- Otto / Gasolina C 2- Otto / Etanol Hidratado 3- Otto / <i>Flex fuel</i> 4- Otto / GNV	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até 8 pessoas, exclusive o condutor.
Comerciais leves	5- Otto / Gasolina C 6- Otto / Etanol Hidratado 7- Otto / <i>Flex fuel</i> 8- Diesel 9- Otto / GNV	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga com peso bruto total (PBT) de até 3.500 Kg.
Motocicletas	10- Otto / Gasolina C 11- Otto / <i>Flex fuel</i>	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car.
12- Ônibus Rodoviário 13- Ônibus Urbano	Diesel/ Óleo Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo.
14- Caminhões Leves (3,5t<PBT<10t) 15- Caminhões Médios (10<PBT<15t) 16- Caminhões Pesados (PBT>15t)	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroceria e PBT superior a 3.500 Kg

Fonte: Elaboração própria, a partir de MMA (2011).

Para a categorização da frota foram adotadas as seguintes simplificações:

- Não foram considerados os caminhões e ônibus do ciclo Otto, dado que sua participação na frota não é significativa.
- Não foram considerados os automóveis do ciclo Diesel, uma vez que, no Brasil, é proibido o abastecimento com óleo Diesel de veículos com capacidade de carga inferior a 1.000 kg.

⁵⁸ Em termos concretos, a frota de veículos *flex fuel* deve ser desagregada entre aquela que opta por utilizar gasolina C e aquela que opta pelo álcool etílico hidratado. Goldemberg *et al.* (2008) relacionam a escolha do combustível à razão entre os preços de etanol hidratado e de gasolina C, produzindo uma função estatística a partir de estimativas em nível estadual. Neste presente estudo, aplicou-se a esta função estatística a razão entre os preços médios anuais de etanol hidratado e de gasolina C, fornecidos pela ANP, no seu Anuário de ano de 2009. A proporção de 53% de uso de etanol hidratado e 47% de gasolina C foi utilizada nas projeções entre os anos 2010 e 2030 no Cenário BAU. Estes procedimentos de cálculo estão detalhados no Anexo C.

- Os micro-ônibus (veículos para até 20 passageiros) foram contabilizados na categoria ônibus urbanos.

Por incluir veículos que já deixaram de circular e para os quais não foi cancelado o seu registro, esse presente estudo, assim como o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, avaliou que a frota informada pelo DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) estaria, provavelmente, superestimada. Essa informação pode ser verificada por meio da comparação com as estimativas realizadas pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e pelo Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS), que mostra que a frota total informada pelo DENATRAN é sistematicamente superior. Assim, optou-se por não utilizar a base de dados do DENATRAN.

À semelhança dos procedimentos adotados pela ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) e pelo SINDIPEÇAS (Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores), a frota dos veículos foi estimada a partir da aplicação de taxas de sucateamento dos veículos novos comercializados no mercado nacional, conforme ilustra a Figura 6.1.

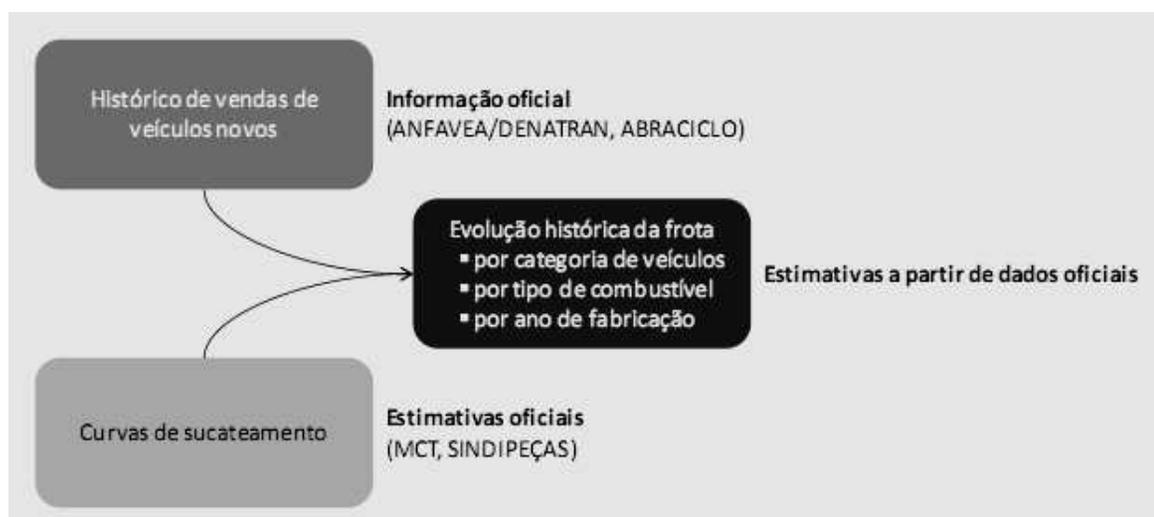


Figura 6.1: Procedimento para estimar a frota de veículos

Fonte: MMA, 2011.

A Equação 1 foi utilizada para o cálculo das frotas categorizadas na Tabela 6.1, citada anteriormente nesse Capítulo.

$$\mathbf{Fr}_{\text{ano-calendário } i, \text{ ano modelo } k} = \mathbf{V}_{\text{ano-modelo } k} \times (1 - \mathbf{S}_{\text{ano-calendário } i, \text{ ano-modelo } k}) \quad (\text{Eq. 6.1})$$

Onde:

- $\mathbf{Fr}_{\text{ano-calendário } i, \text{ ano modelo } k}$ é a frota circulante do ano-modelo k no ano-calendário i .
- $\mathbf{V}_{\text{ano-modelo } k}$ é o número de veículos do ano-modelo que entraram em circulação no ano-calendário t (veículos novos vendidos no ano-calendário k)
- $\mathbf{S}_{\text{ano-calendário } t}$ é a fração de veículos ano-modelo já sucateados e que, portanto, não circulam no ano-calendário i .

A partir de valores de intensidade de uso de referência (km/ano) e de quilometragem por litro (km/L) dos veículos, estimou-se o consumo de combustível de cada categoria e ano modelo de veículos, aplicando-se a Equação 2.

$$\mathbf{C}_{i, \text{ estimado}} = \mathbf{Fr}_{\text{ano-calendário } i, \text{ ano modelo } k} \times \mathbf{Iu}_{i, \text{ referência}} / \mathbf{Q}_{li} \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Onde:

- $\mathbf{C}_{i, \text{ estimado}}$ é o consumo anual de combustível do veículo do tipo i (L/ano);
- $\mathbf{Iu}_{i, \text{ referência}}$ é a intensidade de uso de referência do veículo do tipo i , expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano);
- \mathbf{Q}_{li} é a quilometragem por litro de combustível do veículo do tipo i (km/L).

A partir da soma do consumo de combustível das várias categorias de veículos, estimou-se o consumo total de combustível de toda a frota (Equação 3).

$$\mathbf{C}_{\text{estimado}} = \sum_i \mathbf{C}_{i, \text{ estimado}} \quad (\text{Eq. 6.3})$$

Onde:

- $\mathbf{C}_{\text{estimado}}$ é o consumo anual total de combustível (de todas as categorias de veículos), estimado a partir dos valores de intensidade de uso de referência (L/ano);

Para o cálculo das emissões de CO₂, somou-se o consumo de combustível de origem fóssil (gasolina A e óleo Diesel) de todas as categorias de veículos apresentadas na Tabela 6.1 (exceto os veículos a GNV) e multiplicou-se pelo fator de emissão correspondente, conforme a equação 6.4.

$$E = C_{\text{estimado}} \times Fe \quad (\text{Eq. 6.4})$$

Onde:

- **E** é a taxa anual de emissão de CO₂ (g/ano).
- **Fe** é o fator de emissão do poluente considerado, expresso em termos da massa de poluentes emitida por km percorrido (GgCO₂/m³). É específico para o tipo de combustível utilizado.

Já as emissões dos veículos movidos a GNV são estimadas a partir de uma abordagem *top-down*, utilizando-se a Equação 5:

$$E = C_{\text{GNV}} \times Fe \quad (\text{Eq. 6.5})$$

Onde:

- **E** é a taxa anual de emissão de CO₂ (Gg/ano).
- **Fe** é o fator de emissão de CO₂ (Gg/m³).
- **C_{GNV}** é o consumo anual observado de GNV (m³/ano).

Os fatores de emissão de CO₂ utilizados neste Estudo estão indicados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Fatores de emissão de CO₂

Gasolina A (Kg/L)	Etanol Anidro (Kg/L)	Etanol Hidratado (Kg/L)	Diesel (Kg/L)
2,269	1,233	1,178	2,671

Fonte: MMA, 2011

Urge salientar que, para o Cenário BAU, as projeções do consumo de combustíveis (e também das emissões de CO₂) entre os anos 2010 a 2030, não possuem como objetivo “acertar” a situação do futuro mais provável. Almeja-se, de fato, a construção de um cenário de referência

caracteristicamente factível, tendo como base a conjuntura atual de regulações energéticas e ambientais, ou seja, são mantidas as premissas adotadas nos cálculos das emissões históricas.

6.2.1. Vendas de veículos novos

Os dados de vendas de automóveis, veículos comerciais leves e ônibus⁵⁹ novos foram originados do Anuário da ANFAVEA (2011). No Anuário constam dados desde o ano 1957 até o ano 2010. No que se refere às motocicletas, a fonte de informações foi o Anuário da ABRACICLO (2011), que dispõe de dados para o período de 1975 a 2010.

6.2.2. Curvas de sucateamento

Para automóveis, veículos comerciais leves, ônibus e motocicletas foram adotadas as mesmas curvas de sucateamento utilizadas na elaboração do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, ilustradas na Figura 6.2 e Figura 6.3. A parametrização adotada para o levantamento das mesmas e as equações utilizadas são descritas no Anexo A.

⁵⁹ Os ônibus foram separados em duas categorias – urbanos e rodoviários – de acordo com as informações de vendas de veículos novos disponíveis para os anos de 2005 a 2009. Para os anos anteriores, assumiu-se a proporção de 10% de ônibus rodoviários e 90% ônibus urbanos, similar à proporção para os demais anos onde há dados (MMA, 2011).

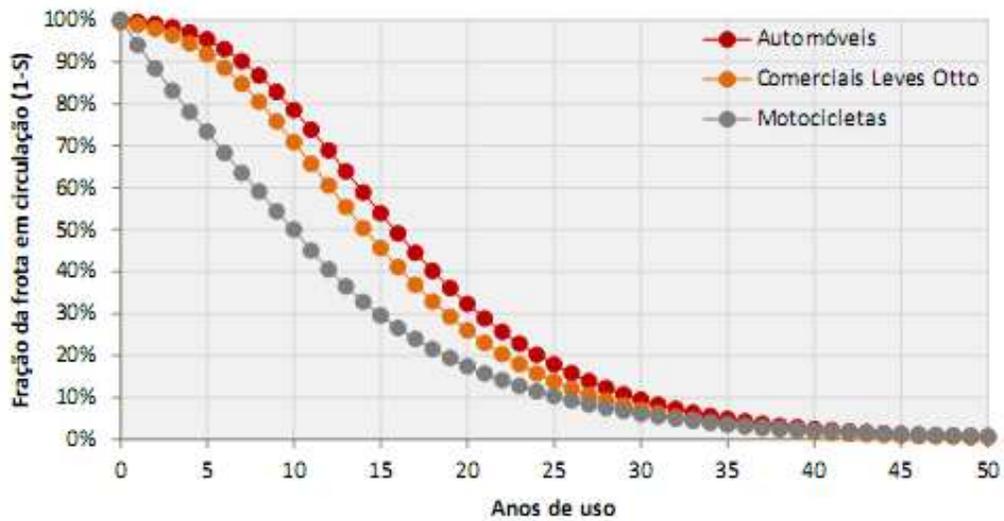


Figura 6.2: Curvas de sucateamento para veículos do ciclo Otto

Fonte: MMA, 2011.

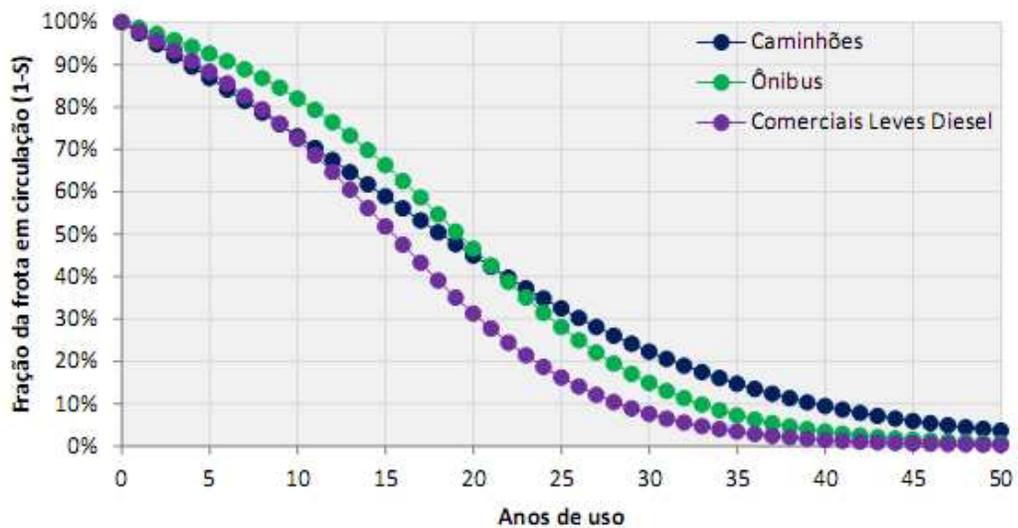


Figura 6.3: Curvas de sucateamento para veículos do ciclo Diesel

Fonte: MMA, 2011.

6.2.3. Valores de referência para a intensidade de uso de veículos

Seguindo a metodologia adotada pelo 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011), foi adotada uma curva de quilometragem

anual percorrida decrescente com a idade do veículo. As figuras 6.4 e 6.5 apresentam as curvas de intensidade de uso de referência para veículos do ciclo Otto e do ciclo Diesel e seus valores são tabelados no Anexo B.

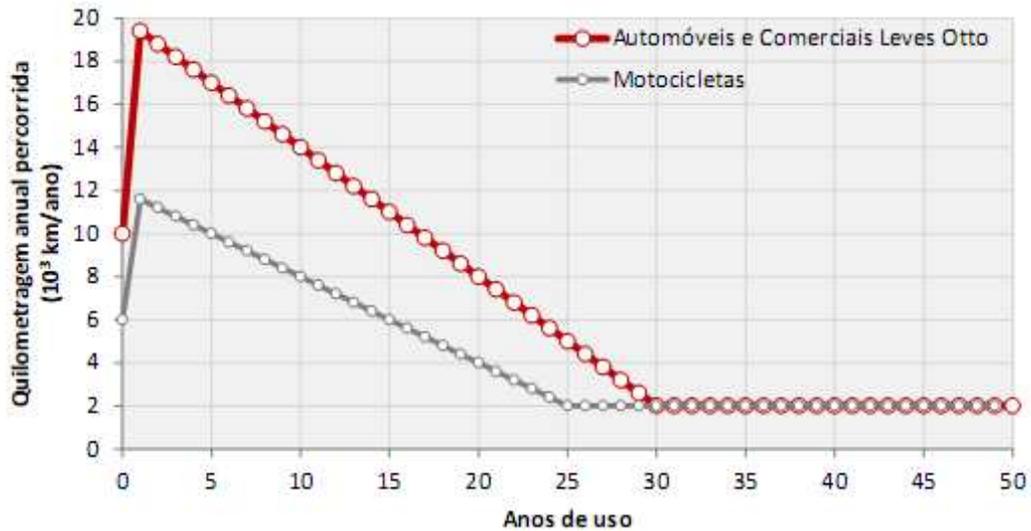


Figura 6.4: Intensidade de uso de referência para veículos do ciclo Otto

Fonte: MMA, 2011.

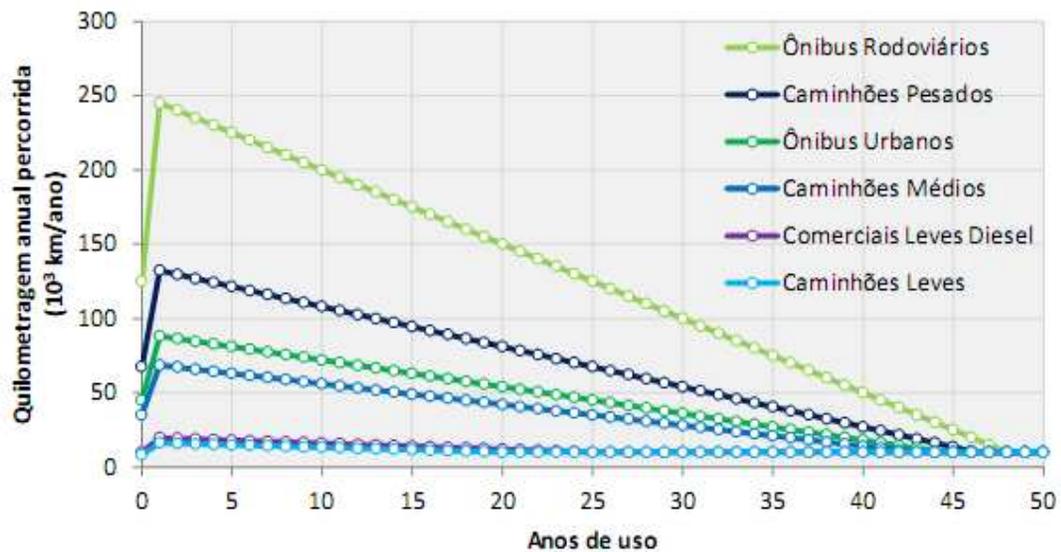


Figura 6.5: Intensidade de uso de referência para veículos do ciclo Diesel

Fonte: MMA, 2011.

6.2.4. Quilometragem por litro de combustível (km/L)

No que se refere o consumo de combustível (distância percorrida em quilômetros por litro de combustível) dos automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, das motocicletas e dos veículos ciclo Diesel, o presente trabalho baseou-se nas informações disponíveis no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As tabelas 6.3, 6.4 e 6.5 apresentam os valores de quilometragem por litro de combustível para as motocicletas, os veículos ciclo Diesel e os veículos ciclo Otto, respectivamente.

Tabela 6.3: Quilometragem por litro de combustível para motocicletas

Motor/Combustível	Quilometragem por litro de combustível (km/L)
Gasolina C	40
<i>Flex fuel</i> (Gasolina C)	40
<i>Flex fuel</i> (Etanol Hidratado)	25

Fonte: MMA, 2011.

No ano de 2009, foram introduzidas no mercado as motocicletas *flex fuel*. Por simplificação, para às motocicletas *flex fuel* utilizando gasolina C, aplicou-se os mesmos valores de quilometragem por litro de combustível das motocicletas dedicadas à gasolina. Para as motocicletas *flex fuel* utilizando etanol hidratado, considerou-se uma mesma proporção aproximada entre as quilometragens por litro de combustível de automóveis e veículos comerciais leves *flex fuel* utilizando etanol hidratado e utilizando gasolina C.

Tabela 6.4: Valores médios de quilometragem por litro de combustível para veículos do ciclo Diesel

Categoria	Quilometragem por litro de combustível (km/L)
Comerciais leves	9,09
Caminhões leves	7,61
Caminhões médios	5,56
Caminhões pesados	3,17
Ônibus urbano	2,3
Ônibus rodoviário	3,03

Fonte: MMA, 2011.

Tabela 6.5: Quilometragem por litro de combustível para automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto (km/L)

Ano de Fabricação	Gasolina C	Etanol Hidratado	<i>Flex fuel</i> Gasolina C	<i>Flex fuel</i> Etanol Hidratado
1957 a 1982	8,9	7,1		
1983	9,65	7,9		
1984	10,19	8,25		
1985	10,39	8,54		
1986	10,42	8,46		
1987	10,64	8,52		
1988	10,86	8,58		
1989	11,07	8,65		
1990	11,82	8,65		
1991	11,82	8,65		
1992	10,98	8,01		
1993	10,98	8,54		
1994	10,04	7,54		
1995	10,04	7,54		
1996	11,04	7,17		
1997	11,04	7,17		
1998	11,82	7,41		
1999	11,82	8,01		
2000	11,89	6,96		
2001	11,97	6,96		
2002	10,9	7,2		
2003	11,2	7,5	10,3	6,9
2004	11,4	8,6	10,8	7,3
2005	11,3	8,6	11,5	7,7
2006	11,3	6,9	11,7	7,8
2007	11,3	6,9	11,7	7,8
2008	9,74	6,9	11,7	7,38
2009	9,5	6,9	12	8
2010	9,5	6,9	12	8

Fonte: MMA, 2011.

6.3. Caracterização dos Cenários Alternativos

A análise do potencial que medidas de eficiência energética pelos veículos novos do modal rodoviário de passageiros (leves e ônibus – motocicletas foram excluídas⁶⁰), assim como as medidas de aumento do uso de biocombustíveis pelos veículos em geral foi realizada em etapas distintas.

Primeiramente, elaborou-se um Cenário Tendencial (de referência), chamado de BAU, no qual realizou-se a projeção da frota de veículos de passageiros para o período 2010-2030. Em seguida, realizou-se a projeção do consumo de combustíveis da frota e das emissões de CO₂ caso não fossem implementadas medidas de eficiência energética; e na hipótese das atuais tendências de consumo de combustíveis fósseis (gasolina e óleo Diesel) e biocombustíveis (biodiesel e etanol anidro e hidratado) serem mantidas, conforme as premissas descritas anteriormente.

Em seguida, elaborou-se 3 Grupos de Cenários, alcunhados de “Grupo 1”, “Grupo 2” e “Grupo Misto”, aplicando-se medidas de eficiência energética e/ou aumento do uso de biocombustíveis, tendo como principal objetivo quantificar o consumo de combustíveis e as emissões de CO₂ que tais medidas (políticas) poderiam gerar (de cada um dos grupos de veículos categorizados na Tabela 6.1 – excetuando-se os veículos a GNV).

Nas projeções dos Cenários Alternativos propostos pelo presente Estudo, entre 2010 e 2014 os valores de consumo de combustíveis se mantiveram iguais ao Cenário BAU. Afinal, nesse período de 5 anos, não foram aplicadas medidas de eficiência energética, nem de mudanças no consumo de etanol hidratado pelos veículos *flex fuel* e nem de aumento da cota da mistura de etanol anidro na gasolina C e de biodiesel no óleo Diesel. A explicação do motivo desse intervalo (*gap*) de 5 anos, consiste no fato da necessidade de um período de tempo para que o mercado “se prepare” antes que as medidas de EE e de aumento no uso de biocombustíveis sejam implementadas.

⁶⁰ Foram excluídas as motocicletas (será explicado adiante) e os caminhões (por fugir do escopo desse estudo).

Nos Cenários do Grupo 1, considerou-se apenas medidas de EE. Durante o período de projeções, manteve-se a proporção de mistura etanol anidro na gasolina A do Cenário BAU (20%) e manteve-se também em 53% o consumo de etanol hidratado e 47% de gasolina C pelos veículos *flex fuel*. Nos Cenários do Grupo 1 foram consideradas medidas de aumento da EE em 15%, 31%, 46% e 15%⁶¹ para o caso dos automóveis ciclo Otto. Esses cenários foram denominados EE A, EE B, EE C e EE D, respectivamente. Para os veículos ciclo Diesel foram consideradas medidas de aumento da EE em 31% 34%, 47% e 15%-35%⁶². Esses cenários foram também denominados EE A, EE B, EE C e EE D, respectivamente. Esses valores de aumento de EE foram extraídos do estudo da IEA (2008b), assim como os custos para realizar esse aumento de EE em cada veículo – descritos na Tabela 4.1. Foi considerado também o potencial de mitigação do consumo de óleo Diesel através da conversão da frota de ônibus (à óleo Diesel) para etanol aditivado (com ED 95⁶³), conjuntamente com medidas de aumento no uso de biocombustíveis ou com medidas de EE.

Nos Cenários do Grupo 1, não foram considerados ganhos de EE das motocicletas e ônibus (com exceção do Cenário EE D – que é o cenário que envolve hibridização dos veículos leves em geral e dos ônibus). A exclusão de ganhos de EE por parte das motocicletas deve-se ao fato de que segundo a ABRACICLO (2011), mais de 95% das vendas de motocicletas no Brasil são de baixa cilindrada (<150cc), o que limita os ganhos de EE, afinal, as mesmas já possuem alta autonomia – 40 km/L de gasolina C, em média (MMA, 2011). No caso dos ônibus, a exclusão decorre do fato de que se medidas de EE incrementais fossem atrativas, o mercado já as teria incorporado. Nesse caso, portanto, a utilização do *kers* não é considerada uma medida incremental, mas sim uma medida inovadora.

⁶¹ Os cenários EE A (tanto para veículos ciclo Otto, quanto para veículos ciclo Diesel) preveem aumentos de EE devido a mudanças incrementais nos veículos. Já os cenários EE D, preveem aumento de EE em virtude apenas do uso do *kers*. Já os cenários EE C preveem aumentos de EE devido a mudanças incrementais nos veículos e também pelo uso do *kers*.

⁶² Também em virtude apenas do uso do *kers*. Para os comerciais leves ciclo Diesel considerou-se aumento de 15% de EE e para os ônibus considerou-se aumento de 35% – Cenário EE D.

⁶³ Conforme descrito na seção 5.3.1.2 do Capítulo 5, os motores ciclo Diesel convertidos apresentam consumos com etanol aditivado 60% superiores ao observado com óleo Diesel – em volume (MOREIRA, 2007, CGEE, 2008).

Nos Cenários do Grupo 2, considerou-se uma maior utilização de biocombustíveis pelos veículos *flex fuel*, passando dos atuais 53% de uso do etanol hidratado (MMA, 2011) para 60%, 70% e 80%, com conseqüente diminuição do uso da gasolina C para 40%, 30% e 20%, respectivamente. Esses cenários foram denominados 2A, 2B e 2C, respectivamente. Foi considerado, concomitantemente a medidas de aumento de etanol hidratado, aumento da mistura de etanol anidro na gasolina A dos atuais 20% para 25%. Esses cenários foram denominados 2A', 2B' e 2C'.

Para os veículos ciclo Diesel, considerou-se aumento da mistura biodiesel no óleo Diesel nas seguintes proporções: 10%, 15% e 20%. Esses cenários foram denominados B10, B15 e B20, respectivamente. Foi considerado também, *a posteriori*, o potencial de mitigação do consumo de óleo Diesel através do uso de etanol aditivado com ED 95 em toda a frota de ônibus, a partir de 2015, conjuntamente com as medidas propostas para os cenários do Grupo 1 e 2. Os cenários que envolvem a mudança da frota de ônibus para etanol são similares aos anteriormente descritos para o caso do Grupo 1 e do Grupo 2, acrescidas no final do símbolo “0” para efeito de facilitar suas identificações (por exemplo: B10₀, EE A₀, etc.).

Nos cenários mistos para os veículos ciclo Otto, foi considerada a adoção conjunta de padrões que refletem a eficiência energética (aumento de 46% de EE) com medidas de aumento no uso de etanol hidratado nos veículos *flex fuel* (de 53% para 60%, 70% e 80%). Esse Grupo de Cenários foram denominados da seguinte forma: 1 Me, 2 Me e 3 Me. Com as mesmas premissas dos Cenários 1 Me, 2 Me e 3 Me, mas acrescentando aumento do uso de etanol anidro de 20% para 25%, foram criados os Cenários 4 Me, 5 Me e 6 Me. Para os veículos ciclo Diesel, foi considerada a adoção conjunta de padrões que refletem a eficiência energética (aumento de 47% para os comerciais leves e 35% para os ônibus) com um teor de biodiesel na mistura com o óleo Diesel fóssil de 5%, 10%, 15% e 20%. Esse Grupo de Cenários foram denominados assim: 1 Mb, 2 Mb, 3 Mb e 4Mb, respectivamente.

A razão desses percentuais de aumento de biocombustíveis, tanto AEH, quanto biodiesel, não é aleatória. Consiste em quantificar os impactos na mitigação de combustíveis fósseis e emissões de GEE relacionados a cada percentual de aumento do uso de biocombustível,

verificando se tal aumento proposto é factível em termos técnico, econômico e ambiental (análise realizada no Capítulo 7).

Uma forma relativamente simples de se regular o percentual desejado da frota de veículos *flex fuel* que utilizariam gasolina C ou etanol hidratado é através da relação entre seus preços, em nível estadual, conforme explorou estudo de Goldemberg *et al.* (2008) – vide Anexo C. Investimentos em informação, explicando as vantagens ambientais do etanol em detrimento a gasolina C, poderia fazer com que a taxa de rejeição, citado no referido estudo, não ocorresse. Com isso, a escolha do consumidor seria realizada somente através da relação entre os seus preços por unidade de energia – assim como acontece para o estado de São Paulo, conforme ilustra a Figura do Anexo C.

6.3.1. Cenários do Grupo 1 – Eficiência Energética

Nesse primeiro grupo de cenários, são simuladas medidas de eficiência energética veicular por meio do estabelecimento de índices mínimos de autonomia por litro de combustível (km/L) em função da classificação do veículo. Como forma de atender essa política, progressos tecnológicos incrementais foram simulados, utilizando os parâmetros identificados no estudo da Agência Internacional de Energia, intitulado *Energy Technology Perspectives Scenarios & Strategies to 2050* (IEA, 2008b) – analisado no Capítulo 4.

Elaborou-se os Cenários do Grupo 1 de modo que o mesmo representasse apenas a adoção de padrões que refletissem um aumento de eficiência energética da frota de veículos leves e ônibus mantendo-se constantes, em relação ao Cenário Tendencial (ou de referência), as demais premissas. As premissas do Cenário Tendencial que se mantiveram constantes foram:

- A frota do Cenário de Tendencial (em número, distribuição e motorização) para todos os anos de 2010 a 2030;

- O percentual de consumo de cada tipo de combustível utilizado em cada motorização. Nos motores dedicados utilização de 100% do combustível para o qual foram fabricados. Nos motores flexíveis partiu-se da proporção de 47% de gasolina C e 53% de AEH a partir de 2011.
- A gasolina C consumida em todos os anos do período de referência era composta por 80% de gasolina A e 20% de álcool etílico anidro (AEA).

As taxas de aumento de eficiência de consumo de combustíveis foram aplicadas a partir de 2015, no cálculo da eficiência média de consumo dos veículos novos. Esse grupo de 4 cenários, foi assim elaborado:

- Cenário EE A: Aumento a partir de 2015 de 15% de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos. Para os comerciais leves ciclo Diesel novos houve um aumento de 31% na EE;
- Cenário EE B: Aumento a partir de 2015 de 31% de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos. Para os comerciais leves ciclo Diesel novos houve um aumento de 34% na EE;
- Cenário EE C: Aumento a partir de 2015 de 46% de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos. Para os comerciais leves ciclo Diesel novos houve um aumento de 47% na EE;
- Cenário EE D: Aumento a partir de 2015 de 15% de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos. Para os veículos ciclo Diesel novos, aumentos de EE de 15% para os comerciais leves de 35% para os ônibus novos (em virtude do uso da hibridização de todos esses veículos – uso do *kers*).

6.3.1.1. Cenários do Grupo 1 – Eficiência Energética com ônibus a etanol

Esse Grupo de Cenários envolvem as mesmas premissas do caso anterior, Grupo 1, com a única diferença que, a partir de 2015 até 2030, toda a frota de ônibus foi convertida para uso de etanol aditivado (ED 95), em detrimento ao óleo Diesel. Para uma melhor diferenciação com os cenários do grupo 1 sem a conversão da frota de ônibus para etanol aditivado, esse Grupo de Cenários estão designados com o índice “₀”. Ex: Cenário EE A₀: Representa aumento a partir de 2015 de 15% de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos e 31% de aumento de EE nos comerciais leves ciclo Diesel novos, além da conversão da frota de ônibus para etanol aditivado. Os demais cenários com o índice “₀” seguem o mesmo raciocínio.

6.3.2. Cenários do Grupo 2 – Biocombustíveis

Nesse segundo grupo de cenários, para os veículos ciclo Otto, são simuladas medidas de incentivo de vendas de etanol hidratado, em detrimento a gasolina C pelos veículos *flex fuel* e também no aumento da alíquota de AEA na gasolina C (de 20% para 25%). No âmbito das políticas de incentivo de vendas de etanol, em detrimento a gasolina C pelos veículos *flex fuel* consiste o fato do governo manter o preço do etanol mais atrativo que o da gasolina C até se estabelecer a proporção desejada nas vendas de AEH em relação a gasolina C (60%, 70% e 80% ou outro valor desejável) conforme descreve o modelo de Goldemberg *et al.* (2008). Esse controle de preços poderia ser realizado, por exemplo, por intermédio da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por região geográfica, ou estado. Para os veículos ciclo Diesel, são simuladas medidas de incentivo ao aumento da alíquota de biodiesel no óleo Diesel de origem fóssil – petrodiesel.

Elaborou-se os Cenários do Grupo 2 de modo que o mesmo representasse apenas uma maior utilização do álcool etílico (hidratado e anidro) e biodiesel pelos veículos leves, mantendo-

se constantes, em relação ao caso de referência, as demais premissas. As premissas do Cenário Tendencial que se mantiveram constantes foram:

- A frota do Cenário Tendencial (em número, distribuição e motorização) para todos os anos de 2010 a 2030;
- O consumo de combustível (km/L) por tipo de veículo manteve-se inalterada.

As taxas de aumento do consumo de etanol foram aplicadas a partir de 2015 para toda a frota (veículos novos e usados). Esse grupo de 6 cenários para os veículos ciclo Otto, foi assim elaborado:

- Cenário 2A: 20% de AEA na gasolina C e 60% de AEH nos veículos *flex fuel*;
- Cenário 2B: 20% de AEA na gasolina C e 70% de AEH nos veículos *flex fuel*;
- Cenário 2C: 20% de AEA na gasolina C e 80% de AEH nos veículos *flex fuel*;
- Cenário 2A': 25% de AEA na gasolina C e 60% de AEH nos veículos *flex fuel*;
- Cenário 2B': 25% de AEA na gasolina C e 70% de AEH nos veículos *flex fuel*;
- Cenário 2C': 25% de AEA na gasolina C e 80% de AEH nos veículos *flex fuel*.

Para os veículos ciclo Diesel, 3 cenários foram assim elaborados:

- Cenário B10: 10% de biodiesel e 90% de óleo Diesel;
- Cenário B15: 15% de biodiesel e 85% de óleo Diesel;
- Cenário B20: 20% de biodiesel e 80% de óleo Diesel.

Apesar do conhecimento que seria bem improvável que o aumento do uso de biocombustíveis aconteça da forma abrupta, conforme as premissas dos cenários propostos nesse Estudo, a importância de simular esses cenários consiste no fato de quantificar o potencial de tais medidas, em nível técnico e econômico, a fim de verificar se as taxas de crescimento dos biocombustíveis citados são factíveis.

6.3.2.1. Cenários do Grupo 2 – Biocombustíveis com ônibus a etanol

Esse grupo de cenários envolvem as mesmas premissas do caso anterior, Grupo 2, com a única diferença que a partir de 2015, e até 2030, toda a frota de ônibus foi convertida para uso de etanol aditivado (E95), em detrimento ao óleo Diesel. Para uma melhor diferenciação com os cenários do grupo 2 sem a conversão da frota de ônibus para etanol aditivado, esse grupo de cenários estão designados com o índice “0”. Ex: Cenário 2C’₀: Representa 25% de AEA na gasolina C, 80% de AEH nos veículos *flex fuel* e a frota de ônibus totalmente convertida a etanol aditivado. Os demais Cenários com o índice “0” seguem o mesmo raciocínio, inclusive os Cenários do Grupo 2 para os veículos do ciclo Diesel, por exemplo, B10₀.

Como foi abordado no Capítulo 5, sobre combustíveis, apesar da eficiência térmica do motor operando com etanol se manter similar à do óleo Diesel (aproximadamente 44%), esses motores não permitem utilizar a vantagem de sua maior octanagem e apresentam consumos com etanol 60% superiores ao observado com Diesel (CGEE, 2008).

6.3.3. Cenários Mistos ou Grupo Misto

Elaborou-se os Cenários Mistos de modo que eles representassem a adoção conjunta de padrões que refletem a eficiência energética com uma maior utilização de etanol e biodiesel. A única premissa do Cenário Tendencial que se manteve constante foi:

- A frota do Cenário Tendencial (em número, distribuição e motorização) para todos os anos de 2010 a 2030.

As outras premissas, como participação de etanol e gasolina C pelos veículos flexíveis, participação do AEA na gasolina C, da fração de biodiesel misturado com óleo Diesel e a eficiência energética da frota foram alteradas. Como os demais cenários apresentados anteriormente, essas mudanças foram realizadas somente a partir de 2015. Sendo assim, para os veículos ciclo Otto, esses cenários⁶⁴ foram assim elaborados:

- Cenário 1 Me: 20% de AEA na gasolina C, 60% de AEH nos veículos *flex fuel* e 46% de aumento de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos;
- Cenário 2 Me: 20% de AEA na gasolina C, 70% de AEH nos veículos *flex fuel* e 46% de aumento de EE automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos;
- Cenário 3 Me: 20% de AEA na gasolina C, 80% de AEH nos veículos *flex fuel* e 46% de aumento de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos;
- Cenário 4 Me: 25% de AEA na gasolina C, 60% de AEH nos veículos *flex fuel* e 46% de aumento de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos;
- Cenário 5 Me: 25% de AEA na gasolina C, 70% de AEH nos veículos *flex fuel* e 46% de aumento de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos;
- Cenário 6 Me: 25% de AEA na gasolina C, 80% de AEH nos veículos *flex fuel* e 46% de aumento de EE nos automóveis e comerciais leves ciclo Otto novos;

Já para os veículos ciclo Diesel, esses cenários⁶⁵ foram elaborados da seguinte forma:

⁶⁴ Me = Misto a etanol.

⁶⁵ Mb = Misto a biodiesel.

- Cenário 1Mb: 5% de biodiesel e 95% de óleo Diesel, 47% de aumento de EE nos comerciais Leves ciclo Diesel novos e aumento de 35% de EE nos ônibus novos;
- Cenário 2Mb: 10% de biodiesel e 90% de óleo Diesel, 47% de aumento de EE nos comerciais leves ciclo Diesel novos e aumento de 35% de EE nos ônibus novos;
- Cenário 3Mb: 15% de biodiesel e 85% de óleo Diesel, 47% de aumento de EE nos comerciais leves ciclo Diesel novos e aumento de 35% de EE nos ônibus novos;
- Cenário 4Mb: 20% de biodiesel e 80% de óleo Diesel, 47% de aumento de EE nos comerciais leves ciclo Diesel novos e aumento de 35% de EE nos ônibus novos;

Para uma melhor compreensão dos cenários propostos, vide Apêndices A e B.

6.4. Conclusões do Capítulo 6

O principal objetivo das técnicas de “cenarização” da demanda consiste na obtenção de uma ferramenta de planejamento para se optar por decisões melhores sobre o futuro, visando identificar oportunidades, prevenir ameaças, introduzir ações políticas, orientar estratégias e táticas, possibilitando gestores tanto de organizações públicas como privadas, na adoção de uma abordagem pró-ativa em relação ao futuro.

O Cenário Tendencial proposto possui como objetivo a construção de um cenário de referência caracteristicamente factível, tendo como base a conjuntura atual de regulações energéticas e ambientais, ou seja, são mantidas as premissas adotadas nos cálculos das emissões históricas. Já os Cenários Alternativos propostos possuem como objetivo mitigar o consumo de combustíveis fósseis e as emissões de GEE do setor de transportes rodoviário de passageiros brasileiro, em relação ao Cenário Tendencial. Os Cenários Alternativos foram construídos através de metas de EE e/ou aumento do uso de biocombustíveis, conforme as opções que apresentavam as maiores viabilidades técnico econômicas, anteriormente analisadas nos capítulos 4 e 5. O

próximo Capítulo analisa de forma quantitativa todos os cenários propostos – tendencial (ou BAU) e alternativos (Grupo 1, Grupo 2 e Mistos).

7. Análise dos Resultados

Este Capítulo analisa, quantitativamente, os impactos no consumo de combustíveis e nas emissões de CO₂ das medidas propostas no Capítulo anterior. Refere-se aqui, em especial, às medidas associadas a aumento de eficiência energética (EE) e aumento no uso de biocombustíveis – de forma isolada ou conjunta – no setor de transportes rodoviário de passageiros no Brasil.

7.1. Frota estimada de veículos no ano de referência – ano base 2010

A frota brasileira de LDVs é composta por automóveis e comerciais leves. Os automóveis são compostos basicamente por: Veículos dedicados à gasolina C; veículos dedicados a etanol hidratado; e veículos *flex fuel*. Já os comerciais leves são compostos basicamente por: Veículos dedicados à gasolina C; veículos dedicados a etanol hidratado; veículos *flex fuel*; e veículos ciclo Diesel.

Os dados sobre a venda de veículos novos da ANFAVEA (2011) revela que, após o ano de 2003, houve uma forte penetração de automóveis e comerciais leves *flex fuel* no mercado e, em contrapartida, uma redução no licenciamento, e também das vendas, de veículos dedicados à gasolina e a etanol hidratado (vide Anexo D). O total estimado da frota de veículos de passageiros pelo modelo proposto no Capítulo 6, e a participação de cada categoria de veículo, está ilustrado pela Figura 7.1 – para a frota de veículos ciclo Otto e ciclo Diesel.

A Figura 7.1 revela que pelas estimativas do modelo proposto, a frota estimada de veículos ciclo Otto (excluindo as motocicletas), no ano de 2010, foi de aproximadamente 27,631 milhões, assim distribuídos: Automóveis dedicados à gasolina C representando 44,29% do total; automóveis *flex fuel* representando 39,46% do total; comerciais leves representando 11,72%; e automóveis dedicados a etanol hidratado representando 4,53% de participação.

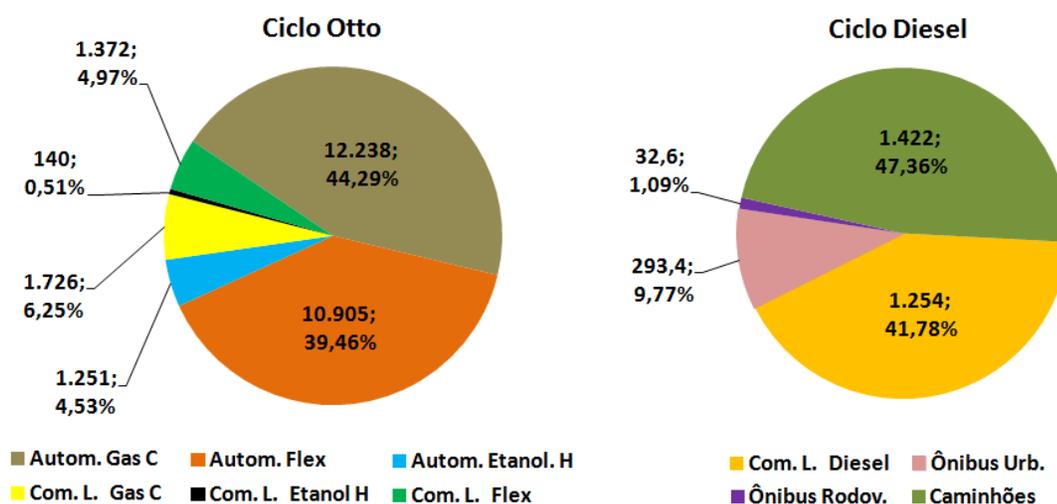


Figura 7.1: Frota estimada em milhares de unidades e a participação no total para o ano 2010 dos veículos ciclo Otto e ciclo Diesel – sem as motocicletas

Fonte: Elaboração própria.

A frota de comerciais leves com motores ciclo Otto dividem-se em dedicados à gasolina C com 6,25% do total dos veículos ciclo Otto, comerciais leves dedicados a etanol hidratado com 0,51% de participação e comerciais leves *flex fuel* com 4,97% de participação. Do total de comerciais leves, cerca de cerca de 1,254 milhões, ou seja, 28% do total de veículos comerciais leves são ciclo Diesel.

No ano de 2009, foi iniciada a venda de motocicletas *flex fuel*, constituindo cerca de 12% das motocicletas novas comercializadas. No ano de 2010 (referência), a composição de vendas de motocicletas novas dedicadas (a gasolina C) e *flex fuel* foram, respectivamente, de 81% e 19% (ABRACICLO, 2011). O total estimado da frota de motocicletas no ano de 2010 é de 12,6 milhões de unidades.

Em relação a frota de ônibus, para ano de 2010, o modelo estimou em aproximadamente 326 mil unidades, divididas, conforme as premissas apresentadas no Capítulo anterior: 90% ônibus urbano e 10% ônibus rodoviário. Já a frota de caminhões no ano de 2010, foi estimada pelo modelo em cerca de 1,422 milhões de unidades. Os valores de licenciamento ano a ano dos veículos ciclo Diesel – incluindo os caminhões – encontram-se no Anexo E.

7.2. Consumo de combustíveis por tipo de veículo

A frota de veículos estimada pelo modelo proposto nesse Estudo apresenta a distribuição de consumo de combustíveis, conforme mostra a Tabela 7.1 – para os veículos ciclo Otto – e Tabela 7.2 – para os veículos ciclo Diesel.

Tabela 7.1: Consumo de combustível estimado por tipo de veículo ciclo Otto no ano de 2010 – 10^3 m^3

	Autom. dedicados	Autom. Flex	Com. L. dedicados	Com. L. Flex	Moto. Gas. C	Moto. Flex	Total
Gasolina A	11.595	5.741	1.741	710	2.224	39	22.051
Etanol A.	2.899	1.435	435	178	556	10	5.513
Etanol H.	1.221	12.279	142	1.519	0	89	15.250

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 7.2: Consumo de combustível estimado por tipo de veículo ciclo Diesel no ano de 2010 – 10^3 m^3

	Com. L. dedicados	Ônibus urbano	Ônibus rodoviário	Caminhões	Total
Óleo Diesel	2.081	8.378	1.963	24.548	36.970
Biodiesel	110	441	103	1.292	1.946

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar a partir da Tabela 7.1 que os veículos dedicados a gasolina C são os que apresentam maiores consumos de gasolina A (cerca de 52,6% em volume). As motocicletas representam cerca de 10,3% do consumo de gasolina A e os automóveis *flex fuel* consomem cerca de 26%. Os comerciais leves com 11,1% do total completam o consumo de gasolina A dos veículos ciclo Otto.

Já para os veículos ciclo Diesel, os caminhões são os grandes consumidores de combustíveis com 66,4% do total (em volume), seguido dos ônibus com cerca de 28% e dos comerciais leves ciclo Diesel com 5,6% aproximadamente. A Figura 7.2, agrega os valores totais de consumo de combustíveis, por volume, representados anteriormente pelas Tabelas 7.1 e 7.2.

Através da análise da Figura 7.2, nota-se que o óleo Diesel é o combustível mais utilizado pelo modal rodoviário com 45,3% de participação total, seguido pela gasolina A com 27% e pelo etanol com 25,4% do total (dividido entre etanol anidro com 6,75% e etanol hidratado com 18,66%). O biodiesel representa apenas 2,3% do consumo total de combustíveis, por volume.

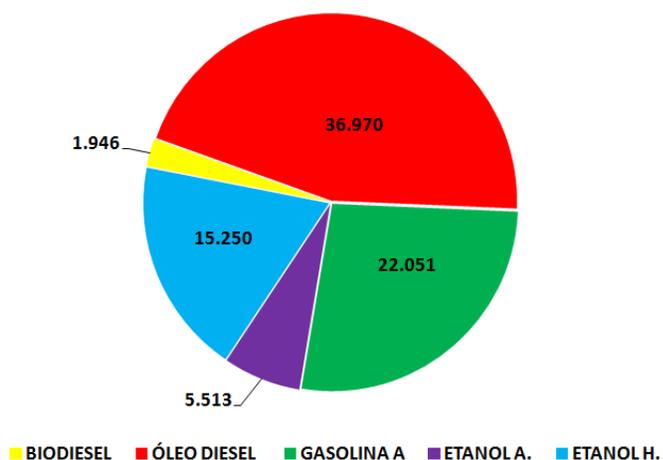


Figura 7.2: Consumo de combustível estimado em volume para o ano de 2010 – 10³ m³

Fonte: Elaboração própria.

7.3. Emissões de dióxido de carbono – início e fim das simulações

As emissões de dióxido de carbono analisadas nesse Estudo são as provenientes dos escapamentos dos veículos, ou seja, configuram-se em produto da combustão dos combustíveis durante o uso dos veículos, não contabilizando, portanto, as emissões de CO₂ de origem fóssil ao longo de todo o ciclo de vida dos combustíveis. Nesse sentido, as emissões de CO₂ dos biocombustíveis são consideradas nulas (conforme foi analisado na Seção 2.2).

Os resultados da participação desagregada da frota de veículos nas emissões de CO₂ de origem fóssil remetem também à análise da contribuição relativa dos combustíveis. O crescimento projetado das emissões de CO₂ no Cenário BAU, sem contabilizar as emissões dos caminhões, entre os anos de 2010 e 2030, foi de 120%. Ainda sem a contabilização das emissões dos veículos de carga, do total de emissões de CO₂ de origem fóssil do setor de transportes

rodoviário, no ano de 2010, 60,1% foi resultado da combustão da gasolina A e 39,9% do óleo Diesel. Ao se considerar também as emissões de CO₂ dos caminhões, as participações dos 2 citados combustíveis praticamente se invertem – 33,6% da gasolina A contra 66,6% do óleo Diesel – evidenciando a importância do setor de transportes de carga nas emissões de CO₂ do setor de transportes rodoviário brasileiro.

Para o ano de 2030, para o setor de transportes rodoviário de passageiros, do total de emissões de CO₂ de origem fóssil, 37,7% foi resultado da combustão de óleo Diesel e 62,3% da gasolina A. Já a projeção das emissões do Cenário BAU em 2030, com a contabilização das emissões dos caminhões, revela um crescimento das emissões do óleo Diesel, aumentando para 74,5%, contra 25,5% da gasolina A.

Sem a contabilização do consumo de combustíveis dos caminhões, a princípio, dever-se-ia esperar uma participação maior das emissões associadas ao óleo Diesel em relação a gasolina A em 2030, em comparação ao ano de 2010. Isso por que, ao longo da projeção proposta nesse Estudo, ocorre um grande decréscimo da participação dos veículos dedicados a gasolina C, explicada principalmente pelo licenciamento de quase 100% de veículos *flex fuel*, em detrimento dos veículos dedicados a gasolina C. Porém, esse Estudo possui como premissas crescimento anuais de licenciamento de novos veículos ciclo Otto superior ao crescimento dos veículos ciclo Diesel, fato que explica a pouca diferença entre as participações do óleo Diesel e da gasolina A no início e no final das projeções – sem contabilização do consumo de combustíveis dos caminhões.

Considerando apenas as emissões de CO₂ oriundas da combustão de combustíveis fósseis, nesse caso, com a contabilização do consumo de combustíveis dos caminhões, as emissões totais aumentam de 148,781 MtCO₂ em 2010 para 444,884 MtCO₂ em 2030, um expressivo aumento de 202% no período. A Figura 7.3 e a Tabela 7.3 apresentam, respectivamente, as emissões totais de CO₂ de origem fóssil, desagregada por tipo de veículo, para os anos 2010 e 2030 e as participações percentuais dessas emissões no total do setor de transportes rodoviário brasileiro.

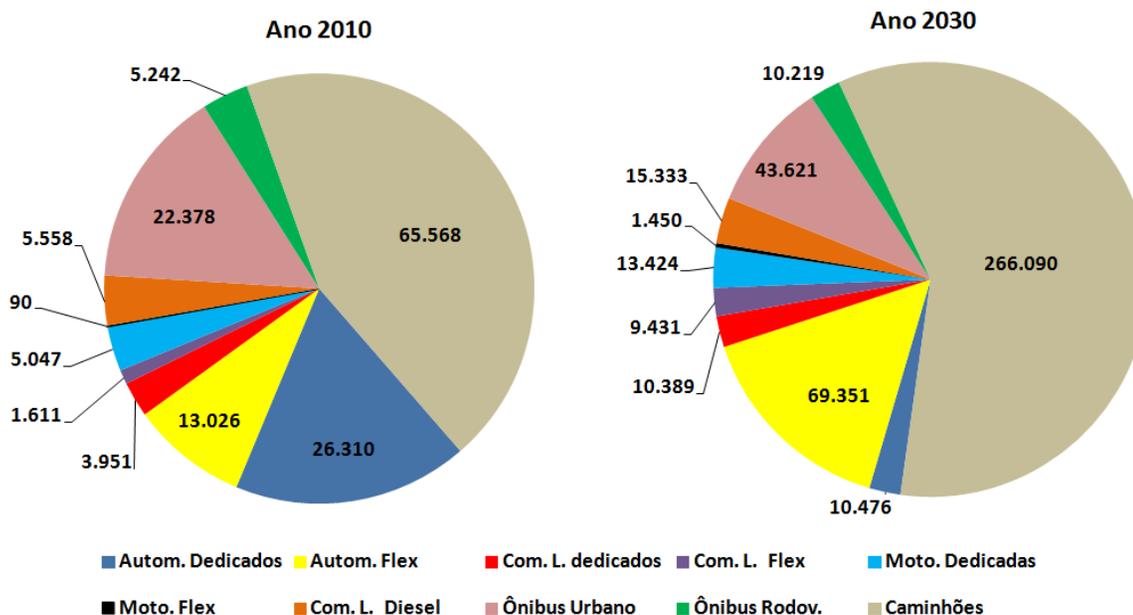


Figura 7.3: Emissões totais de CO₂ de origem fóssil por tipo de veículo para os anos 2010 e 2030 – KtCO₂

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 7.3: Participação, por tipo de veículo, do total das emissões de CO₂ de origem fóssil para os anos 2010 e 2030

	Autom. Gas. C	Autom. Flex	Com. L. Gas. C	Com. L. Flex	Moto. Gas. C	Moto. Flex	Com. L. Diesel	Ônibus Urbano	Ônibus Rodov.	Caminhões
2010	17,68%	8,76%	2,66%	1,08%	3,39%	0,06%	3,74%	15,04%	3,52%	44,07%
2030	2,33%	15,42%	2,31%	2,10%	2,98%	0,32%	3,41%	9,70%	2,27%	59,16%

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar através dos valores da Tabela 7.3 e da Figura 7.3, que os maiores emissores de CO₂, em 2010 e 2030, são os caminhões, com 44,07% e 59,16% das emissões, respectivamente. Os automóveis dedicados a gasolina C são os veículos que apresentam as maiores diminuições nas participações das emissões de acordo com o Cenário BAU, de 17,68% para apenas 2,33%. Por outro lado os veículos *flex fuel* são os que apresentam maiores crescimento nas participações, passam de 8,76% para 15,42%. Os ônibus (urbano e rodoviário) apresentam também participação declinante, passam de 18,56% em 2010 para 11,97% em 2030. Os demais veículos analisados apresentam participações reduzidas tanto no início como no final das projeções.

A análise dos dados da Figura 7.3 evidencia a necessidade de políticas de mitigação do consumo e/ou emissões de dióxido de carbono pelo setor de transportes rodoviário de passageiro brasileiro, já que as emissões totais dos veículos ciclo Otto passaram de 50,035 MtCO₂ para 114,522 MtCO₂, um aumento de aproximadamente 129% no período considerado (2010-2030). A Figura 7.3 revela a queda de importância dos veículos dedicados a gasolina C e o aumento de importância dos veículos *flex fuel* ao longo dos anos de análise no Cenário BAU. Enquanto os veículos dedicados a gasolina C diminuíram suas emissões de 26,310 MtCO₂ para 10,476 MtCO₂, os veículos *flex fuel* aumentaram consideravelmente suas emissões, passando de 13,026 MtCO₂ para 69,351 MtCO₂.

A análise dos dados explicitados na Figura 7.3 revela a importância de políticas voltadas a mitigação das emissões de CO₂ dos ônibus urbanos, pois os mesmos tendem a praticamente dobrar suas emissões em 2030, em comparação as suas emissões no ano de 2010, se medidas de mitigação não forem implementadas. O mesmo raciocínio vale para o transporte de cargas, onde as emissões mais que quadruplicam se medidas de mitigação não forem realizadas.

Para os veículos a GNV, o consumo de gás natural no ano de 2010, segundo o MME (2011a), foi de 2.008×10^6 m³; e as emissões correlatas foram de 4,014 MtCO₂. Através da metodologia *top-down*, e utilizando uma taxa de crescimento de 6,1% a.a. – a mesma das projeções do Cenário “Na Crista da Onda” do PNE 2030 (MME, 2007) –, o consumo de GNV em 2030 e as emissões correlatas são respectivamente, de 6.562×10^6 m³ e 13,118 MtCO₂. Para o período 2010 a 2030, o consumo de GN e as emissões acumuladas estimadas, através da metodologia *top-down* foram, respectivamente, 81.225×10^6 m³ e 162,239 MtCO₂. Essas emissões dos veículos a GNV representam 5,56% das emissões do setor de transportes rodoviário brasileiro de passageiros.

7.4. Consumo total – por tipo de combustível

Os resultados do consumo total de combustível de todos os cenários propostos estão desagregados por tipo de combustível e se encontram nas figuras 7.4 a 7.7. A exceção do Cenário

BAU, onde todos os valores do consumo dos combustíveis encontram-se também agregados na Tabela 7.4. Os valores estão em milhões de m³, com exceção do combustível biodiesel, onde os valores encontram-se em mil m³.

Os resultados das projeções do consumo por tipo de combustível para cada cenário proposto estão representados pelo somatório entre os anos 2015 (quando se inicia as medidas de mitigação propostas) a 2030 (ano final das análises). Para o Cenário BAU, os totais das projeções estão segmentados entre os anos 2015 a 2030, entre os anos 2010 a 2014; e entre os anos 2010 a 2030.

Os resultados das projeções por tipo de combustível do Cenário BAU encontram-se na Tabela 7.4.

Tabela 7.4: Resultado acumulado das projeções por tipo de combustível do Cenário BAU – 10⁶ m³

Total	Gasolina A	Etanol	Óleo Diesel sem caminhão	Biodiesel sem caminhão	Óleo Diesel com caminhão	Biodiesel com caminhão
2010-2014	120	137	70	4	222	12
2015-2030	612	1.013	340	18	1.426	75
2010-2030	732	1.150	410	22	1.648	87

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar pelos dados da Tabela 7.4, para o período 2015 a 2030, que o consumo de etanol, em volume, de cerca de 1.013 milhões de m³, supera o consumo total da gasolina A de cerca de 612 milhões de m³, e é também superior ao consumo de óleo Diesel (sem contabilizar o consumo dos caminhões), de cerca de 340 milhões de m³. Já contabilizando os caminhões, o consumo de óleo Diesel, de cerca de 1.426 milhões de m³, é 1,4 vezes superior ao do etanol. Já o biodiesel, em virtude de ser utilizado apenas misturado no teor de 5% no óleo Diesel, possui consumo muito inferior em relação aos demais combustíveis, apenas 18 milhões de m³, sem contabilizar os caminhões, e de cerca de 75 milhões de m³ contabilizando o consumo dos caminhões.

Urge resaltar, que os resultados do período 2010-214, são válidos para todos os cenários, pois, como foi explicado no Capítulo anterior, todas as simulações das medidas de mitigação propostas nesse Estudo, são iniciadas somente a partir de 2015.

7.4.1. Gasolina A

Os resultados das projeções do Cenário BAU e dos Cenários Alternativos (Grupo 1, Grupo 2 e Misto) para o consumo da gasolina A encontram-se na Figura 7.4.

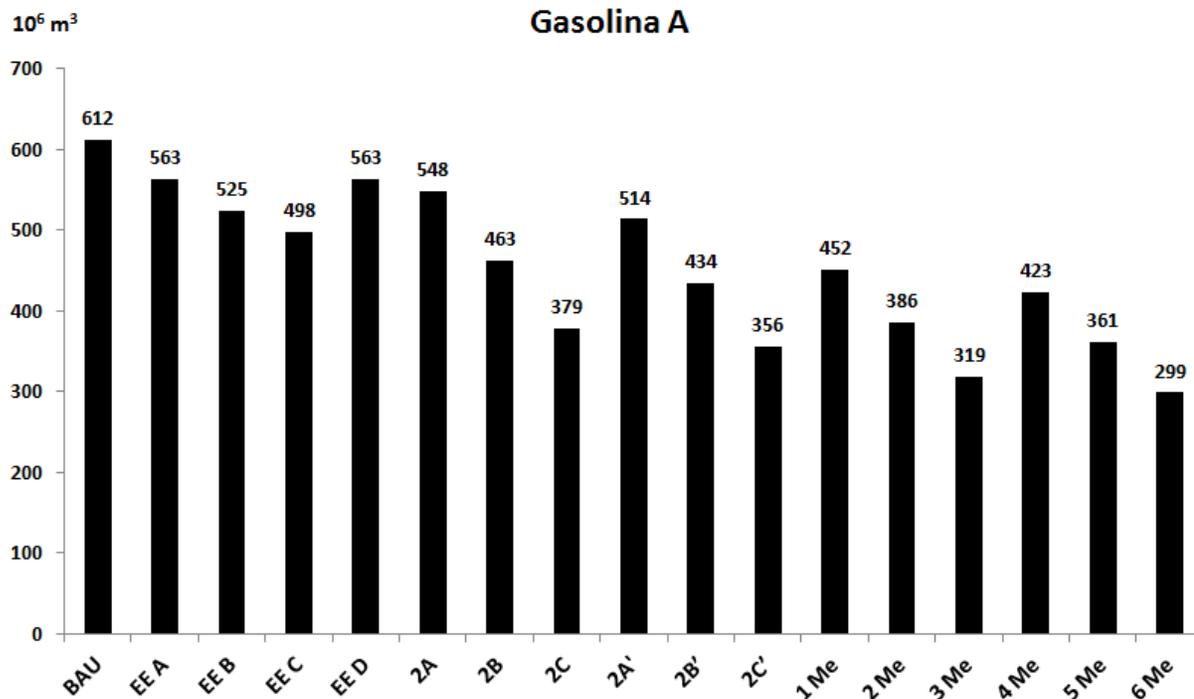


Figura 7.4: Resultado das projeções dos grupos de Cenários Alternativos para a gasolina A, no período 2015 a 2030 – 10⁶ m³

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar através dos valores da Figura 7.4 que o consumo de gasolina A, em virtude das medidas de EE propostas (Cenários do Grupo 1), para o período 2015-2030, varia entre 8,21% e 18,60%, em relação ao Cenário BAU. Esses valores correspondem a uma diminuição entre 50 a 114 milhões de m³. Já para os cenários envolvendo biocombustíveis

(Grupo 2), o consumo total de gasolina A, também para o período 2015-2030, diminui entre 10,38% e 41,98%, em relação ao cenário BAU. Esses valores correspondem a uma diminuição entre 64 a 256 milhões de m³.

A Figura 7.4 revela também que o consumo de gasolina A, em virtude de medidas de EE juntamente com medidas de incentivo ao uso de etanol hidratado pelos veículos *flex fuel*, mantendo-se em 20% a mistura de AEA na gasolina C (Cenários 1 Me, 2 Me e 3 Me do Grupo Misto) sofre uma diminuição no consumo entre 26,20% a 47,90%, em relação ao Cenário BAU. Já para os Cenários 4 Me, 5 Me e 6 Me, o consumo de gasolina A, em virtude de medidas de EE juntamente com medidas de incentivo ao uso de etanol hidratado pelos veículos *flex fuel* e do aumento da alíquota de AEA para 25% na gasolina C sofre uma redução entre 30,81% e 51,13%, em relação ao Cenário BAU. Portanto, entre o grupo de cenários denominado Misto, ocorre uma expressiva diminuição do consumo de gasolina A entre 160 a 313 milhões de m³, em relação ao BAU. Os resultados, ano a ano, das projeções dos Cenários BAU, em comparação aos Cenários do Grupo 1, Grupo 2 e Misto para a gasolina A podem ser visualizadas através das figuras do Apêndice C. Urge salientar, que a conversão da frota de ônibus para etanol aditivado não altera o consumo da gasolina A.

7.4.2. Etanol

Os resultados das projeções do Cenário BAU e dos Cenários Alternativos propostos para o consumo do etanol (anidro e hidratado) encontram-se na Figura 7.5.

Através da análise da Figura 7.5, pode-se observar que o consumo total de etanol nos Cenários do Grupo 1 para o período 2015-2030, sofreu uma redução entre 9,64% e 21,92%, em relação ao montante projetado do Cenário BAU. Esses valores correspondem a uma diminuição entre 98 a 222 milhões de m³. Já para os Cenários do Grupo 2, o consumo total de etanol varia entre 8,65% e 37,88%, correspondendo à um aumento expressivo do consumo do citado biocombustível entre 226 a 383 milhões de m³, em relação ao Cenário BAU.

O consumo total de etanol para os Cenários do Grupo Misto varia entre uma diminuição de 14,41% até um aumento de 8,49%, em relação ao Cenário BAU. Em números absolutos, para esse grupo de cenários, ocorre uma diminuição do consumo de etanol de até 146 milhões de m³ (para o Cenário 1 Me) a um aumento de 86 milhões de m³ (para o Cenário 6 Me). Conclui-se que medidas de EE, mesmo quando aplicadas com aumento do consumo de AEH pelos veículos *flex fuel*, possuem força para diminuir o consumo de etanol substancialmente 14,41% (Cenário 1 Me), reforçando a importância de políticas voltadas a medidas de EE. Os resultados, ano a ano, das projeções dos Cenários BAU, em comparação aos Cenários do Grupo 1, Grupo 2 e Misto para o etanol podem ser visualizadas através das figuras do Apêndice D.

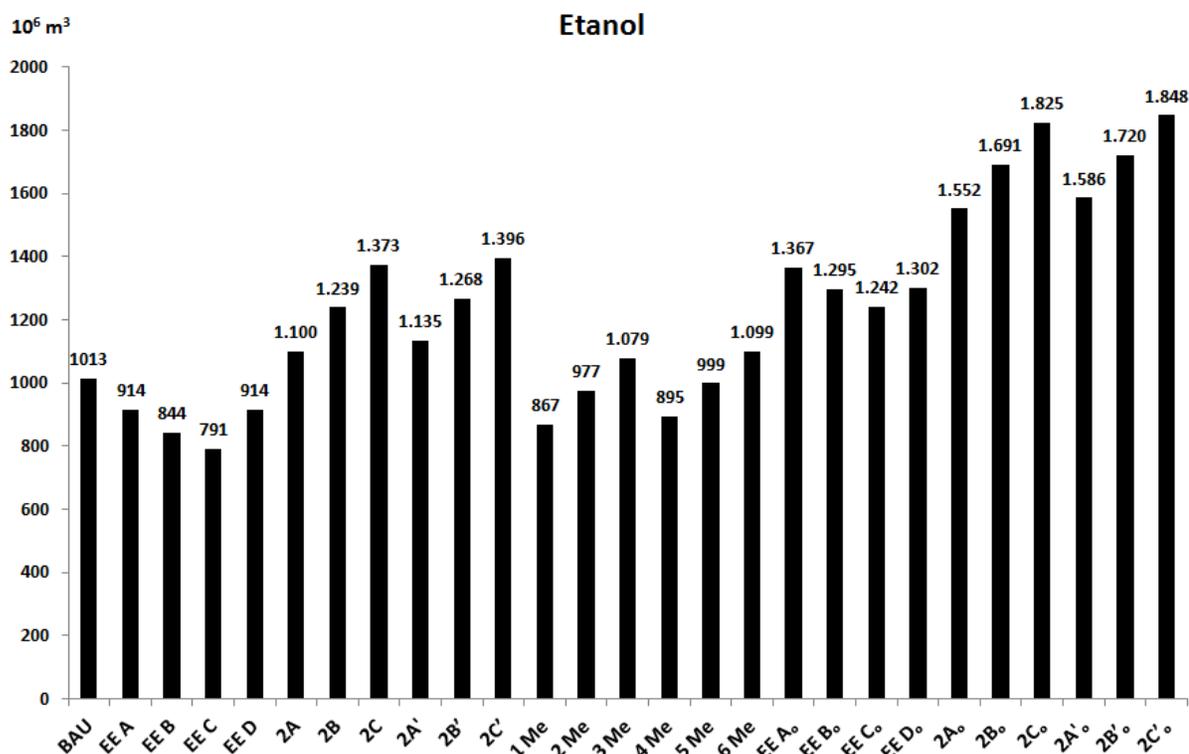


Figura 7.5: Resultado das projeções dos grupos de Cenários Alternativos para o etanol, no período 2015 a 2030 – 10⁶ m³

Fonte: Elaboração própria.

Urge ressaltar, também, que somente aumento no consumo para 80% de etanol pela frota de veículos *flex fuel* (que apresenta maior crescimento e importância no que tange a frota de veículos leves), independente da mistura de anidro ser de 20% (Cenário 3 Me) ou de 25% (Cenário 6 Me),

são os únicos Cenários do Grupo Misto que apresentaram aumentos no consumo total de etanol – em relação ao Cenário BAU –, de 6,5% e 8,5%, respectivamente. Os demais Cenários do Grupo Misto apresentaram diminuição do montante de etanol, em relação ao Cenário BAU, no período considerado, mesmo a despeito dos aumentos de etanol anidro e hidratado previstos.

Para os Cenários do Grupo 1 e 2 que envolvem a conversão da frota de ônibus para etanol aditivado, observa-se que o consumo total de etanol aumenta, em relação ao Cenário BAU, entre 22,67% a 82,46%. Nem as medidas de EE propostas, possuem força para mitigar substancialmente o consumo de etanol nesse grupo de cenários. Em valores absolutos, esses tipos de políticas de incentivo ao etanol (radicais) aumentam o consumo do mesmo em até 835 milhões de m³ em relação ao Cenário Tendencial. Somente a conversão da frota de ônibus para etanol tende a aumentar o consumo de etanol, para o período 2015-2030, em 388 milhões de m³ para o Cenário EE D₀ (que envolve hibridização dos ônibus que sofreram aumentos de EE em 35%) e aproximadamente 452 milhões de m³ para os demais cenários.

7.4.3. Óleo Diesel

Os resultados das projeções do Cenário BAU e dos Cenários Alternativos propostos para o consumo do óleo Diesel – contabilizando o consumo dos caminhões e sem a contabilização do consumo dos caminhões – encontram-se na Figura 7.6.

Pode-se observar através da Figura 7.6 que para os Cenários do Grupo 1, ocorrem mitigação que varia entre 3,12% e 12,87%, em relação ao Cenário BAU. Como as medidas de EE nos Cenários EE A, EE B e EE C não envolveram a frota de ônibus, isto é, só envolveram os veículos comerciais leves ciclo Diesel, os ganhos de EE foram bastante reduzidos (entre 3,12% a 4,22%). Contudo, no Cenário EE D, que é o cenário envolvendo hibridização (através do uso do *kers* tanto para ônibus quanto para comerciais leves ciclo Diesel), os ganhos foram mais significativos (12,87%). Em números absolutos, os Cenários do Grupo 1 representam diminuição entre 10 a 44 milhões de m³ de óleo Diesel, em relação ao Cenário BAU. Já para os Cenários do Grupo 2, o

consumo total de óleo Diesel teve uma redução entre 5,26% e 15,79%, em relação ao Cenário BAU, que corresponde à mitigação entre 18 e 53 milhões de m³.

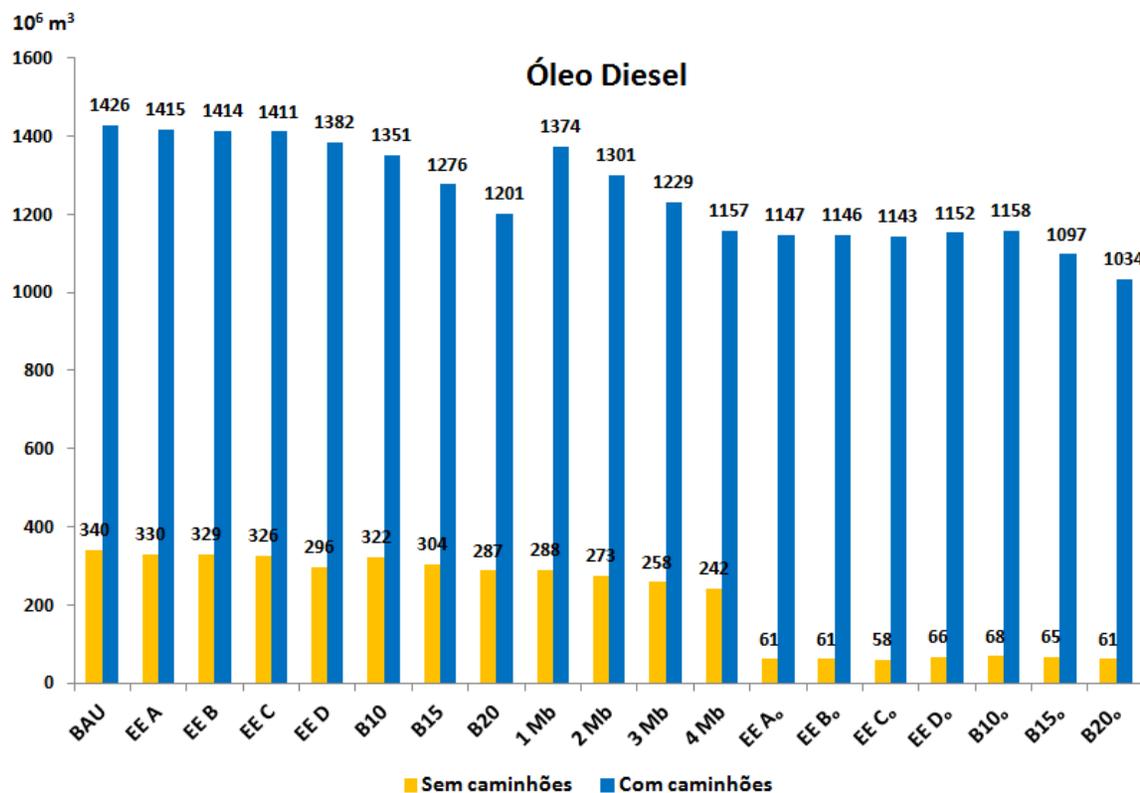


Figura 7.6: Resultado das projeções dos grupos de Cenários Alternativos para o óleo Diesel, no período 2015 a 2030 – 10⁶ m³

Fonte: Elaboração própria.

O consumo total de óleo Diesel quando se contabiliza o consumo do setor de transportes rodoviário de carga, para os Cenários do Grupo 1 varia somente entre 0,75% e 3,07%, em relação ao Cenário BAU. Isso acontece, pois, para os caminhões não foram implementadas medidas de EE, e os mesmos representam a maior parcela do consumo total de óleo Diesel do setor de transportes rodoviário. Contudo, para os Cenários do Grupo 2, o consumo de óleo Diesel dos caminhões sofre diminuição nas mesmas proporções do exemplo anterior, pois o aumento da participação de biodiesel atinge também esse segmento. Em números absolutos significa uma mitigação de até 225 milhões de m³ (para o Cenário B20₀).

O consumo de óleo Diesel para os Cenários do Grupo Misto varia entre 15,37% e 28,73%, em relação ao Cenário BAU – sem contabilizar os caminhões –, o que representa diminuição do consumo de óleo Diesel entre 52 a 98 milhões de m³. Os resultados, ano a ano, das projeções do Cenário BAU, e dos cenários do Grupo 1, Grupo 2 e Misto para o óleo Diesel – sem contabilizar o consumo dos caminhões – podem ser visualizadas através das figuras do Apêndice E. Já contabilizando os caminhões, o consumo de óleo Diesel do Grupo Misto varia entre 3,67% e 18,88%, em relação ao Cenário BAU com caminhões. Em números absolutos significa uma expressiva mitigação entre 52 milhões de m³ e 311 milhões de m³ de óleo Diesel.

O consumo total de óleo Diesel, em virtude de medidas de EE e da conversão da frota de ônibus para etanol aditivado, diminui, em relação ao Cenário BAU, aproximadamente 80% para todos os cenários analisados – sem a contabilização dos caminhões. O que representa uma diminuição de cerca de 270 milhões de m³ de óleo Diesel, em relação ao Cenário BAU. Essa “homogeneidade” no volume mitigado ocorre, pois, as medidas de EE e de aumento do uso de biodiesel são implementadas apenas nos comerciais leves a ciclo Diesel (que representa uma parcela bastante reduzida da frota dos veículos que consomem óleo Diesel).

Já o consumo total de óleo Diesel (contabilizando-se o consumo dos caminhões) em virtude de aumento do uso de biodiesel e mudança de combustível da frota de ônibus (de óleo Diesel para etanol), varia entre 19,55% e 31,62%, em relação ao Cenário BAU com caminhões. Esses valores percentuais representam uma expressiva diminuição líquida do consumo de óleo Diesel entre 279 a 451 milhões de m³, em relação ao Cenário BAU.

7.4.4. Biodiesel – Resultados

Os resultados das projeções dos Cenários Alternativos propostos para o consumo de biodiesel – contabilizando o consumo dos caminhões e sem a contabilização do consumo dos caminhões – encontram-se na Figura 7.7.

Pode-se observar através da análise dos dados da Figura 7.7 que o consumo total de biodiesel, sem contabilizar o consumo dos caminhões, para os Cenários do Grupo 1, para o período 2015-2030, varia entre 3,12% e 12,87%, em relação ao Cenário BAU (mesmos valores percentuais do óleo Diesel para os mesmos cenários). Esses valores correspondem a uma diminuição entre 0,56 a 2,3 milhões de m³ de biodiesel. Já para os Cenários do Grupo 2, o consumo total de biodiesel, também para o período 2015-2030, aumentou de 100%, 200% e até 300% (para os Cenários B10, B15 e B20, respectivamente).

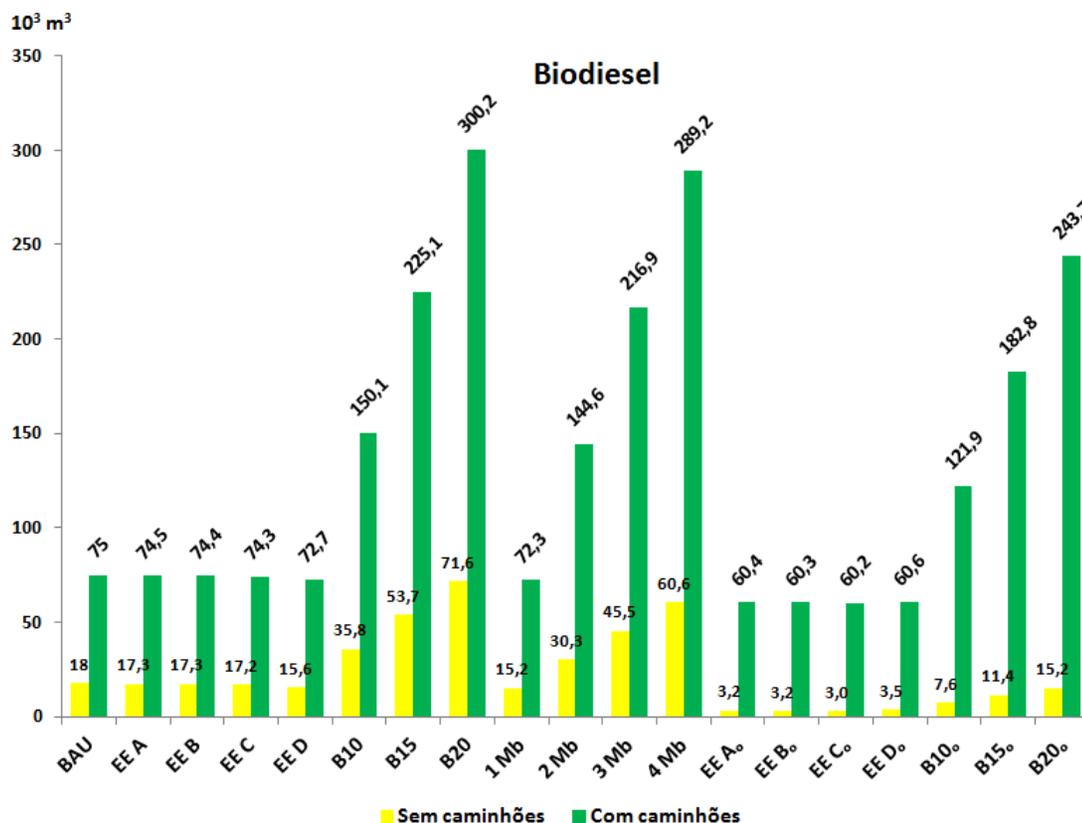


Figura 7.7: Resultado das projeções dos grupos de Cenários Alternativos para o biodiesel, no período 2015 a 2030 – 10³ m³

Fonte: Elaboração própria.

Ao contabilizar o consumo dos caminhões, o consumo total de biodiesel, assim como o do óleo Diesel, para os Cenários do Grupo 1, sofreu diminuição entre 0,75% e 3% aproximadamente, em relação ao Cenário BAU. Os valores absolutos são o mesmo do exemplo

sem caminhões. O consumo de biodiesel contabilizando os caminhões também revela aumentos de 100%, 200% e 300% no consumo do biocombustível para os Cenários do Grupo 2.

O consumo de biodiesel para os Cenários do Grupo Misto varia entre uma diminuição de cerca de 15% (2,75 milhões de m³) a um aumento de cerca de 238% (47,7 milhões de m³), em relação ao Cenário BAU. Já ao se contabilizar o consumo dos caminhões, o consumo de biodiesel para os Cenários do Grupo Misto varia entre uma diminuição de cerca de 3,7% (2,75 milhões de m³) a um aumento de cerca de 285% (241 milhões de m³), em relação ao Cenário BAU.

Para os Cenários do Grupo 1 e 2 que envolvem a conversão da frota de ônibus para etanol – sem contabilizar os caminhões –, observa-se que o consumo total de biodiesel para os Cenários do Grupo 1, diminui, em relação ao Cenário BAU, aproximadamente 80% para todos os cenários (representando em valor absoluto em torno de 14,5 milhões de m³). Já para os Cenários do Grupo 2, ocorre uma diminuição, em relação ao Cenário BAU, que varia de 57,6% (para o Cenário B10_o) a 15,2% (para o Cenário B20_o). Ao se contabilizar o consumo de caminhões observa-se que o consumo total de biodiesel variou entre uma diminuição em torno de 19% (cerca de 14,6 milhões de m³, em relação ao BAU, para os Cenários do Grupo 1) a um aumento de até 225% aproximadamente (168 milhões de m³, em relação ao BAU com caminhões), para os Cenários do Grupo 2.

7.5. Custos para aplicar as medidas de eficiência energética propostas

Para aplicação das medidas de mitigação na área de eficiência energética através de políticas públicas, é imprescindível ter uma estimativa dos custos envolvidos, mesmo que de forma aproximada. Usando como base os valores de custos por veículo relacionados a aumentos de eficiência energética, do estudo da *International Energy Agency*, intitulado *Energy Technology Perspectives Scenarios & Strategies to 2050* (IEA, 2008b), conforme apresentado previamente no Capítulo 4 – Tabela 4.1 –, foi calculado o custo total das políticas propostas nesse Estudo envolvendo medidas de EE pela frota de automóveis e comerciais leves novos no Brasil. Como as

medidas de EE são aplicadas apenas nos veículos novos, é necessário separar os veículos novos do total a frota, anteriormente apresentada no início do presente Capítulo. A Tabela 7.5, mostra as estimativas do número total de veículos novos, por tipo de motor (ciclo Diesel e ciclo Otto), de acordo com o modelo proposto por esse presente Estudo.

Tabela 7.5: Veículos Novos – 10⁶ de unidades

Total	Automóveis Ciclo Otto	Com. Leves Ciclo Diesel	Motos Ciclo Otto	Ônibus Ciclo Diesel	Caminhões Ciclo Diesel
2010-2030	103,092	4,529	59,780	0,710	5,633
2015-2030	85,718	3,631	49,705	0,563	4,761

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar pela Tabela 7.5 que no período considerado de aplicação das medidas de mitigação do consumo de derivados de petróleo e das emissões de CO₂ propostas (2015 a 2030), o número de veículos novos ciclo Otto (85,7 milhões de unidades) é muito superior ao número de veículos ciclo Diesel (comerciais leves) (3,6 milhões de unidades) – cerca de 23,6 vezes maior. Os ônibus com cerca de 563 mil unidades, representam uma parcela reduzida da frota total, em comparação aos veículos leves, cerca de 0,39%.

Pelos dados da Tabela 7.5, observa-se que o número de motocicletas é significativo, com cerca de 50 milhões de unidades ou cerca de 33,4% do total de veículos. Os caminhões representam 4,7 milhões de unidades aproximadamente, ou seja, cerca de 3,3%, porém apresentam cerca de 38% do total do consumo de combustíveis no setor de transportes rodoviário brasileiro, em volume. A Tabela 7.6, mostra os custos de implementação das metas de EE que os Cenários dos Grupos 1 e Misto requerem, por veículo, e também o total, isto é, para todos os veículos novos licenciados no período 2015 a 2030.

Tabela 7.6: Custo médio para implementar as medidas de eficiência energética propostas

	Ciclo Otto	Ciclo Otto	Ciclo Otto	Ciclo Otto kers	Ciclo Diesel	Ciclo Diesel	Ciclo Diesel	Ciclo Diesel kers
Veículos novos 2015-2030 (Milhões de Unidades)	85,718	85,718	85,718	85,718	3,631	3,631	3,631	3,631
Média eficiência	15%	31%	46%	15%	31%	34%	47%	15%
Cenários	EE A	EE B	EE C, Misto	EE D	EE A	EE B	EE C, Misto	EE D
Média de custo por veículo novo – US\$	1.650	3.100	4.700	1.600	2.950	3.300	4.900	1.600
Custo Total no período: 2015-2030 – Trilhões US\$	141,44	265,73	402,88	137,149	10,71	11,98	17,79	5,810

Fonte: Elaboração própria, a partir de IEA (2008b).

De acordo com os dados da Tabela 7.6, observa-se que para os veículos ciclo Otto os custos para aumentar a EE para os valores propostos pelas premissas dos Cenários do Grupo 1 e Misto para mitigação do consumo gasolina A e etanol, variam de US\$ 137 a US\$ 403 trilhões. Para os veículos ciclo Diesel (comerciais leves e ônibus), os custos para aumentar a EE desses veículos a fim de que ocorra mitigação do consumo de óleo Diesel de acordo com as premissas dos Cenários dos Grupos 1 e Misto, variam de US\$ 5,8 a US\$ 17,8 trilhões. Para os ônibus, os custos para tornar todos os modelos novos híbridos elétricos (cerca de 563 mil unidades), aumentando sua EE em 35%, não possui ainda um preço “fixo” como os veículos novos ciclo Diesel e Ciclo Otto, mas de acordo com o New York Times (2009, *apud* SMITH, 2010), atualmente o preço tende a dobrar em relação a um ônibus a Diesel convencional⁶⁶.

7.6. Crescimentos médios anuais das produções de etanol e biodiesel

O presente Estudo possui como foco a mitigação das emissões de CO₂ de origem fóssil, que por sua vez, está diretamente relacionada com a redução do volume de derivados de petróleo (óleo Diesel e gasolina A) consumida pelo modal rodoviário, mais especificamente no sub-setor de transportes rodoviário de passageiros. Em virtude desse fato, o consumo total desses dois

⁶⁶ A cidade de Nova York possui a maior frota de ônibus híbridos dos Estados Unidos, cerca de 850 ônibus híbridos a óleo Diesel circulando nos cinco distritos da cidade (NEW YORK TIMES, 2009, *apud* SMITH, 2010).

combustíveis de origem fóssil para os Cenários do Grupo 1, Grupo 2 e Misto, no período analisado, possuem sempre crescimento inferior ao crescimento observado no Cenário BAU. Já para o etanol e biodiesel, não necessariamente ocorre mitigação nos Cenários Alternativos propostos. Nos Cenários do Grupo 1, os biocombustíveis apresentam crescimento inferior ao BAU, enquanto para os Cenários do Grupo 2, os biocombustíveis apresentam crescimento superior ao BAU. Já os Cenários Mistos, os biocombustíveis apresentam crescimento inferior para alguns Cenários (1 Me, 2 Me, 1 Mb, 2 Mb e 3 Mb) e superior para os Cenários 3 Me, 6 Me, 2Mb, 3Mb e 4 Mb).

Tão importante quanto calcular o montante de biocombustível (etanol e biodiesel) necessários em cada cenário proposto, é calcular quanto deve ser o crescimento anual (mesmo que médio) desses dois biocombustíveis, durante o período de análise. A taxa de crescimento média é importante parâmetro para analisar se o cenário possui crescimento factível, em termos técnicos, econômicos e ambientais. A Figura 7.8 mostra a taxa de crescimento anual da produção de etanol do Cenário BAU e dos Cenários Alternativos propostos (Grupo 1 e Grupo 2 – com e sem conversão da frota de ônibus para etanol aditivado – e Grupo Misto), para o período 2010 a 2030.

Analisando-se a Figura 7.8, observa-se crescimento médio anual de 7,46% para o Cenário BAU, fazendo com que a demanda por etanol mais que quadruplique (cerca de 4,21 vezes maior) nesse cenário, entre 2010 a 2030. Os resultados dos cenários do Grupo 1 revelam que quando medidas de EE são implementadas ocorre uma diminuição do crescimento esperado da demanda em relação ao Cenário BAU – em vez dos 7,46%, chega-se a até 5,68% anuais médios (no caso do Cenário EE C). Dentre os cenários envolvendo apenas biocombustíveis (Grupo 2, sem contabilizar a conversão da frota de ônibus para etanol), o Cenário 2C' é o que apresenta maiores taxas de crescimento anuais – cerca de 9,28% em média, ou seja, a demanda aumenta quase seis vezes em apenas 20 anos.

Observa-se também que o consumo de etanol apresenta crescimento mais acelerado que o Cenário BAU em todos os Cenários do Grupo 2 analisados que envolvem a conversão da frota de ônibus para etanol – mesmo no caso dos cenários que contemplam medidas conjuntas de EE. No

Cenário 2C₀' , que envolve a maior demanda por etanol, o crescimento anual médio no período considerado é de 10,56%.



Figura 7.8: Crescimento médio anual da produção de etanol para os Cenários do Grupo 1, Grupo 2 e Misto, para o período 2010 a 2030

Fonte: Elaboração Própria.

Para o Grupo de Cenários Misto, os resultados das simulações revelam que houve um crescimento na demanda esperada de etanol, para o período 2010 a 2030, de 6,18% para o Cenário 1 Me, e de 6,47% para o Cenário 6 Me. Ainda para os Cenários do Grupo Misto, a Figura 7.8 revela também que o crescimento da demanda de etanol pode até mesmo diminuir mesmo a despeito de aumentos incisivos na demanda por etanol. No caso específico do Cenário 6 Me, o mais intensivo no uso de etanol, a aplicação de medidas de eficiência energética (aumento de 46% nos automóveis e comerciais leves) faz com que o crescimento médio da demanda por etanol seja equivalente ao Cenário BAU, no período considerado. Um outro aspecto interessante e que revela a importância de medidas de EE para frear a crescente demanda por combustível, refere-se ao consumo no ano de 2030 – ano em que as medidas de EE já foram implementadas por 16 anos. Em qualquer um dos 6 Cenários do Grupo Misto analisados, ocorre uma diminuição

do uso de etanol no ano de 2030, em comparação ao ano de 2010 do Cenário BAU, mesmo a despeito dos aumentos no uso de etanol previstos por esses cenários.

A comparação dos cenários propostos nesse Estudo para a demanda de etanol com as projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2010) revela que os cenários propostos são factíveis, pois o citado estudo prevê crescimento da produção de etanol, no Brasil, em torno de 10%, entre 2010 a 2020. Também de acordo com estudos de Milanez *et al.* (2008, *apud* CGEE, 2008), a indústria brasileira de bioetanol pode produzir (se necessário), já em 2015, cerca de 47 milhões m³, equivalente a uma taxa de crescimento anual de 9%, a partir de 2010.

A Figura 7.9 mostra a taxa de crescimento anual da produção de biodiesel do Cenário BAU e dos Cenários Alternativos propostos. Como misturas maiores de biodiesel envolvem, necessariamente, o setor de transportes de cargas, julgou-se imprescindível, nas análises de crescimento da demanda de biodiesel dos cenários propostos, contabilizar também a demanda projetada dos caminhões. Evidentemente que, nesse contexto, cotejou-se o fato de que a frota de caminhões constitui-se na maior parcela consumidora de óleo Diesel do setor de transportes brasileiro.

Os dados da Figura 7.9 indicam que para o Cenário BAU, o consumo de biodiesel (contabilizando os caminhões) aumenta cerca de 3,4 vezes entre 2010 até 2030 – o que representa um crescimento médio de cerca de 6,3% ao ano.

Observa-se, em princípio, que medidas de EE quando implementadas apenas no setor de transportes rodoviário de passageiros, tendem a diminuir, apenas timidamente, o crescimento do consumo de biodiesel (por exemplo: em vez de 6,3%, chega-se a 6,09% ao ano, no caso do Cenário EE D). Isso ocorre, pois, para os caminhões, não foram projetadas melhorias na EE, por fugir do escopo do presente Trabalho. Dentre os cenários envolvendo apenas biocombustíveis (Grupo 2), o Cenário B20 é o que apresenta maiores taxas de crescimento anuais de biodiesel: cerca de 13,93%, em média.

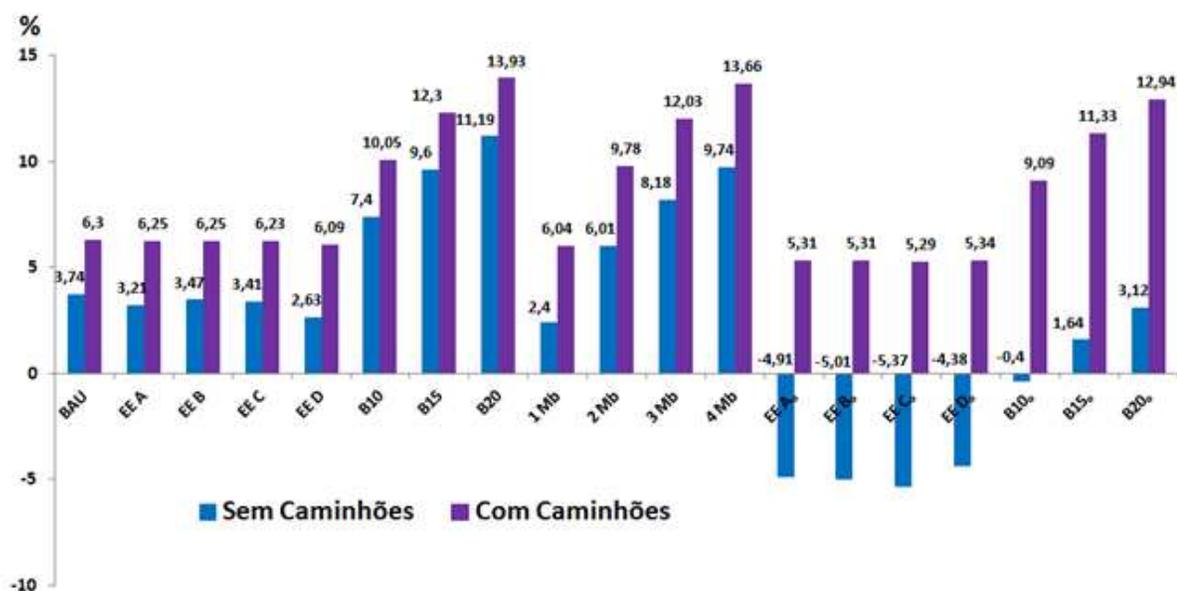


Figura 7.9: Crescimento médio anual da produção de biodiesel para os Cenários do Grupo 1, Grupo 2 e Misto, para o período 2010 a 2030

Fonte: Elaboração Própria.

Os dados da Figura 7.9 revelam também que o consumo de biodiesel quando se considera a conversão da frota de ônibus para etanol aditivado – sem contabilizar os caminhões – apresenta crescimento menor que o Cenário BAU no período considerado. Mesmo para o caso do Cenário B20₀.

Para os Cenários do Grupo 1 – sem contabilizar os caminhões –, quando se considera a conversão da frota de ônibus para etanol aditivado, a mitigação na demanda projetada de biodiesel é considerável. A demanda projetada no ano de 2030 é menos da metade da demanda do ano de 2010 (de 654 mil m³ para menos de 300 mil m³, respectivamente), mesmo a despeito do crescimento do setor. Já ao se contabilizar o consumo dos caminhões, os Cenários B10₀, B15₀ e B20₀ apresentam crescimento acelerado no consumo de biodiesel, ou seja, de 9,09%, 11,35% e 12,94%, respectivamente – valores esses bem acima do crescimento apresentado pelo Cenário BAU com caminhões, que prevê crescimento de 6,3% anuais médios. Esses resultados revelam que para o biodiesel, medidas isoladas de EE apenas para o setor de transportes rodoviário de passageiros possuem pouca “força de mitigação”. Com isso, no Cenário 4 Mb, o crescimento

médio continua acelerado em 13,66% ao ano – crescimento esse, bem próximo ao apresentado pelo Cenário B20₀, de 12,94% ao ano.

A comparação dos cenários propostos nesse Estudo com os 2 cenários mais otimistas do Plano Nacional de Energia – PNE 2030 – preveem crescimento de 8,4% ao ano para a demanda de biodiesel até 2030 (MME, 2007). A Figura 7.9 revela que vários Cenários Alternativos propostos – contabilizando os caminhões – apresentam crescimento acima desse valor – incluindo o B10. Portanto, o incremento de teores acima de 5% de biodiesel no petrodiesel, sem uma incisiva política pública de expansão da produção de biodiesel dando suporte não é tarefa trivial.

Contudo, segundo Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2011), foram produzidos cerca de $2,4 \times 10^6$ m³ de biodiesel, no Brasil, no ano de 2010, sendo que a capacidade instalada é de $6,25 \times 10^6$ m³, ou seja o Brasil utiliza menos de 40% de sua atual capacidade de produção. Soma-se a enorme quantidade de oleaginosas com vasto potencial para produção de biodiesel que o Brasil possui, pode-se concluir que políticas de elevação da alíquota de biodiesel misturado no óleo Diesel de origem fóssil, não possui a quantidade de biodiesel produzido como fator limitante. Contudo, além das necessidades de grandes investimentos na indústria de produção de biodiesel – incluindo diversificação da matéria prima – para suprir o acréscimo da demanda prevista nos cenários mais incisivos desse Estudo, questões relacionados ao maior custo de produção de biodiesel em relação ao petrodiesel e a predominância do uso de apenas dois insumos para produção de biodiesel – sebo animal com 17,1% e soja⁶⁷ com 78,5% (ANP, 2011) – são também obstáculos importantes para expansão do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB).

⁶⁷ Um fator complicador da alta dependência do óleo de soja como insumo na indústria do biodiesel, relaciona-se a escassez de óleo soja para produções incrementais de biodiesel. Isso por que o Brasil nos últimos anos passou a exportar o grão de soja *in natura*, ao invés de exportar o farelo processado, fato esse que aumentaria substancialmente a capacidade produtiva brasileira de óleo de soja.

7.7. Emissão total de CO₂ por tipo de Cenário - agregado Ciclo Otto e Ciclo Diesel

As figuras 7.10 a 7.13 mostram a soma das emissões de CO₂, das principais combinações entre os cenários caracterizados no Capítulo 6⁶⁸. Isto é, os resultados plotados, mostram a soma das emissões dos derivados de petróleo (óleo Diesel e gasolina) dos veículos ciclo Diesel e ciclo Otto para diversas combinações entre os diferentes grupos de cenários propostos

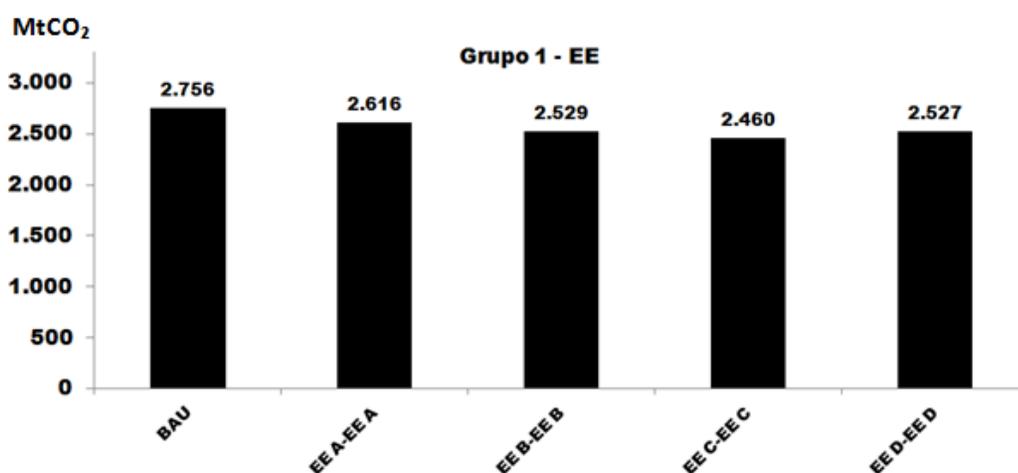


Figura 7.10: Emissões totais de CO₂ de origem fóssil por tipo de Cenário do Grupo 1, para o período 2010 a 2030

Fonte: Elaboração própria.

Através da análise da Figura 7.10, pode-se observar que medidas de EE isoladas não possuem grande “força” de mitigação. Nesses cenários, as medidas de EE possuem força de mitigação entre 5% e 11% aproximadamente. Esse fato, mostra que medidas isoladas de EE, só possuem potencial razoável de mitigação se forem implementadas em todos os veículos da frota, ou após um longo período de implementação.

⁶⁸ Em virtude do grande número de combinações possíveis entre os Cenários propostos para os veículos ciclo Diesel e ciclo Otto, apenas as principais combinações foram analisadas. Geralmente os Cenários compostos foram às combinações que apresentavam as maiores e as menores mitigações, algumas combinações intermediárias foram ignoradas por possuírem pouca relevância.

A Figura 7.11, mostra os resultados combinados das emissões dos Cenários do Grupo 2 para os veículos ciclo Otto e ciclo Diesel.

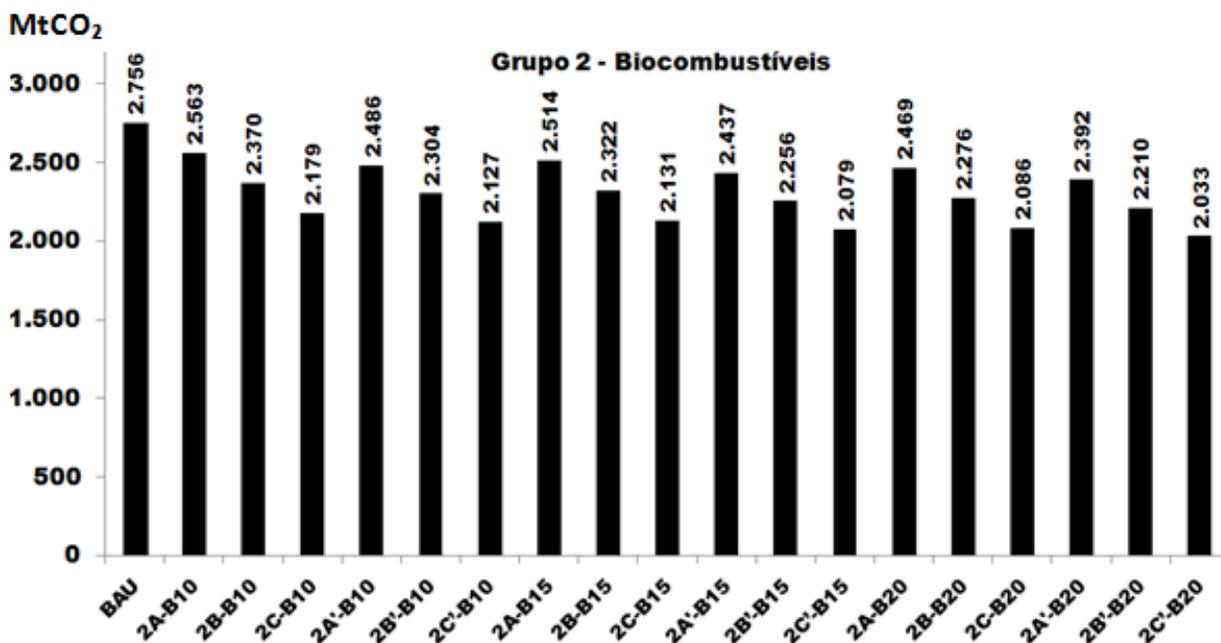


Figura 7.111: Emissões totais de CO₂ de origem fóssil por tipo de Cenário do Grupo 2, para o período 2010 a 2030

Fonte: Elaboração própria.

Através da análise da Figuras 7.11, pode-se concluir que medidas isoladas de incentivo ao uso de biocombustíveis (AEA, AEH e biodiesel) possuem mais “força” de mitigação do que medidas isoladas de EE – assim como também acontece com a mitigação no consumo de combustíveis. A variação de mitigação, em relação ao Cenário BAU, está entre 7% a 26,2%. A Figura 7.12, mostra os resultados combinados das emissões dos Cenários Misto para os veículos ciclo Otto e ciclo Diesel.

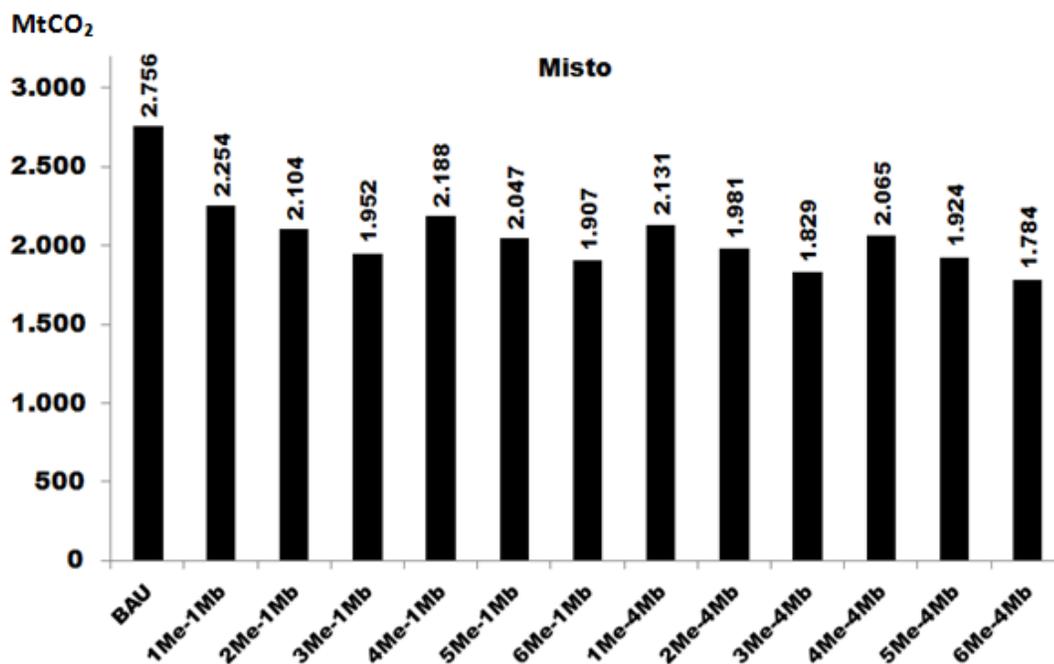


Figura 7.122: Emissões totais de CO₂ de origem fóssil por tipo de Cenário Misto, para o período 2010 a 2030

Fonte: Elaboração própria.

Através da análise da Figuras 7.12, pode-se observar que medidas conjuntas de incentivo ao uso de biocombustíveis (AEA, AEH e biodiesel) e de eficiência energética, são capazes de mitigar substancialmente as emissões de CO₂, entre 18,2% e 35,3%. E, por fim, a Figura 7.13 mostra os resultados das emissões de dióxido de carbono de algumas combinações dos Cenários do Grupo 1 e 2 com a conversão da frota de ônibus a etanol.

Através da análise da Figura 7.13, pode-se observar que medidas conjuntas de incentivo ao uso de biocombustíveis ou medidas de eficiência energética, com a inclusão da conversão da frota de ônibus para etanol, são capazes de mitigar substancialmente as emissões de CO₂ – entre 30,6% e 48,1%.

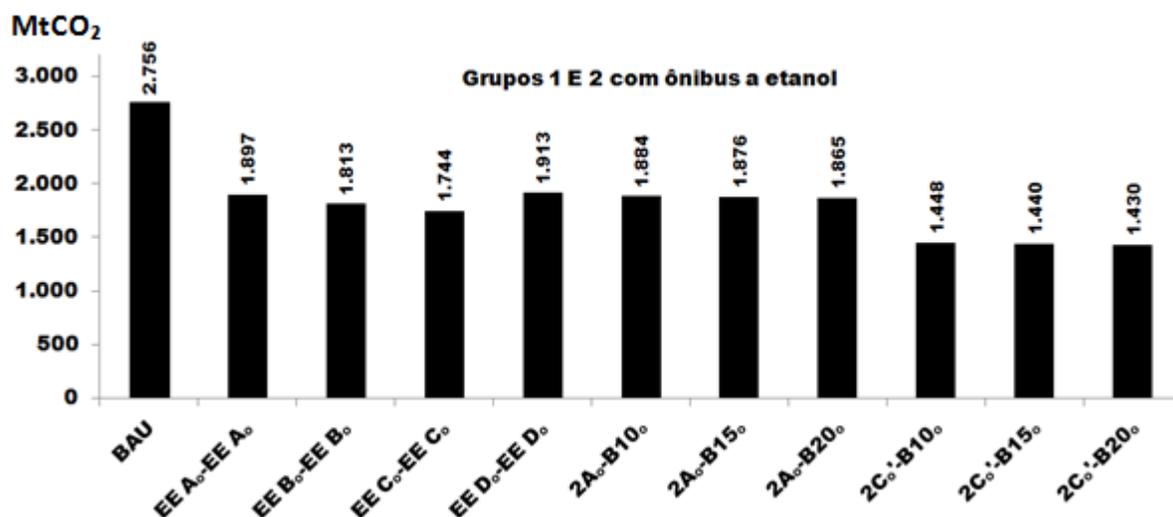


Figura 7.133: Emissões totais de CO₂ de origem fóssil por tipo de Cenário do Grupo 1 e Grupo 2 – com a conversão de ônibus para etanol – para o período 2010 a 2030

Fonte: Elaboração própria.

Segundo as projeções do Cenário BAU, o consumo de óleo Diesel da frota de ônibus no ano de 2010 foi de 10.341 mil m³, em 2015 (onde se inicia a substituição) foi de 13.087 mil m³ e em 2030 (final da simulação) foi de 20.157 mil m³. Esse valor de 10.341 mil m³ representa consideráveis 28% do total de óleo Diesel consumido pelo modal rodoviário no Brasil no ano de 2010 (MME, 2011a). Conforme foi analisado na Seção 2.8, nos últimos 15 anos, ao menos, têm sido notáveis o volume importado de óleo Diesel, derivado energético importado em maior quantidade, com 8,3 milhões de m³ importados somente no ano de 2010 (ANP, 2011). O Brasil vem utilizando o etanol há décadas com finalidade de mitigar o consumo de combustíveis fósseis, no caso a gasolina. Porém, é o óleo Diesel, o derivado que mais pressiona o parque de refino, fazendo com que o País importe consideráveis volumes anualmente. Portanto, se uma parcela da frota de ônibus, que corresponda a cerca de 63% do consumo de óleo Diesel da frota total de ônibus for convertida para etanol, poderia ocorrer mitigação total da importação de óleo Diesel pelo Brasil.

Para substituição de todo o óleo Diesel utilizado pela frota de ônibus seriam necessários aproximadamente 21 milhões m³ de etanol aditivado em 2015 e cerca de 32,25 milhões m³ em 2030. Para o acumulado no período 2015 à 2030, o montante de B5 passível de substituição por

etanol aditivado é de aproximadamente 282 milhões de m³. O que representa a necessidade de aproximadamente 452 milhões m³ de etanol no período. Nesse caso, as emissões evitadas no período é de cerca de 1.146 Mt CO₂.

7.8. Conclusões do Capítulo 7

Os resultados das projeções do presente Capítulo 7 revelam que a frota de automóveis tende a crescer de 24,4 milhões de unidades em 2010 para 71,5 milhões de unidades em 2030, mantidas as tendências de crescimento atuais. Os veículos do tipo comercial leve tendem a crescer de 4,5 milhões de unidades para 16,1 milhões, no mesmo período. Enquanto as motocicletas passariam de 12,6 para 43,7 milhões de unidades. Devido a esse grande crescimento esperado no número de veículos da frota de LDVs e de motocicletas, surge a necessidade de medidas de mitigação, a fim de frear esse crescimento, pois conforme foi analisado principalmente nos Capítulos 2 e 3, os problemas gerados por esse crescimento da frota, que já são graves, tendem a ficar ainda maiores.

As emissões de CO₂ do setor de transportes brasileiro, em especial do setor rodoviário de passageiros possuem diversas alternativas para se tornar “menos insustentável” no médio e longo prazo – principalmente no que tange as emissões de CO₂. Nesse sentido, os resultados das simulações dos Cenários Alternativos propostos nesse Estudo, revelam possibilidades de mitigações das emissões de CO₂ entre 5% a 48%, em relação ao Cenário BAU. Essas medidas propostas não só mitigam as emissões de GEE, mas também de poluentes atmosféricos, outro problema grave gerado pelo crescimento acelerado da frota. Se aplicadas conjuntamente com o maior número possível das medidas de gestão da demanda, as emissões de CO₂ e poluentes serão ainda mais reduzidas, além da atenuação dos problemas advindos dos congestionamentos.]

A análise dos cenários propostos revela uma maior importância, no que tange a magnitude das mitigações das emissões de CO₂, de políticas voltadas a incentivar o uso de etanol e biodiesel em relação a medidas de eficiência energética. Salientando, que de forma alguma, medidas de EE não são importantes, no tocante das mitigações de CO₂, pelo contrário. A grande limitação de políticas de EE para mitigação das emissões de CO₂ no setor de transporte, é que elas são,

geralmente, implementadas apenas nos veículos novos, e a taxa de renovação da frota do Brasil é lenta. Soma-se a atual e crescente frota de motocicletas, que não foi contemplada com medidas de aumento na eficiência energética nos Cenários Alternativos. Com isso, medidas de EE possuem um tempo mais longo para surtirem efeito, ao contrário das políticas de incentivo de uso de biocombustíveis, que possuem efeito mais imediato nas mitigações.

O próximo capítulo contém as conclusões finais e as recomendações para trabalhos futuros.

8. Conclusões e Recomendações

No decorrer do presente Trabalho analisou-se o potencial de mitigação no consumo de combustíveis e nas emissões de dióxido de carbono no setor de transportes rodoviário brasileiro de passageiros. Para se atingir o objetivo proposto, primeiramente analisou-se as principais características do setor de transportes, com ênfase no caso brasileiro. Realizou-se um levantamento das metas de emissão veicular e de eficiência energética de países selecionados, incluindo o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular. Realizou-se uma análise qualitativa das medidas de mitigação envolvendo gestão da demanda, tecnologias envolvendo eficiência energética e combustíveis alternativos, bem com a importância de políticas públicas e dos instrumentos de informação, econômicos e regulatórios nesse contexto. Foi descrita a metodologia utilizada para a realização das estimativas da frota, do consumo de combustíveis e das emissões de CO₂, durante o período de análise (2010-2030). Posteriormente, apresentou-se também uma análise quantitativa, estimando o potencial de mitigação das tecnologias que foram selecionadas, quais sejam: medidas de eficiência energética e maior utilização de biocombustíveis (etanol e biodiesel), de forma isolada ou conjunta – incluindo a conversão da frota de ônibus de óleo Diesel para etanol aditivado. Como resultado dessas análises, chegou-se às conclusões e recomendações, a seguir apresentadas.

8.1. Conclusões

O setor de transportes, conforme foi mostrado no presente Estudo, é o setor econômico que apresenta o maior consumo de petróleo e maior crescimento nas emissões de GEE. Para agravar a problemática, o setor de transportes está repleto de externalidades negativas, quais sejam: perdas econômicas devido a sua ineficiência (através dos congestionamentos), dependência externa de petróleo importado pela maioria dos países, poluição atmosférica, acidentes de trânsito, etc.

Já é consenso que quanto mais demoradas forem as implementações de medidas que reduzem as emissões de GEE maiores serão os custos para a adaptação as mudanças climáticas (STERN, 2006; IPCC, 2007a). Portanto é de vital importância que cada vez mais medidas mitigatórias sejam adotadas no curto e médio prazo. Definitivamente, será menos custoso se tais medidas mitigatórias forem planejadas e implantadas gradativamente, com os devidos cuidados – através de estudos de viabilidade econômica e de impactos ambientais para as diversas alternativas mitigatórias propostas. Os benefícios da diminuição das emissões de GEE no setor de transportes, como foram explorados no presente Estudo, traz não apenas benefícios ao clima, mais a todos os segmentos da sociedade.

Considerando os impactos e efeitos produzidos pelos veículos automotores no meio ambiente, os países onde as suas frotas representam parte substancial das emissões de CO₂, têm reagido de maneira a tentar diminuir os impactos das emissões de gases poluentes locais e de GEE dos veículos leves das suas frotas através de programas de eficiência energética veicular. No caso do setor de transportes rodoviário de passageiros brasileiro, o problema se agrava devido as crescentes taxas – atuais e esperadas – de aquisição de novos veículos. Por outro lado, a presença dos biocombustíveis etanol e biodiesel, mitigam substancialmente as emissões do setor de transportes brasileiro, porém as emissões de GEE do referido setor continuam elevadas.

Conforme a revisão bibliográfica embasou, os motores a combustão interna serão o principal sistema de propulsão nos próximos 20 anos, ao menos. A introdução de tecnologias automotivas incrementais será provavelmente o caminho mais utilizado para o aumento da autonomia da frota de veículos leves. Uma das principais tecnologias para aumento da autonomia dos ICEV é tornando-os veículos híbridos, com o acréscimo do *kers*, como o seu expoente mais vendido, o Toyota Prius. Apesar dos inúmeros obstáculos que os VE puros têm ainda que transpor para se tornarem competitivos, medidas de hibridização através do *kers*, possuem bom potencial de mitigação, com custos razoáveis, conforme foi analisado no Capítulo 4.

Independente do desenvolvimento da análise dos Cenários Alternativos propostos ser, de certa forma simplificada, e fundamentada em metas com implementação abrupta, porém com *delay* de 5 anos para início da sua aplicação, torna-se fundamental reconhecer a importância da

participação relativa de medidas de eficiência energética e uso de biocombustíveis de forma isolada e conjunta no cenário brasileiro de redução do uso de combustíveis fósseis do setor de transportes, onde atua de modo isolado a estratégia de utilização de biocombustíveis. Assim sendo, este tipo de análise pode beneficiar diretamente a implantação de políticas públicas e a elaboração de estudos de impactos ambientais ao trazer a questão da eficiência energética como um fator a mais a ser considerado. O mesmo raciocínio pode ser utilizado em relação às medidas de gestão da demanda analisadas no Capítulo 3, porém de uma forma mais “teórica”, já que as medidas analisadas não fizeram parte dos Cenários Alternativos propostos.

Os resultados desse presente Estudo permitem verificar que as atuais políticas para promoção do uso de biocombustíveis de primeira geração no Brasil, combinadas com programas de eficiência energética veicular, incluindo hibridização, formam uma estratégia robusta de mitigação. Tais estratégias se mostram factíveis às questões envolvendo a problemática energia e meio ambiente, principalmente no que se refere ao uso do solo (desmatamentos e produção de alimentos).

De acordo com as projeções apresentadas por esse presente Estudo, mantidas as tendências atuais até o ano de 2030, o crescimento projetado das emissões de CO₂ no Cenário BAU, entre os anos de 2010 e 2030 foi de expressivos 120%. Contudo, os resultados das simulações, revelam possibilidades de mitigações das emissões de CO₂ entre 5% a 48% dos cenários propostos, em relação ao Cenário BAU. Medidas isoladas de EE possuem “força” de mitigação, em relação ao BAU, entre 5% e 11%. Medidas isoladas de incentivo ao uso de biocombustíveis (etanol e biodiesel) possuem “força” de mitigação entre 7% a 26,2%. Medidas conjuntas de incentivo ao uso de biocombustíveis e de eficiência energética são capazes de mitigar substancialmente as emissões de CO₂, entre 18,2% e 35,3%. Já medidas de incentivo ao uso de biocombustíveis incluindo a conversão da frota de ônibus para etanol aditivado, ou medidas de EE incluindo a conversão da frota de ônibus para etanol aditivado, são capazes de atingir expressivas mitigações das emissões de CO₂, entre 30,6% e 48,1%.

Analisando isoladamente apenas a conversão da frota de ônibus para etanol aditivado, tal medida possui potencial para reduzir totalmente a necessidade de importação de óleo Diesel,

derivado que mais pressiona o parque de refino brasileiro e que faz o País perder bilhões de dólares em divisas anualmente. O óleo Diesel é também o combustível de origem fóssil de uso veicular que emite maiores níveis de diversos poluentes atmosféricos. A poluição é um problema grave de saúde pública nos grandes centros urbanos, muito em virtude do excessivo tráfego de veículos automotores funcionando a óleo Diesel (principalmente veículos pesados) e gasolina (veículos leves). Se uma parcela da frota de ônibus, que corresponda a cerca de 63% do consumo de óleo Diesel da frota total de ônibus for convertida para etanol, poderia ocorrer mitigação total da importação de óleo Diesel pelo Brasil. Entre os anos de 2015 a 2030, seriam mitigados, aproximadamente, 268 milhões de m³ de petrodiesel. Para tanto haveria a necessidade de cerca de 429 milhões m³ de etanol no período apenas para que essa substituição ocorra.

O maior obstáculo para viabilizar a conversão da frota de ônibus de óleo Diesel para etanol aditivado consiste no maior custo do etanol em comparação ao óleo Diesel (em quantidade de energia por litro de combustível). Por isso, seriam interessantes políticas públicas com objetivo de atenuar essa diferença de preços, pois os benefícios ambientais a favor do etanol são grandes. Além do fato da cadeia do etanol gerar mais empregos e utilizar tecnologia nacional (CGEE, 2008). Sendo assim, os instrumentos econômicos vistos no Seção 3.9 ganham suma importância.

A conversão de toda a frota de ônibus por etano aditivado no Brasil todo é pouco provável, não seria interessante economicamente a conversão de dos ônibus com idade avançada e os ônibus situados em cidades isoladas e/ou que possuam frota reduzida. Nesse caso, o volume adicional de etanol necessário anualmente para uso da frota de ônibus convertida poderia ser conseguido – se não toda, ao menos uma parcela considerável – através do montante economizado pelas medidas mitigatórias de EE semelhantes à proposta para o Cenário EE C do Grupo 1 (que no período de análise prevê mitigação de cerca de 222 milhões de m³ de etanol).

Para os veículos a GNV, através da metodologia *top-down*, e utilizando uma taxa de crescimento de 6,1% a.a. – a mesma das projeções do Cenário “Na Crista da Onda” do PNE 2030 (MME, 2007) –, o consumo de gás natural e as emissões acumuladas estimadas no período 2010 a 2030, foram, respectivamente, de 81.225 x 10⁶ m³ e 162,239 MtCO₂. Essas emissões dos

veículos GNV representam aproximadamente 5,5% do total das emissões do setor de transportes rodoviário de passageiros no período considerado.

Dentre as medidas de eficiência energética simuladas no Grupo de Cenários 1 e Misto, estão incluídas melhora na aerodinâmica, redução da resistência ao rolamento, redução do peso do veículo, hibridização (através do uso do *kers*), melhora na eficiência do ar-condicionado e sistema de iluminação, uso de comando de válvulas variável, aumento da eficiência do motor através do *turbocharging*, dentre outros. Para os veículos ciclo Otto novos (automóveis e comerciais leves) os custos para aumentar a eficiência energética de acordo com as premissas propostas dos Cenários do Grupo 1 e Misto, variam de US\$ 137 a US\$ 403 trilhões. Para os veículos ciclo Diesel novos (comerciais leves e ônibus), os custos para aumentar a EE, também de acordo com as premissas dos Cenários do Grupo 1 e Misto, variam de US\$ 5,8 a US\$ 17,8 trilhões. Para os ônibus, os custos para tornar todos os modelos novos híbridos elétricos (cerca de 563 mil), aumentando sua EE em 35% não possui ainda um preço “fixo” como os veículos novos ciclo Diesel e Ciclo Otto, mas o preço tende a dobrar em relação ao modelo convencional a óleo Diesel. Esses elevados valores para tornar os veículos eficientes, conforme as premissas propostas nesse Estudo, – evidenciam a necessidade de adoção de políticas públicas conjuntamente com instrumentos econômicos (analisados na Seção 3.9) para que essas medidas possam ser implementadas com êxito. Nesse contexto, o Programa Inovar-Auto, recentemente implantado pelo Governo Brasileiro, prevê reduções de IPI em virtudes de ganhos mínimos de EE pelas montadoras e importadoras de veículos.

Conforme diversos estudos mostram, com destaque para CGEE (2008), mesmo nos cenários propostos mais incisivos para uso de biocombustíveis, com destaque para o 2C₀’, o montante de etanol necessário para suprir tal cenário é factível. Nesse sentido, há áreas disponíveis e adequadas (de alta produção) para o cultivo da cana-de-açúcar sem necessidade de invadir áreas preservadas e sem comprometer a produção de alimentos. Em relação a taxa de crescimento anual requerida (cerca de 10,56%), os cenários propostos são também factíveis com as projeções Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2010), sendo a taxa requerida para o Cenário 2C₀’ ligeiramente superior ao estudos citado. Contudo, uma grande incerteza atrelada aos Cenários do Grupo 2, é a relação de preços entre o etanol e a gasolina C nos

postos distribuidores. Nesse contexto, cresce a importância de que políticas públicas de regulações de preços do etanol sejam implementadas. Nesse contexto, cabe denotar que fatores de ordem externa, como os preços do etanol e do açúcar no mercado internacional, podem vir a configurar-se em obstáculos importantes, no que tange ao sucesso das medidas propostas de aumento do uso de etanol.

Em relação ao biodiesel, os 2 cenários mais otimistas do PNE 2030, em termos de expansão da demanda de biodiesel, preveem crescimento de 8,4% ao ano (MME, 2007). Muitos dos cenários propostos por esse Estudo apresentam crescimento superiores aos 8,4%. O Brasil apresenta sub-utilização da sua capacidade instalada de produção de biodiesel e uma variedade enorme de tipos diferentes de oleaginosas com vasto potencial para produção de biodiesel. Portanto, não torna-se incorreto afirmar que o Brasil não possui a quantidade de biodiesel produzido como fator limitante. Contudo, há necessidades de grandes investimentos na indústria de produção de biodiesel para suprir o acréscimo da demanda prevista nos cenários mais incisivos desse Estudo. Nesse sentido é imperativa a diminuição da parcela pertencente ao óleo de soja e a expansão e crescimento da produção de biodiesel através de óleo de dendê.

Outro ponto a se considerar, é que para os cenários envolvendo aumento no uso de biodiesel teriam seus crescimentos médios anuais suavizados no período de análise, se medidas de EE, semelhantes a aplicadas nos LDVs, fossem aplicadas também para os caminhões. Medidas de gestão da demanda, principalmente de mudança de modal no transporte de cargas, diminuindo a participação do modal rodoviário na matriz de transporte de cargas brasileira, também auxiliariam nesse sentido.

Os resultados apresentados nessa Tese permitem que se faça uma hierarquização dos impactos das principais medidas de mitigação das emissões de CO₂ no setor de transportes rodoviário brasileiro de passageiros. Parâmetro importante para nortear o estabelecimento de políticas públicas para o setor. Nesse sentido, as análises dos cenários propostos, revelaram uma maior importância, no que tange a magnitude das mitigações das emissões de CO₂, de políticas voltadas a incentivar o uso de etanol e biodiesel, do que medidas de eficiência energética. Apesar de não ter sido quantificado, em virtude das limitações do modelo escolhido, medidas de

gerenciamento da demanda, apresentadas no Capítulo 3, devem fazer parte das políticas públicas na área de transporte. O potencial de mitigação de gerenciamento da demanda, conforme os exemplos analisados, principalmente nas cidades europeias, são grandes, assim como os benefícios na qualidade de vida das populações urbanas envolvidas nessas políticas de racionalização do setor de transportes de passageiros.

Deve-se salientar que de forma alguma, medidas de EE não são importantes, no tocante das mitigações do consumo de combustíveis e das emissões de CO₂, pelo contrário. A grande limitação de políticas de EE para mitigação das emissões de CO₂ no setor de transporte, é que elas são, geralmente, implementadas apenas nos veículos novos, e a taxa de renovação da frota em países em desenvolvimento como o Brasil, é lenta, devido as características inerentes da sua curva de sucateamento. Soma-se a atual e crescente frota de motocicletas, que não foi contemplada com medidas mitigatórias nos Cenários Alternativos, e que representam uma parcela nada desprezível do consumo de combustíveis, no período considerado nas análises. Com isso, medidas de EE possuem um tempo mais longo para surtirem efeito, ao contrário das políticas de incentivo de uso de biocombustíveis, que possuem efeito mais imediato nas mitigações, já que atingem a frota de veículos novos e usados, incluindo caminhões e motocicletas. Porém quando se analisa as emissões associadas apenas no final da simulação ao invés do acumulado no período de análise, fica mais nítido a elevada importância da eficiência energética no tocante das mitigações do setor de transportes rodoviário – no caso de passageiros. Como exemplo, no ano de 2030, o consumo de etanol dos veículos ciclo Otto no Cenário BAU foi estimado em 87,5 milhões de m³. Já no Cenário 6 Me do Grupo Misto, que possui como premissas o consumo de etanol de 80% pela frota de veículos *flex fuel* e mistura de 25% de etanol anidro na gasolina A; os aumentos de consumo de etanol foram totalmente contra balanceados pelo aumento de EE de 46% pelos automóveis e comerciais leves novos. Nesse incisivo cenário de uso de etanol, o consumo de etanol estimado pelo modelo, no ano de 2030, foi de 87,7 milhões de m³, isso é, praticamente igual o consumo estimado do Cenário BAU, que possui como premissas o consumo de etanol de 53% pela frota de veículos *flex fuel* e mistura de 20% de etanol anidro na gasolina A (a Figura 4 do Apêndice D ilustra bem esse comportamento).

Portanto, a gama de opções tecnológicas incrementais aplicáveis em veículos leves, apresentadas nesse presente Estudo, somadas a medidas de gerenciamento da demanda e também de mudanças de modal no setor de transportes de cargas, não devem ser negligenciadas para a solução da problemática das emissões de GEE do setor de transportes brasileiro, mesmo a despeito de uma possível substituição maciça de derivados de petróleo por biocombustíveis no futuro. Desta forma, as metas propostas neste Estudo devem ser apenas parte de uma política mais ampla no setor de transportes.

De uma forma geral, os principais estudos que envolvem medidas mitigatórias das emissões de GEE do setor de transportes mundial, constataram que provavelmente medidas isoladas não serão suficientes para impedir o crescimento das emissões deste setor. A sinergia entre o maior número possível de medidas mitigatórias provavelmente apresentará melhores resultados. Portanto, devem-se priorizar as medidas mitigatórias que apresentam os melhores custos-benefícios. Urge ressaltar, que os altos preços dos veículos no Brasil, em comparação aos EUA, por exemplo, geram dificuldades extras para implementação de políticas de aumento de EE.

As barreiras para implementação de medidas mitigatórias no setor de transportes são muitas, mesmo a despeito dos benefícios que tais medidas proporcionam. Nesse sentido torna-se imperativo o uso de instrumentos econômicos e de comando e controle para que tais medidas obtenham êxito. Esses instrumentos vêm se mostrando efetivos nos programas de eficiência energética em nível mundial, seja no setor de transportes ou não. A eficiência desses instrumentos está de certa forma vinculada ao grau de prioridade que cada país estabelece para a eficiência energética como política ambiental/energética. Assim, instrumentos que obtiveram êxito em outros países devem ser estudados com maior atenção, e após as devidas adaptações a realidade brasileira, devem ser adotados no Brasil.

O uso de instrumentos de comando e controle pode ser efetivo para a diminuição das emissões de gases do efeito estufa do setor de transportes, uma vez que estes instrumentos limitam a capacidade máxima de emissão que cada veículo poderá emitir, por meio de uma meta máxima de emissões (por exemplo: kg de combustível por km rodado) ou fixa um consumo mínimo por categoria de veículo (em quilômetro rodado por litro de combustível – km/L, por

exemplo). Conforme foi explorado no Capítulo 2, novas estruturas de padrões de eficiência energética visando reforçar os mecanismos de mercado foram adotadas em diversos países, com destaque para os países da União Europeia, Japão e o estado da Califórnia (EUA). Verificou-se que os programas japonês e californiano apresentam um considerável potencial de aumento da eficiência energética da frota de veículos leves. Na União Europeia, observa-se um maior esforço das montadoras visando à diminuição das emissões de CO₂ dos veículos leves, após a instituição de um padrão máximo de emissão.

A experiência internacional mostrou que a introdução de regulamentos mandatórios pode ser uma condição necessária para a efetividade de um padrão de eficiência energética veicular. Há grandes possibilidades de progresso em economia de energia, utilizando-se de tecnologias atualmente disponível e economicamente viáveis, simplesmente, influenciando os consumidores a escolher os automóveis que emitem menos GEE em cada classe de veículos. Mas para que isso ocorra, os fabricantes de automóveis e comerciantes precisam de um maior incentivo para fabricar/vender mais veículos que emitam menos teor de carbono advindo dos seus motores. Nesse contexto, os programas de etiquetagem veicular, como o PBEV, são de suma importância, mesmo sendo voluntário.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), ainda “engatinha” como instrumento da política de EE no setor automobilístico brasileiro – o mesmo vale para o recente Inovar-Auto. Tomando como exemplo, os programas de limitação das emissões veiculares da UE e Japão, que apresentam flexibilizações para o cumprimento das metas impostas as montadoras, é importante que o programa de EE veicular que for implementado no Brasil, também permita tais mecanismos de flexibilização. Seguindo os exemplos citados, a flexibilização poderia envolver, “créditos” ganhos quando um modelo superasse a meta imposta, que, por sua vez, poderia ser utilizada em outro modelo de veículo da montadora que estivesse acima da meta. Evidentemente, ponderado pelo número de vendas dos veículos da montadora em questão. Poderia haver também comércio desses créditos entre as montadoras atuantes no mercado automotivo brasileiro, isso, com certeza, estimulariam as montadoras a investir sempre em veículos mais eficientes.

Mais especificamente no tocante do setor de transporte rodoviário de passageiros, foco desse presente Estudo, enquanto o tamanho (peso) e potência dos veículos continuarem a aumentar, dificilmente as emissões de GEE vão declinar substancialmente. Nesse sentido a importância dos instrumentos econômicos e de comando e controle aumentam. Esses tipos de políticas, de fato, incentivam a compra de veículos mais leves e menos potentes, mas somente quando a diferença entre os impostos para automóveis mais eficientes for substancial (“pesar no bolso” do comprador de carro novo). A divulgação de índices de eficiência energética e o estabelecimento de metas de desempenho ou de emissões podem provocar resultados significativos, com reduções na quantidade de energia consumida, e na redução de emissões de GEE e de poluentes locais. No caso da realidade da indústria automobilística brasileira, a redução substancial dos impostos para os veículos subcompactos com motores 1.0 ou menores, e/ou com *kers* e/ou veículos maiores, porém com alto desempenho (em quilômetro rodado por litro de combustível) é uma estratégia que deve ser incentivada. Concomitantemente, a elevação substancial dos impostos para veículos ineficientes, e/ou grandes (SUVs, principalmente) e/ou com motor com cilindrada acima de 2.0, por exemplo, devem ocorrer.

Políticas públicas alternativas como incentivo para renovação da frota, retirando de circulação veículos com tecnologia antiga e menos eficiente, pode trazer benefícios no curto e médio prazo, tão positivas quanto medidas de aumento de EE. Vide a diferença entre o consumo de um veículo com mais de 15-20 anos com os veículos atuais de baixa cilindrada. Já medidas que envolvem pouco custo como sensores de pneus, programas de educação/informação para condutores, incentivando a condução defensiva e incentivo ao uso de transporte público (desde que ocorra investimento em qualidade dos mesmos) e ao uso de bicicletas e caminhadas (com investimentos prévios em infraestrutura) podem trazer benefícios já no curto prazo, além de ganhos em qualidade de vida nos grandes e médios centros urbanos.

Através de políticas públicas, o transporte coletivo possui também grande potencial mitigatório. Ônibus a etanol aditivado, ônibus híbrido com *kers* e ônibus a GNV são opções disponíveis no mercado, com custo mais elevado, mas que, conforme mostra a experiência, através de políticas públicas podem se tornarem competitivas em comparação a tecnologia tradicional (à óleo Diesel). O Governo Brasileiro seria também um grande beneficiário dessas

medidas, pois a mitigação do consumo de óleo Diesel, utilizada pelos ônibus, é fundamental para manter positiva a balança comercial brasileira de derivados de petróleo, atenuando também as pressões no parque de refino. A sinergia entre *soft* e *hard* políticas é fundamental nesse contexto.

Além dos biocombustíveis, o exposto mostrou que o GN pode ser utilizado como combustível de transição já no curto prazo – até que os biocombustíveis e/ou os veículos a hidrogênio e/ou elétricos ganhem participações relevantes no mercado automobilístico mundial. Isso pode ocorrer, pois conforme o exposto analisou no Capítulo 5, cadeias mais eficientes que a dos derivados de petróleo podem ser baseadas no GN. Tanto em termos de custos, como em termos ambientais e de disponibilidade. O uso do GN poderia ser através do uso direto e do uso indireto (produção de combustíveis líquidos através da rota GtL – *gas-to-liquid*). A principal vantagem do uso do GN em detrimento das tecnologias dos veículos elétricos ou a célula a combustível (H_2) é que as barreiras de implementação são relativamente menores, uma vez que a tecnologia pode ser considerada quase como uma inovação incremental, ao contrário do VE e do FCV em que é necessário o uso de tecnologias radicais. Com base nestas características, não se pode esperar que a transição para a “era do H_2 ” e/ou do VE – conforme preveem a maioria dos estudos na área de transporte para o longo prazo – possam ser implementadas sem passar primeiramente por sistemas intermediários, no caso a cadeia do GN e principalmente os biocombustíveis. Nesse contexto, o etanol de 2º geração e o BtL Diesel provavelmente só se tornarão competitivos com o etanol produzido através de cana-de-açúcar (1º geração), especialmente para o caso brasileiro, após o horizonte de tempo proposto nesse estudo (2030).

Assim, o setor de rodoviário brasileiro, no curto/médio prazo, continuará dependente dos derivados de petróleo e de biocombustíveis de 1º geração, podendo o GN apresentar também a sua contribuição no que tange a mitigação do uso de derivados de petróleo. No longo prazo, alternativas como o veículo elétrico a bateria, a célula a combustível e os biocombustíveis de segunda geração poderão substituir os derivados de petróleo, mas ainda restam fortes incertezas sobre a possibilidade de substituição deles em larga escala. O mesmo vale para os biocombustíveis provenientes das algas (chamados de 3º Geração) e para o DME.

Apesar de possuir participação considerável nas emissões de CO₂ do setor de transportes, e que as medidas de mitigação propostas nesse Estudo, possuem força para mitigar essas emissões, se medidas de mitigação não forem adotadas também para o setor de transporte de cargas, os resultados serão relativamente modestos. Pois quando se contabiliza as emissões dos caminhões, no Cenário BAU, elas representam aproximadamente 44% das emissões de CO₂ do setor de transportes rodoviário no ano de 2010, e 59% das emissões no ano de 2030. O crescimento projetado das emissões de CO₂ no Cenário BAU, contabilizando os caminhões, entre os anos de 2010 e 2030, foi de expressivos 202%.

Nesse contexto, políticas públicas para incentivar a mudança da matriz de transporte de cargas, priorizando modais menos energo-intensivos faz-se também deveras necessário. A diminuição da quantidade de caminhões, de forma indireta, tende a gerar uma melhor fluidez do trânsito, em virtude da redução do número de caminhões nas estradas e avenidas, vide exemplo da Marginal Tietê na cidade de São Paulo⁶⁹.

A princípio os cenários propostos por esse presente Estudo, podem parecer muito otimistas, mas deve-se ressaltar que os aumentos de eficiência energética propostos foram baseados nas médias entre o valor inferior e superior dos potenciais ganhos de EE propostos pela IEA (2008b). Já o consumo de biocombustíveis é na grande maioria dos cenários factíveis com as projeções de produção dos cenários da EPE e do MAPA. Os resultados são também factíveis com o estudo do CGEE (2008) sobre o potencial da produção de etanol sem utilizar áreas de uso de alimentos e áreas preservadas. Soma-se que o número de inovações incrementais para aumentar a EE do *powertrain* dos veículos leves, conforme embasou a revisão bibliográfica, é muito maior do que as medidas que o presente Estudo adotou nas simulações – em especial pela introdução da tecnologia de controle variável da taxa de compressão nos veículos *flex fuel* fabricados no Brasil. Nesse sentido, o potencial é muito maior do que os resultados apresentados, portanto os cenários propostos podem ser considerados altamente factíveis em termos técnicos.

⁶⁹ No dia 5 de março de 2012, os caminhões foram proibidas de trafegar na Marginal Tietê entre 5h e 9h e 17h e 22h, de segunda-feira a sexta-feira, e sábado, das 10h às 14h. O resultado foi uma sensível melhora na fluidez do tráfego nesses horários, que historicamente são os horários que acontecem os grandes congestionamentos na referida marginal.

Acredita-se também, que os cálculos da frota, consumo de combustíveis e emissões de GEE estejam com uma elevada precisão. Já que os principais parâmetros do modelo utilizado nesse Estudo foram atualizados recentemente através do Estudo capitaneado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011), como mostram as três figuras do Anexo F, que compara os valores observados e projetados (históricos) do consumo de combustíveis dos veículos leves da frota. Pela análise dos gráficos fica evidente que o modelo apresenta uma elevada acurácia.

Para finalizar, é importante salientar que, em contraste a outros setores da economia mundial, o setor de transportes, historicamente, tem evoluído de forma distanciada do conceito de desenvolvimento sustentável. Nos últimos 20 ou 30 anos, muitos setores da indústria tiveram (por forças de mercado, principalmente) de se adequar a um novo contexto de crescentes restrições ambientais. O setor de transportes, no entanto, tem evoluído quase que incólume a este processo, praticamente evoluindo na direção oposta, ou seja, maximizando o crescimento (nesse sentido o segmento de transporte rodoviário – em especial, de passageiros – é exemplar), sem a devida preocupação com os impactos energéticos e ambientais associados. Espera-se que o presente Trabalho possa auxiliar (mesmo que minimamente) na reversão deste processo, ou seja, gerando contribuições para que o transporte aproxime-se mais do conceito de sustentabilidade (ou seja, considerando o equitativo desenvolvimento socioeconômico e ambiental). Sem dúvida, um dos grandes desafios para o setor de transportes, brasileiro e mundial, no século XXI, será compatibilizar a inevitável expansão na demanda com a minimização de poluentes atmosféricos.

8.2. Recomendações para trabalhos futuros

- Realização de estudos técnico-econômicos comparando os benefícios de investimentos em novas tecnologias veiculares de aumento de EE, com intuito de implantar uma análise de custo-benefício mais centrada na realidade brasileira, já que nas simulações de custo das medidas de eficiência energética propostas, foi utilizado o estudo da Agência Internacional de Energia (IEA, 2008b).

- Como foi mostrado no Capítulo 7, o custo de um programa de eficiência energética com as metas propostas nesse presente Estudo é elevado, seja no total (trilhões de dólares, ao longo de 15 anos) ou por veículo (milhares de dólares). Nesse sentido, seria interessante um estudo de engenharia econômica (por exemplo, um estudo de taxa interna de retorno – TIR – ou valor presente líquido – VPL) calculando quantos quilômetros e quantos anos demorariam para o consumidor recuperar o investimento na aquisição de um veículo mais eficiente para determinadas taxas de descontos empregadas. Outro estudo a se considerar seria calcular os custos financeiros, através de linhas de financiamento do BNDES, por exemplo, para as montadoras cumprirem as metas de eficiência energética, para diferentes períodos de tempo.
- Realização de estudos analisando os custos e benefícios de programas de incentivo a renovação da frota de veículos antigos, bem como o impacto dessa substituição no fator de emissão da frota brasileira de veículos de passageiros. Estudo esse, que poderia fornecer subsídios para elaboração de políticas de renovação da frota de veículos leves e/ou conversão da frota de ônibus para híbridos ou a GNV através de incentivos econômicos (diminuição de impostos e/ou bônus).
- Realização de um estudo envolvendo a atualização e ampliação de dados sobre a frota de veículos a GNV circulante no País, já que esses dados ainda não estão disponíveis, com qualidade satisfatória, junto aos departamentos de trânsito. Principalmente no que tange a idade e tipo de veículo quando da sua conversão.
- Realização de estudo envolvendo cálculos das emissões de GEE do setor de transportes ao longo do ciclo de vida do combustível (metodologia *Well-to-Wheels*).
- Realização de estudos quantitativos dos impactos no consumo de combustíveis e das emissões de CO₂ envolvendo medidas de gestão da demanda por transportes através de modelagem semelhante à utilizada nesse Estudo. Pois, conforme as análises dos resultados obtidos através da aplicação de medidas de gestão da demanda, o potencial de mitigação é considerável.

- A realização de estudo semelhante ao dessa Tese para o setor de transportes rodoviário brasileiro de cargas. Afinal, o referido setor, emite mais dióxido de carbono que o setor rodoviário de passageiros. Medidas de eficiência energética e gestão da demanda, principalmente através da migração do modal rodoviário para modais menos energointensivos, especificamente o modal ferroviário, mitigaria o consumo de óleo Diesel e das emissões de CO₂ e poluentes atmosféricos. A mitigação do consumo de óleo Diesel pode também contribuir para melhorar o preço do frete, aumentando a competitividade dos produtos brasileiros.
- E, por fim, seria deveras oportuna, a introdução, no Brasil, de políticas governamentais voltadas para o aumento da eficiência energética dos veículos leves através de mecanismos de comando e controle. Isso poderia ser conseguido através de programas de limitação de emissões de GEE semelhante ao implementado pela União Européia ou um programa que limite o consumo específico dos veículos semelhante ao JAMA (Japão), CAFE (EUA) ou CAFV (Canadá). Tais medidas se destacam no cenário internacional pelos sucessos dos resultados alcançados. Concomitantemente o PBEV deve tornar-se obrigatório para todos os veículos da frota concomitantemente a uma ampla divulgação do programa por parte dos órgãos responsáveis do Governo. Se as falhas apontadas no Capítulo 2 forem corrigidas, o PBEV possui potencial para tornar-se um efetivo instrumento da política de eficiência energética para o setor de transportes brasileiro.

Referências Bibliográficas

ABRACICLO. Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicycletas e Similares. **Anuário da Indústria Brasileira de Motos, 2011**, ano base 2010.

ABVE. Associação Brasileira do Veículo Elétrico, 2010. Endereço eletrônico. Acesso em 10/05/2010. Disponível em: <<http://www.abve.org.br>>

AIRES, DUARTE DA FONSECA. **Biomass-to-Liquids: Uma Contribuição ao Estudo da Obtenção de Biocombustíveis Sintéticos Através da Síntese Fischer-Tropsch**. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia PIPGE. Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2009, Tese (Mestrado).

ALMEIDA. ADRIANA FERREIRA SOARES DE. **A importância dos bicombustíveis na matriz energética de transporte rodoviário do Brasil**, 2006. Engenharia de Transportes – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Tese (Mestrado).

ALMEIDA, L.T. **A Inserção dos Biocombustíveis na Matriz Energética Brasileira a Luz do Princípio da Precaução**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Monografia – Direiro, 98 p.

AMPT, E.; WILLUMSEN, L. **El Valor Práctico de Técnicas para el Cambio de Conductas en Transporte**, 2000. In: Colomer & García Eds. Calidad e Innovación en los Transportes. pp. 31. Actas del IV Congreso de Ingeniería del Transporte. Valencia, España.

ANTONIO RODRIGUES DE ANDRADE. **A Informação como Suporte para o Planejamento e para a Formulação de Políticas no Setor de Transportes**, 2007. Engenharia de Transportes – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Tese (Doutorado).

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2010**, ano base 2009.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2011**, ano base 2010.

ANP. Agência Nacional do Petróleo. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2011**, ano base 2010.

ANP. Agência Nacional do Petróleo. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2012**, ano base, 2011.

AZUAGA, D., 2000. **Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil**. 168 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BARBOSA, H. M., TIGHT, M. R., MAY, A. D. **A Model of Speed Profiles for Traffic Calmed Roads**, 2000. Transportation Research, Part A, n. 34.

BLESSINGTON, H. K. **Approaches to changing modal split; a strategy and policy context, Traffic Engineering and Control**, 1994 v.35, n.2, p.63-67.

BOERRIGTER, H. **“Green” Diesel Production With Fischer-Tropsch Synthesis**, 2002. In: Business Meeting Bio-Energy, Platform Bio-Energie, September 13. ECN-RX--03-014.

BRANCO, DAVID ALVES CASTELO. **Análise Técnica e Econômica da Aplicação da Tecnologia Gtl de Pequena Escala para a Monetização do Gás Natural Associado Remoto Offshore no Brasil**, 2008. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tese (Mestrado).

CAFC. Canada’s Company Average Fuel Consumption, 2010. Endereço Eletrônico. Acesso em: 11/03/2013. Disponível em: < <http://www.tc.gc.ca/eng/programs/environment-fcp-cafctargets-385.htm>>

CALLARI, ROBERTO. **Produção de Óleo Diesel Limpo a partir do Gás Natural: Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica Para Instalação de uma Planta GtL**, 2007. 84 p. Tese (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em energia, Universidade de São Paulo.

CAMPOS, V. B. G.; MELO, B. P. . **Estratégias Integradas de Transporte e Uso do Solo Visando a Redução de Viagens por Automóvel**, 2005. In: XV Congresso de Transporte e Trânsito, 2005, Goiânia. Paz e Mobilidade Para Todos.

CARNEY, D. **Combustão Interna: A Próxima Geração**, 2008. Revista Engenharia Automotiva e Aeroespacial, edição 34, ano 2008.

CASTRO, MARÍA ALEJANDRA GUILARTE. **Gerenciamento da Mobilidade Uma Contribuição Metodológica para a Definição e uma Política Integrada dos Transportes no Brasil**, 2006. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tese (Doutorado).

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o Desenvolvimento Sustentável**, 2008. Organização BNDES e CGEE – Rio de Janeiro.

CNT. Confederação Nacional dos Transportes. **Transporte de Cargas no Brasil - Ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país**, 2002. Brasília, DF.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Sobre a Eficiência Energética ou “Fazer Mais Com Menos”**, 2005. Livro Verde. COM(2005) 265 final,.Bruxelas, 22/6/2005.

CONCEIÇÃO, G.W. de. **A Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Inserção do Gás Natural Veicular em Frotas do Transporte Coletivo Urbano de Passageiros**. Tese de Mestrado. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, 2006.

CONPET. Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás, 2012a. Endereço eletrônico. Acesso em 13/03/2013. Disponível em:
< http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet-no-transporte.shtml>

CONPET. Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados de Petróleo e do Gás, 2012b. Endereço eletrônico. Acesso 5/03/ 2013. Disponível em:
<http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/noticia/programa-inovar-auto-incentiva-eficiencia-energetica-e-producao-de-veiculos-no-pais-1.shtml>.

COSTA , GUILHERME CAMARGO FERRAZ. **Uma Avaliação do Consumo de Energia com Transportes em Cidades do Estado de São Paulo**, 2001. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), da Faculdade de Engenharia Civil – Área de Concentração: Transportes. Tese (Mestrado).

CRUZ, MARGARIDA MARIA LOURENÇO. **Avaliação dos Impactos de Restrições ao Transito de Veículos**, 2006. Universidade Estadual De Campinas Faculdade De Engenharia Civil, Arquitetura E Urbanismo. Tese (Mestrado).

DE KLERK, A. de, **Hydroprocessing Peculiarities of Fischer–Tropsch Syncrude**, 2008. Catalysis Today, v. 130, pp. 439-445.

DEMEC/UFMG. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. Endereço Eletrônico. Acesso em: 05 maio 2010. Disponível em:
<<http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/gasosos/gnatural/dieselad.htm>>

DIORIO, P. A., BRADY, A. F. **From de plug to the pump: What is the potential of plug-in hybrid electric vehicles?**, 2008. In: Private Report, Cambridge Energy Research Institute – CERA, Cambridge, USA.

DOE. US. Department of Energy. **Annual Energy Outlook 2007: With Projections to 2030**, 2007. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/oiaf/archive/aeo07/index.html>>

DOT. U.S. Department of Transportation. **Average Fuel Economy Standards, Passenger Cars and Light Trucks**, 2008; Model Years 2011–2015. Federal Register / Vol. 73, No. 86 / Proposed Rules.

DUBEUX, CAROLINA BURLE SCHMIDT. **Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa por Municípios Brasileiros: Metodologias para Elaboração de Inventários Setoriais e Cenários de Emissões como Instrumentos de Planejamento**, 2007. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. Tese (Doutorado).

ECCJ. Energy Conservation Center Japan. **Final Report of Joint Meeting between the Automobile Evaluation Standards**, 2007. Subcommittee, Energy Efficiency Standards Subcommittee of the Advisory Committee for Natural Resources and Energy and the Automobile Fuel Efficiency Standards Subcommittee, Automobile Transport Section, Land Transport Division of the Council for Transport Policy. Tokyo, Japan. Acesso em: 30/08/2010. Disponível em: <<http://www.eccj.or.jp>>

ECMT. European Conference of Ministers of Transport. **Making Cars More Fuel Efficient: Technology for Real Improvements on the Road**, 2005. OECD/IEA, Paris.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plano Nacional de Agroenergia, 2006-2011**, 2005. Brasília –DF. Disponível em: <<http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/cana/AGROENERGIA.pdf>>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. Endereço eletrônico. Acesso em 11/01/2013. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2012/dezembro/3a-semana/dende-fonte-de-oleo-para-biodiesel/>>

EMTU. Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos, 2011. Endereço Eletrônico. Acesso em 22/09/2011. Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/redes-de-transporte/corredores-terminais/corredor-metropolitano-abd/extensao-diadema-sp-morumbi-berrini.fss>>

ENGERER, H., HORN, M. **Natural gas vehicles: An Option for Europe**, 2010. Energy Policy, Vol. 38, pag.1017–1029.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Potencial de Redução de Emissões de CO₂ em Projetos de Produção e Uso de Biocombustíveis**, 2005. Governo Federal - Ministério de Minas e Energia. Brasília-DF.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Estudos Associados ao Plano Decenal de Energia - PDE 2021**, 2012. Consolidação de Bases de Dados do Setor Transporte: 1970-2010. Governo Federal - Ministério de Minas e Energia. Brasília-DF.

FADEL FILHO, D. A. **O Aquecimento Global e a Teoria de Gaia: subsídios para um debate das causas e conseqüências**, 2007. Climatologia e Estudos da Paisagem Rio Claro - Vol.2 - n.1 - janeiro/junho /2007.

FCAI. Federal Chamber of Automotive Industries, 2012. Endereço eletrônico. Acesso em 11/3/2013. Disponível em: <<http://www.fcai.com.au/news/news/all/all/295/significant-improvement-in-vehicle-co2-emissions>>

PBEV. Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular, 2012. Endereço eletrônico. Acesso em 26/07/2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2012.pdf>

FRIEDMAN, D. **A New Road: The Technology and Potential of Hybrids Vehicles**, 2003. USC Publications. Cambridge, MA.

GAKENHEIMER, R. **Urban Mobility In The Developing World**, 1999. Transportation Research, Part A, n. 33, p. 671-689.

GASNET. O Site do Gás Natural, 2011. Endereço Eletrônico. Acesso em 27/12/2011. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/novo_gnv.asp>

GOLDEMBERG, J.; NIGRO, F. E. B.; COELHO, S. T. **Bioenergia no Estado de São Paulo: Situação Atual, Perspectivas, Barreiras e Propostas**, 2008. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo.

GREENE, D. L. **Why CAFE Worked**, 1997. U.S. Department of Energy. Center for Transportation Analysis. Oak Ridge, Tenn: National Laboratory.

GTZ. German Technical Cooperation. **The World Bank Urban Transport Strategy Review – Experience from Germany and Zurich**, 2001. Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, Eschborn. Division 44, Environmental Management, Water, Energy, Transport. January 2001.

HAMELINCK, C.N. *et al.* **Production of FT Transportation Fuels From Biomass: Technical Options, Process Analysis and Optimisation and Development Potential**, 2003. Utrecht University, Utrecht, Netherlands, 69 p.

HEKKERT, M.P., HENDRIKS, F. H.J.F., FAAIJ, A. P.C., NEELIS, M. L.. **Natural Gas as an Alternative to Crude Oil in Automotive Fuel Chains Well-To-Wheel Analysis and Transition Strategy Development**, 2005. Energy Policy Vol. 33, pag 579–594.

HOLTZCLAW, J. **Using Residential Patterns And Transit To Decrease Auto Dependence And Costs**, 1994. Natural Resources Defenses Council, p. 16-23.

HOUSE OF COMMONS. **Reducing Carbon Emissions from Transport**, 2006. Environmental Audit Committee. Ninth Report of Session 2005–06, Volume I

HUTTON, W.J., HOLMES, J. **Floating Gas to Liquids – A Solution to Offshore Stranded Gas**, 2005. 18th World Petroleum Congress, Block 3, Forum 11.

ICCT. International Council On Clean Transportation. **Passenger Vehicle Greenhouse Gas and Fuel Economy Standards: A Global Update**, 2007. Acesso em 07/01/2008. Disponível em: <http://www.lowcvp.org.uk/assets/reports/ICCT_GlobalStandards_2007.pdf>

ICCT. International Council On Clean Transportation. **Proposed phase III fuel consumption targets for passenger cars in China**, 2010. ICCT Policy update n° 4, 15/01/2010.

IDEA. Instituto De Desenvolvimento Agroindustrial. **Digital Usinas – Cadastro Nacional de Unidades Sucroalcooleiras**, 2007. Ribeirão Preto: Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial.

IEA. International Energy Agency. **World Energy Statistics From the IEA**, 1999. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development.

IEA. International Energy Agency. **World Energy Outlook**, 2004. International Energy Agency, Paris.

IEA. International Energy Agency. **World Energy Outlook 2006**, OECD Publications, Paris.

IEA. International Energy Agency. **International Energy Outlook**, 2007. Energy Information Administration Office of Integrated Analysis and Forecasting U.S. Department of Energy Washington, DC.

IEA. International Energy Agency. **World Energy Outlook 2008**, 2008a, OECD Publications, Paris.

IEA. International Energy Agency. **Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050**, 2008b. In Support the G8 Plan of Action.

IEA. International Energy Agency. **Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency. Energy Indicators**, 2008c. Key Insights from IEA Indicator Analysis, In Support the G8 Plan of Action.

IEA. International Energy Agency. **Transport, Energy and CO₂: Moving Toward Sustainability**, 2009a. OECD/IEA, Paris, France.

IEA. International Energy Agency. **Technology roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles**, 2009b. OECD Publications, Paris.

IEA. International Energy Agency. **Key World Energy Statistics**, 2010. OECD Publications, Paris.

IEA. International Energy Agency. **Key World Energy Statistics**, 2011. OECD Publications, Paris.

IEA. International Energy Agency. **World Energy Outlook**, 2012a. OECD Publications, Paris.

IEA. International Energy Agency. **CO₂ Emissions From Fuel Combustion – Highlights**, 2012b. OECD Publications, Paris.

IMTT. Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres. **Manual do Ensino da Condução**, 2010. Direcção de Serviços de Formação e Certificação – Departamento de Ensino de Condução. Portugal.

INEE. Instituto Nacional Eficiência Energética. **Conservação de Energia e Emissões de Gases do Efeito Estufa no Brasil**, 1998. Alan Douglas Poole; Jayme Buarque de Hollanda (INEE); Maurício Tiomno Tolmasquim (COPPE/UFRJ).

IPAI. International Primary Aluminium Institute. **Aluminum Applications and Society: Life Cycle Inventory of the Worldwide Aluminum Industry With Regard to Energy Consumption and Emissions of Greenhouse Gases**, 2000. Paper 1 – Automotive, May 2000.

IPCC. Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas. **Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima**, 2007a. Mudança do Clima 2007: Sumário para os Formuladores de Políticas.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fourth Assessment Report: Climate Change**, 2007b. Working Group III, Report Mitigation of Climate Change, Chapter 5: Transport and its infrastructure.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Termo de Referência**, 2008. Workshop de Tecnologias BTL (Biomass to Liquid).

JAMA. Japan Automobile Manufacturers Association. **Report on Environmental Protections Efforts: Promoting Sustainability in Road Transport in Japan**, 2009. Disponível em <<http://jama-english.jp/release/release/2009/091216.html>>. Acessado em: 18/02/2010.

JONES, P.; HERVIK, A. **Restraining Car Traffic In European Cities: An Emerging Role For Road Pricing**, 1992. Transportation Research, Part A, vol. 26A, n. 2.

JOSEPH JR., H. **Flex fuel technology in Brazil**. São Paulo: Anfavea, Energy and Environment Division, 2007.

KASSERIS, E., HEYWOOD, J. B. **Comparative Analysis of Automotive Powertrain: Choices for The Next 25 Years**, 2007. SAE World Congress. SAE technical paper series nº 2007-01-1605, Detroit, abril de 2007.

KASSERIS, E. **Comparative Analysis of Automotive Powertrain: Choices For The Near To Mid-Term Future**, 2006. Dissertação de Mestrado, M.Sc.. Massachusetts Institute of Technology.

LARICA, N. J. **Design de transporte: A Arte em Função da Mobilidade**, 2003. Rio de Janeiro: PUC, 2AB Editora, 213 p.

LAUTSO, K.; SPIEKEMANN, K.; WEGENER, M.; SHEPPARD, I.; STEADMAN P.; MARTINO A.; DOMING, R.; GAYDA S.; **Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability**, 2004. Final Report. 2nd Ed., Filand.

LUTSEY, N. SPERLING, D. **Greenhouse Gas Mitigation Supply Curve for the United States for Transport Versus Other Sectors**, 2008. Journal: Elsevier, Transportation Research Part D 14 (2009) p. 222-229.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**, 2006. 2ª edição revisada. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: 2009-2010 a 2019-2020**, 2010. Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília DF.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**, 2004. Relatórios de Referência: Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-Down. Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília.

MCT . Ministério da Ciência e Tecnologia. **2º Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**, 2011. (2ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima). Brasília, 2011.

MELO, Márcio J. V. Saraiva de. **A cidade e o tráfego: uma abordagem estratégica**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

MENKES, M. **Instrumentos Econômicos Aplicados em Programas de Eficiência Energética**, 2001. IV Encontro Nacional da Economia Ecológica – ECOECO – Belém (PA) – 2001.

MILES, J. WALKER, J. MACMILLIAN, A.; ROUTLEDGE, I. **Access Control In City Centers: Objectives, Methods and Examples**, 1998. Traffic Engineering and Control, v.39, n.2, p. 648-654.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários – Relatório Final**, 2011. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Departamento de Mudanças Climáticas, Gerência de Qualidade do Ar. Brasília.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**, 2007. Caderno 2: Projeções.

MME. Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional – 2011a**, ano base 2010. Brasília, DF.

MME. Ministério das Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**, 2011b. Brasília, DF.

MME. Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional – Resultados Preliminares – 2012**, ano base 2011. Brasília, DF.

MORAES, NATÁLIA GONÇALVES. **Avaliação das Tendências da Demanda de Energia no Setor de Transportes no Brasil**, 2005. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tese (Mestrado).

MOREIRA, J. R. **Questões “Sócio-Econômicas Relacionadas ao Etanol”**, 2007. 1º Workshop Scania – Ônibus Movido a Etanol. São Bernardo do Campo, 1 de Outubro de 2007.

MOREIRA, J. R.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; APOLINÁRIO, S. M.; MELO, E. H.; ELMADJIAN, P. H. **Projeto BEST – Bioetanol Para o Transporte Sustentável**. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/bestagrener18jun2008.pdf>>

NAS. National Academy of Sciences. **Real Prospects for Energy Efficiency in the United States**, 2009. National Academy Press, Washington, DC.

NAS. National Academic of Sciences. **Real Prospects for Energy Efficiency in the United States**, 2010. Acesso em: 5/8/2011. Disponível em: <<http://www.nap.edu/catalog/12621.html>>

NHTSA. National Highway Traffic Safety Administration, 2013. Endereço eletrônico. Acesso 8/03/ 2013. Disponível em: <<http://www.nhtsa.gov/fuel-economy>>.

NOGUEIRA, L. A. H., BRANCO, G. M. **Promovendo a Eficiência Energética nos Automóveis Brasileiros**, 2005. Rio de Janeiro: CONPET, PETROBRAS.

NRC. National Research Council of the National Academies. **Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy Standards**, 2002. National Academy Press, Washington, DC.

OPDAL, O. A. **Production of Synthetic Biodiesel Via Fischer-Tropsch Synthesis: Biomass to Liquids in Namdalen, Norway**, 2006. Department of Energy & Process engineering, Norwegian University of Science and Technology, Norway, December. 84 p.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S/A, 2010. Endereço eletrônico. Acesso em 30/01/2010. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/presal/10-perguntas/>>

PORTAL G1. Endereço eletrônico, 2010. Acesso 4/01/ 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2010/10/sp-vai-testar-onibus-hibrido-com-motor-eletrico-e-diesel.html>>

PORTAL H2. **Entrevista Dr. Ênnio Peres da Silva**, 2006. Endereço eletrônico. Acesso 12 junho 2010. Disponível em: <<http://www.portalh2.com.br/>>

POYARES, CATIA NUNES. **Critérios Para Análise dos Efeitos de Políticas de Restrição ao Uso de Automóveis em Áreas Centrais**, 2000. Rio de Janeiro, R.J. – Brasil. 239p. de M. Sc., PET-COPPE/UFRJ. Dissertação (Mestrado)

QUEIROZ, H. **Energia e Transporte: Emissões, Dependência ou Mobilidade? Qual é o Problema?**, 2010. Endereço eletrônico. Acesso em 5/03/2011. Disponível em: <<http://infopetro.wordpress.com/2010/10/18/energia-e-transporte-emissoes-dependencia-ou-mobilidade-qual-e-o-problema/>>

RIBEIRO, S., K. COSTA, C., V. DAVID, E., G. REAL, M., V. D'AGOSTO, M., A. **Transport and Climate Change**, 2003. Rio de Janeiro, Ed COPPE/RJ..

SANTOS, ANTÔNIO CARLOS. **A Influência do Uso do Etanol Combustível nas Emissões dos Gases do Efeito Estufa nos Motores do Ciclo Otto**, 2008. Escola de Engenharia Mauá. São Caetano do Sul. Tese (Mestrado).

SCHMITT, WILLIAM FREDERIC. **Metodologia de Avaliação de Eficiência Energética em Veículos Leves e Seus Impactos em Termos de Uso de Combustíveis**, 2010. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado).

SEBRAE. Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **BIODIESEL**, s.n.t. Disponível em: <http://www.akiongroup.com/web_local/pdfs/mostraanexo660f.pdf>

SEMELSBERGER, T., A.; BORUP, R., L., GREENE, H., L. HOWARD L., 2005. **Dimethyl Ether (DME) as an Alternative Fuel**, 2006. Journal of Power Sources 156 (2006) 497–511.

SHAIK, A., SHENBAGA, N., MOORTHY, V., RUDRAMOORTHY, R. **Variable Compression Ratio Engine: A Future Power Plant for Automobiles – An Overview**, 2007. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, v 221, n 9, pp. 1159-1168.

SMITH, CRISTINA BASTIN. **Análise da Difusão de Novas Tecnologias Automotivas em Prol da Eficiência Energética na Frota de Novos Veículos Leves no Brasil**, 2010. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado).

SOUSA-AGUIAR, E. F., APPEL L.G., MOTA C. **Natural Gas Chemical Transformations: The path to refining in the future**, 2005. Catalysis Today, v. 101, pp. 3–7.

SOUZA, M. C. S. ; CARVALHO, S. M. H.; OLIVEIRA, T.; LELLIS, V. L. M., APPEL, L. G. **DME, o combustível do futuro?**, 2006. In: **Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva**. 14 : 2006: São Paulo. Rio de Janeiro.

STERN, N. **Stern Review: The Economics of Climate Change**, 2006. Executive Summary. HM Treasury, London.

STI/MDIC. Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **O Futuro da Indústria: Biodiesel**, 2006. Coletânea de Artigos. Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – 14. Brasília-DF.

TOPP, H. H. **A Critical Review of Current Illusions in Traffic Management and Control**, 1995. Transport Policy, v.2, n.1.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Project Design Document**, 2006. BRT Bogotá, Colômbia. TransMilenio Phase II-IV.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. Project Search, 2012. Acesso em 31, dezembro, 2012. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>>

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2013. Endereço eletrônico. Acesso em 3/02/2013. Disponível em:
<http://unfccc.int/secretariat/momentum_for_change/items/7098.php>

VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; APOLINÁRIO, S. M.; MOREIRA, J. R.; MELO, E. H. **O Projeto Best – Bioetanol para o Transporte Sustentável – e as Políticas Públicas de Incentivo ao Uso Do Etanol**, 2010a. Anais: VII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - Energia 2030: Desafios para uma nova Matriz Energética, 2010. São Paulo-SP.

VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; APOLINÁRIO, S. M.; MOREIRA, J. R.; MELO, E. H. **O Projeto BEST – Bioetanol Para o Transporte Sustentável – E as Políticas Públicas de Incentivo ao Uso do Etanol**, 2010b. Revista Brasileira de Energia, Vol. 16, N° 2, 2° Sem. 2010, pp. 79-94

VIANNA, M. M. B.; PORTUGAL, L. S.; BALASSIANO, R. **Intelligent Transportation Systems and Parking Management: Implementation Potential in Brazilian City**, 2004. Cities, V. 21, N. 2, P. 137-148.

VIEGAS, J. M.; MOURA, F. M. M.V. **À Procura da Eficiência Energética nos Transportes**, 2006, Gazeta da Física - 29 (1-2) 2006, Sociedade Portuguesa de Física.

VIOLATO, R. R.; SANCHES, S. da P. **Aceitabilidade de Medidas de Gestão da Demanda. Em Circulação a Serviço da Cidadania na Cidade do Século XXI**, 2001. Rio Grande do Sul, Anais do 13° Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, São Paulo: ANTP, 2001. CD-ROM.

VOLVO. **Volvo Trucks e o Meio Ambiente**, s.n.t. Disponível em: <www.volvotrucks.com>

VTPI. Victoria Transport Policy Institute. **Parking Management: Strategies for More Efficient Use of Parking Resources**, 2002. On line TDM Encyclopedia.

WASHINGTON STATE. Department of Transportation. **High Occupancy Vehicle (HOV) Lanes – Featured Projects**, 2005. Disponível em: <<http://www.wsdot.wa.gov/HOV/default.htm>>

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. **Materials Projection Analyses**, 2003. Vehicle Materials Modeling, Report.

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. **Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability**, 2004. The Sustainable Mobility Project. Full Report.

WILLS WILLIAM. **O Aumento da Eficiência Energética nos Veículos Leves e Suas Implicações nas Emissões de Gases de Efeito Estufa – Cenários Brasileiros Entre 2000 e 2030**, 2008. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tese (Mestrado).

WITTNEBEN, B., BONGARDT, D., DALKMANN, B., STERK, W., BAATZ, C. **Integrating Sustainable Transport Measures into the Clean Development Mechanism**, 2009. *Transport Reviews*, Vol. 29, No. 1, 91–113, January 2009.

WWF. *World Wildlife Fund for Nature*. **One Planet Mobility: A Journey Towards a Sustainable Future**, 2008.

Apêndices e Anexos

Apêndice A – Cenários para os veículos ciclo Otto (gasolina e etanol)

Cenário	% Etanol Anidro misturado a Gasolina C	% Etanol Hidratado utilizado pelos <i>flex fuel</i>	Aumento de EE	Kers (hibridização)	Ônibus a etanol
BAU	20%	53%	-	-	-
Grupo 1: EE A	20%	53%	15% Autom. 15% Com. L.	-	-
Grupo 1: EE B	20%	53%	31% Autom. 31% Com. L.	-	-
Grupo 1: EE C	20%	53%	46% Autom. 46% Com. L.	Sim	-
Grupo 1: EE D	20%	53%	15% Autom. 15% Com. L.	Sim	-
Grupo 1: EE A₀	20%	53%	15% Autom.	-	Sim
Grupo 1: EE B₀	20%	53%	31% Autom.	-	Sim
Grupo 1: EE C₀	20%	53%	46% Autom.	Sim	Sim
Grupo 1: EE D₀	20%	53%	15% Autom.	Sim	Sim
Grupo 2: 2 A	20%	60%	-	-	-
Grupo 2: 2 B	20%	70%	-	-	-
Grupo 2: 2 C	20%	80%	-	-	-
Grupo 2: 2 A'	25%	60%	-	-	-
Grupo 2: 2 B'	25%	70%	-	-	-
Grupo 2: 2 C'	25%	80%	-	-	-
Grupo 2: 2 A₀'	20%	60%	-	-	Sim
Grupo 2: 2 B₀'	20%	70%	-	-	Sim
Grupo 2: 2 C₀'	20%	80%	-	-	Sim
Grupo 2: 2 A₀'	25%	60%	-	-	Sim
Grupo 2: 2 B₀'	25%	70%	-	-	Sim
Grupo 2: 2 C₀'	25%	80%	-	-	Sim
Misto: 1 Me	20%	60%	46% Autom. 46% Com. L.	Sim	-
Misto: 2 Me	20%	70%	46% Autom. 46% Com. L.	Sim	-
Misto: 3 Me	20%	80%	46% Autom. 46% Com. L.	Sim	-
Misto: 4 Me	25%	60%	46% Autom. 46% Com. L.	Sim	-
Misto: 5 Me	25%	70%	46% Autom. 46% Com. L.	Sim	-
Misto: 6 Me	25%	80%	46% Autom. 46% Com. L.	Sim	-

Apêndice B – Cenários para os veículos ciclo Diesel (óleo Diesel e biodiesel)

Cenário	% Biodiesel	Ônibus a etanol	Aumento de EE	Kers (hibridização)
BAU	5%	-	-	-
Grupo 1: EE A	5%	-	21% Com. Leves	-
Grupo 1: EE B	5%	-	34% Com. Leves	-
Grupo 1: EE C	5%	-	47% Com. Leves	Sim
Grupo 1: EE D	5%	-	15% Com. Leves 35% Ônibus	
Grupo 1: EE A₀	5%	Sim	21%	-
Grupo 1: EE B₀	5%	Sim	34%	-
Grupo 1: EE C₀	5%	Sim	47%	Sim
Grupo 1: EE D₀	5%	Sim	15% Com. Leves 35% Ônibus	Sim
Grupo 2: B10	10%	-	-	-
Grupo 2: B15	15%	-	-	-
Grupo 2: B20	20%	-	-	-
Grupo 2: B10₀	10%	Sim	-	-
Grupo 2: B15₀	15%	Sim	-	-
Grupo 2: B20₀	20%	Sim	-	-
Misto: 1 Mb	5%	-	47% Com. Leves 35% Ônibus	Sim
Misto: 2 Mb	10%	-	47% Com. Leves 35% Ônibus	Sim
Misto: 3 Mb	15%	-	47% Com. Leves 35% Ônibus	Sim
Misto: 4 Mb	20%	-	47% Com. Leves 35% Ônibus	Sim

Apêndice C – Projeções de consumo de gasolina A para os Cenários BAU, Grupo 1, Grupo 2 e Misto

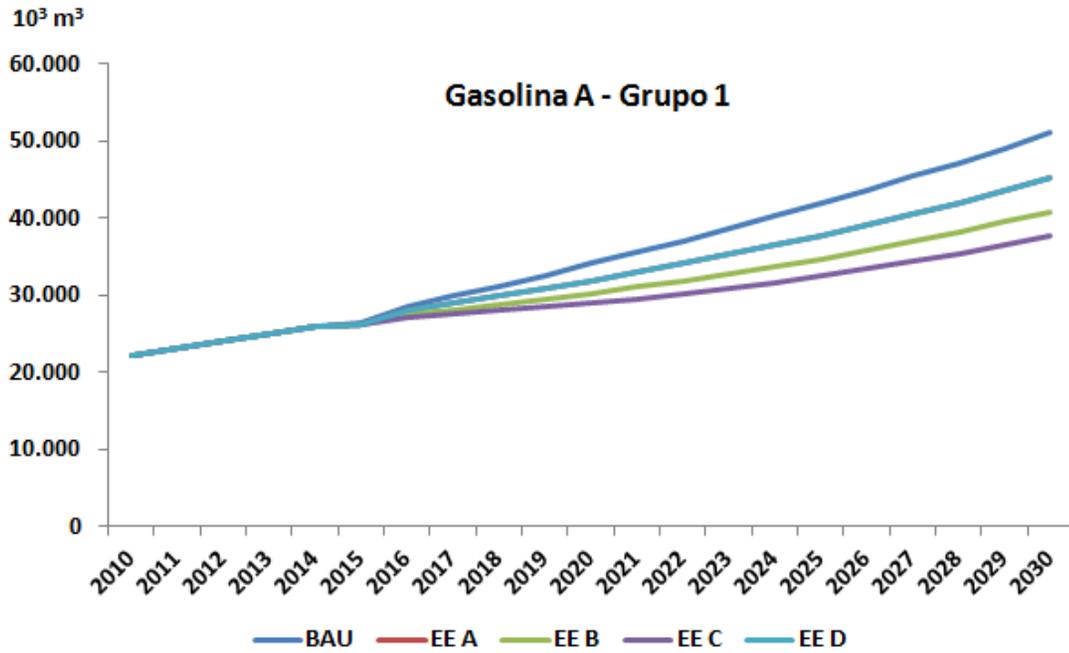


Figura 1

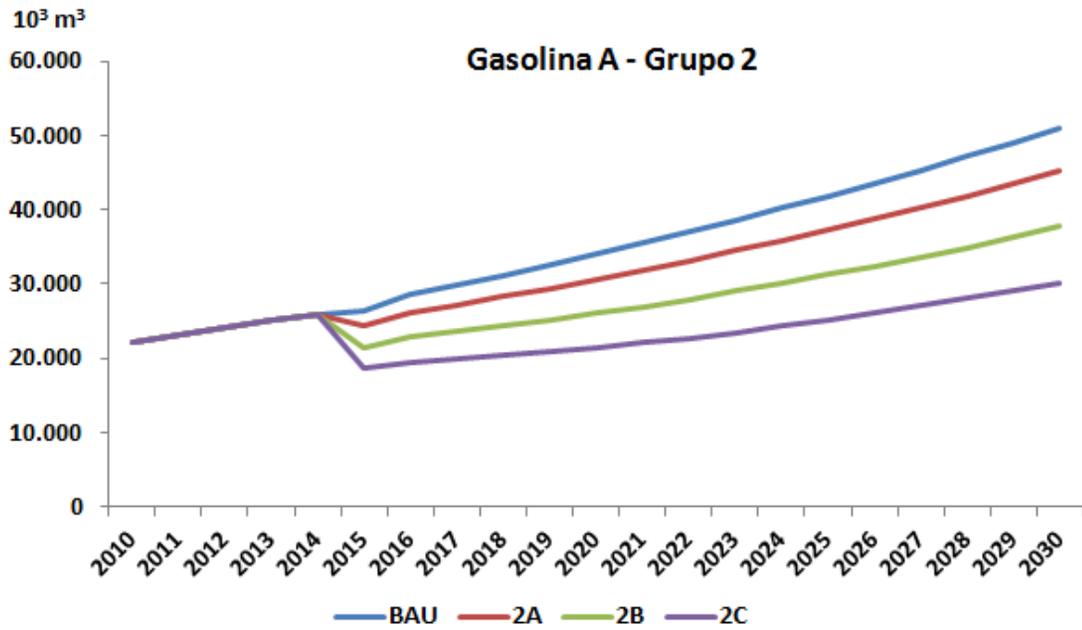


Figura 2

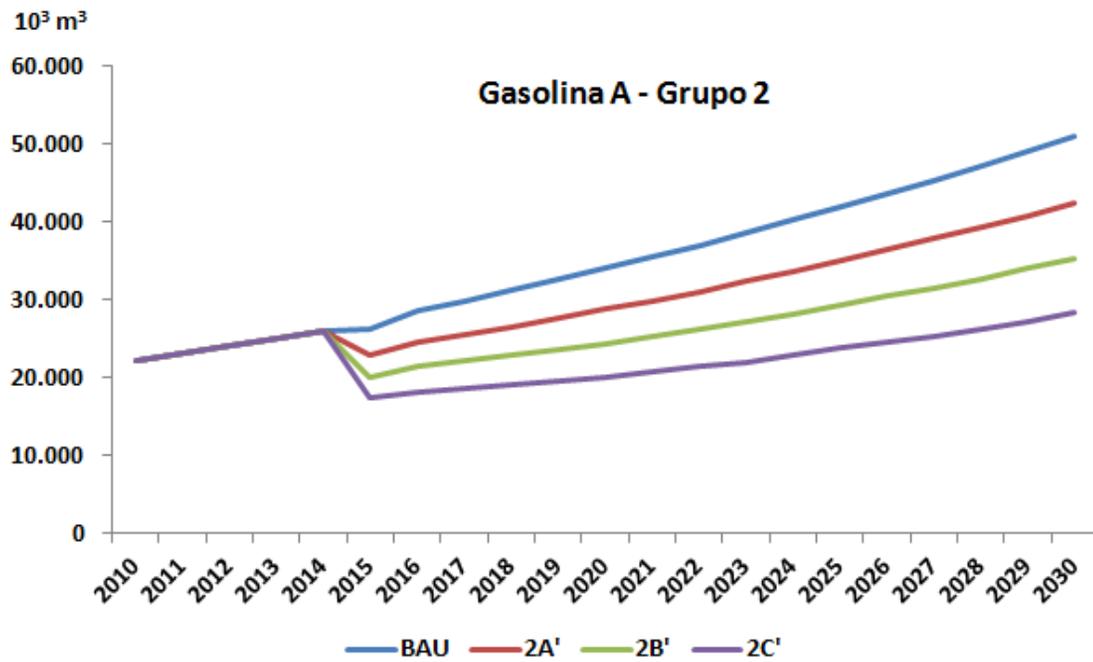


Figura 3

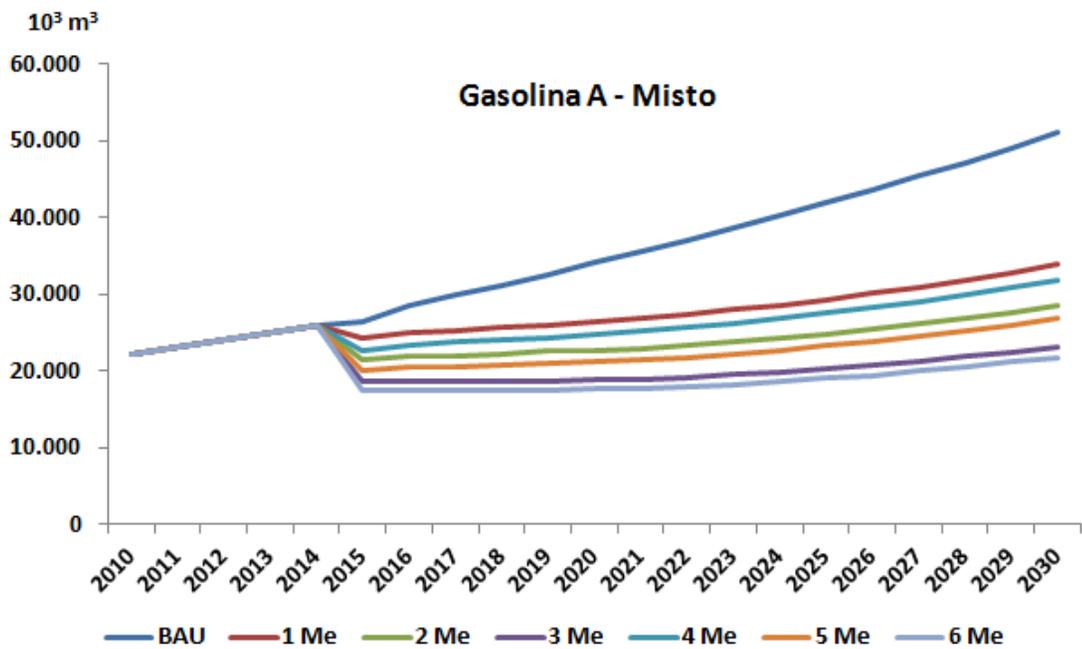


Figura 4

Apêndice D – Projeções de consumo de etanol para os Cenários BAU, Grupo 1, Grupo 2 e Misto

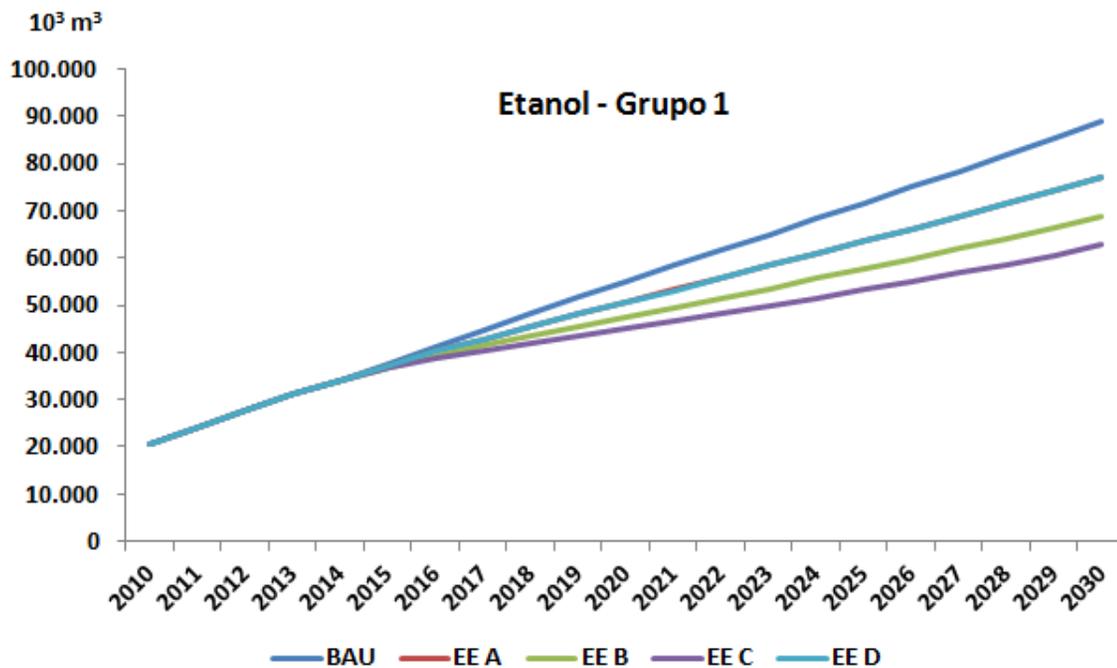


Figura 1

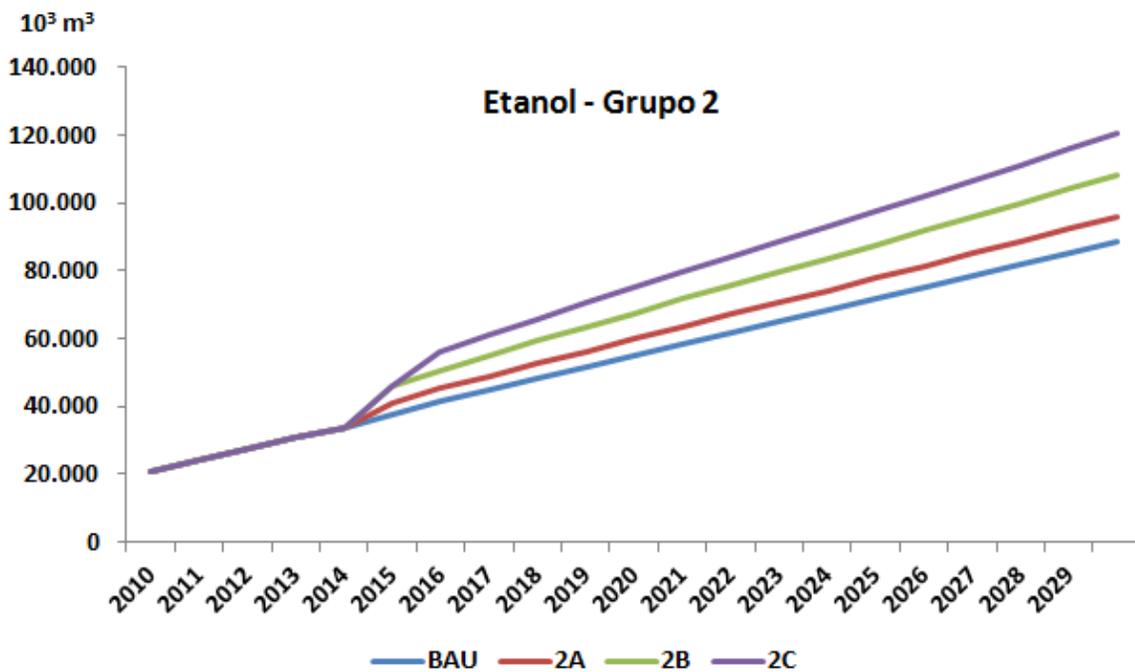


Figura 2

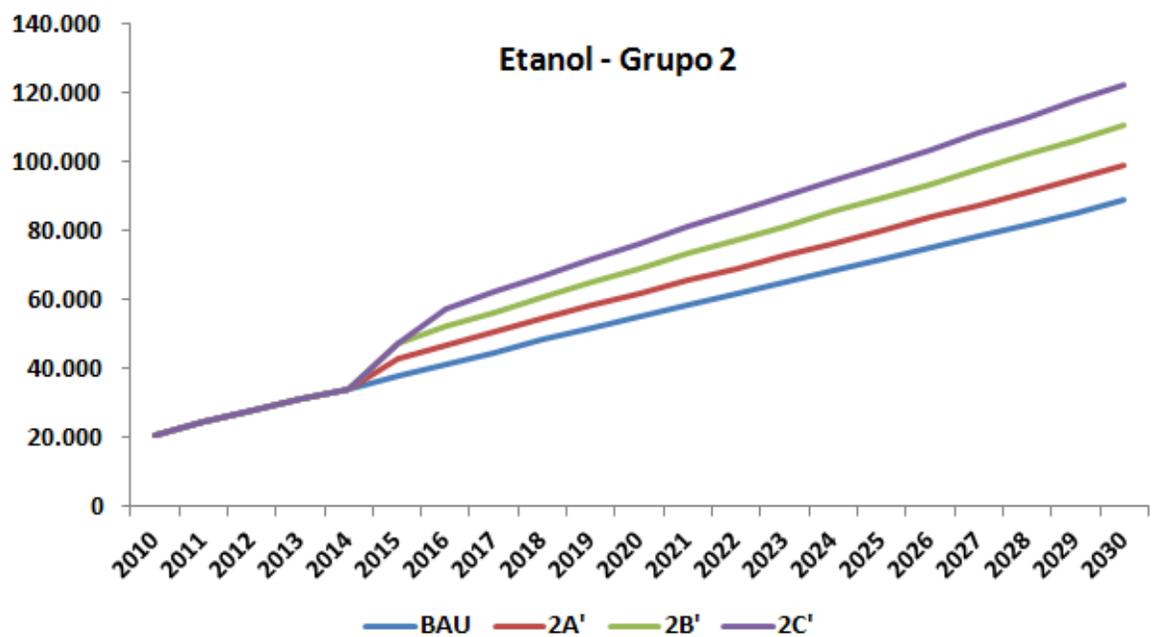


Figura 3

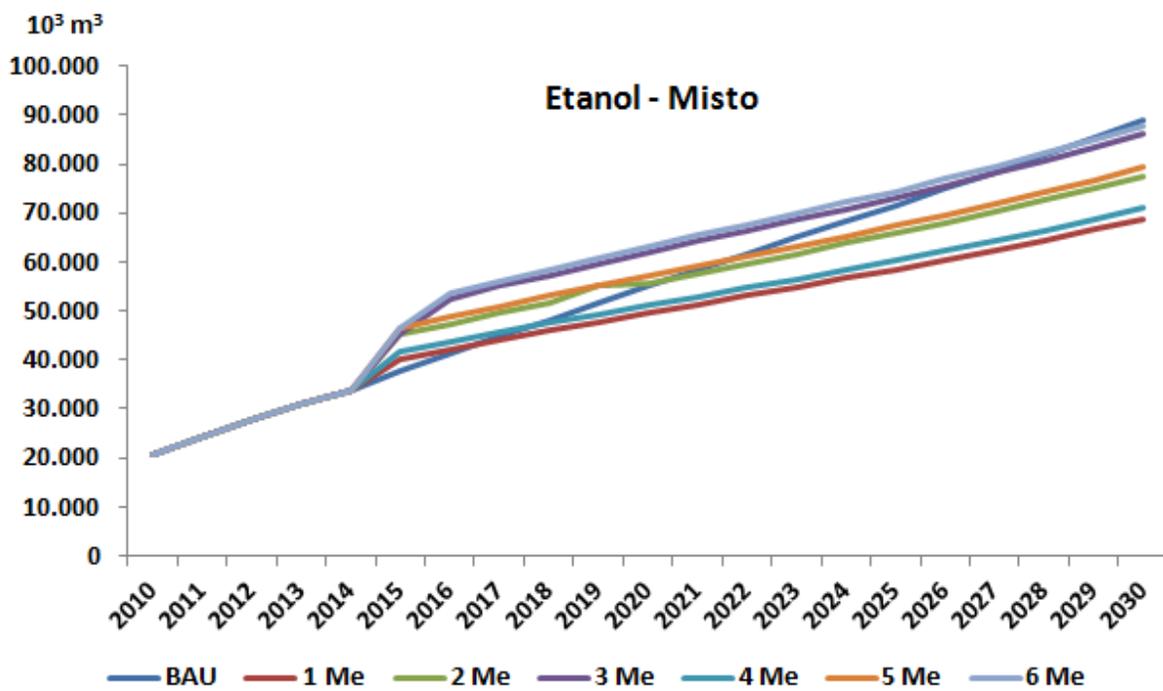


Figura 4

Apêndice E – Projeções de consumo de óleo Diesel para os Cenários BAU, Grupo 1, Grupo 2 e Misto

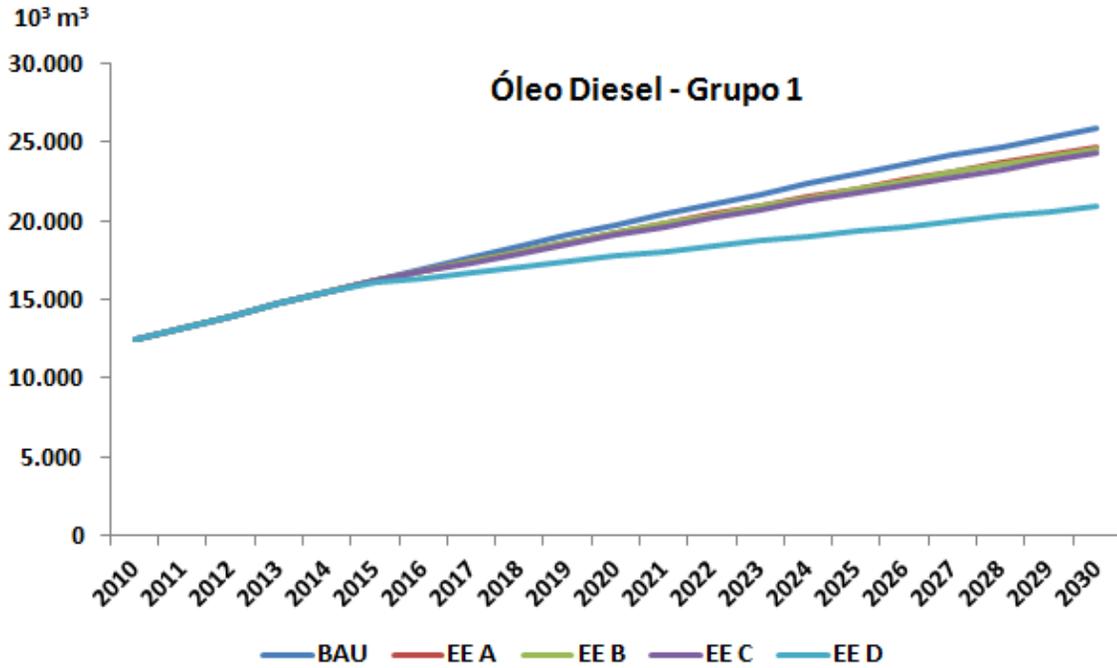


Figura 1

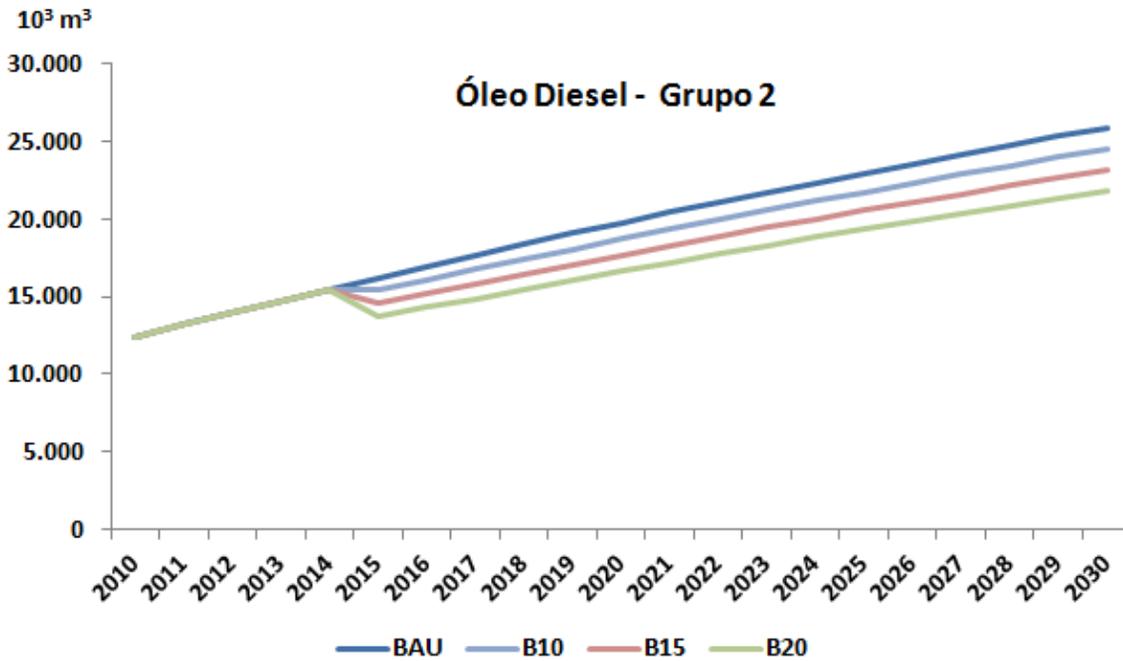


Figura 2

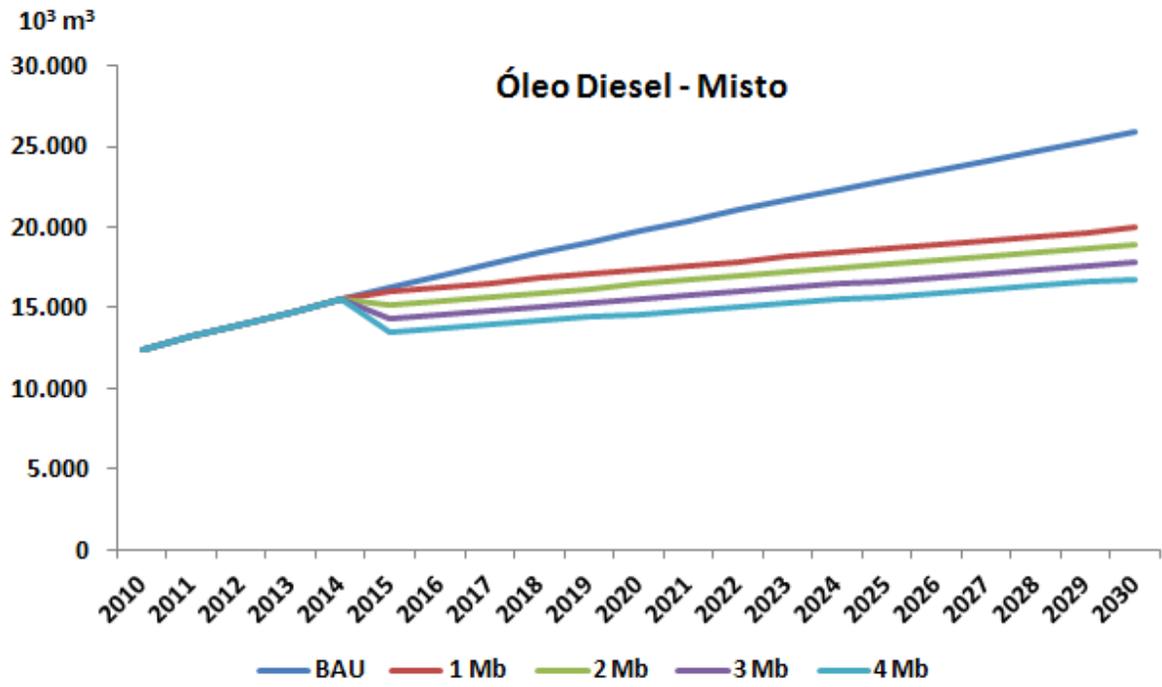


Figura 3

Anexo A – Parametrização das curvas de sucateamento

As curvas de sucateamento de automóveis, veículos comerciais leves, caminhões e ônibus, adotadas neste estudo foram as apresentadas no Relatório de Referência de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, MCT (2006).

Para automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, as curvas adotadas são as utilizadas pelo Serviço de Planejamento da Petrobras, calibradas pelos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 1988). A função de sucateamento resultante é uma função Gompertz e tem as seguintes características:

$$S(t) = 1 - \exp\left(-\exp(a + b(t))\right)$$

Onde:

- **S(t)** é a fração de veículos remanescentes, ainda não sucateados, na idade t;
- **t** é a idade do veículo em anos;
- **a = 1,798** para automóveis; **a = 1,618** para veículos comerciais leves do ciclo Otto;
- **b = - 0,137** para automóveis; **b = - 0,141** para veículos comerciais leves do ciclo Otto.

Para veículos do ciclo Diesel, as curvas de sucateamento foram calibradas a partir de dados de idade média e de frota total de 1997 fornecidos pelo DENATRAN. A função de sucateamento resultante é uma função logística renormalizada:

$$S(t) = \frac{1}{(1 + \exp(a(t - t_0)))} + \frac{1}{(1 + \exp(a(t + t_0)))}$$

Onde:

- **S(t)** é a fração de veículos remanescentes, ainda não sucateados, na idade t;
- **t** é a idade do veículo em anos;
- **t₀ = 15,3** para veículos comerciais leves do ciclo Diesel ; **t₀ = 17,0** para caminhões; e **t₀ = 19,1** para ônibus;
- **a = 0,17** para veículos comerciais leves do ciclo Diesel; **a = 0,10** para caminhões; e **a = 0,16** para ônibus;

No caso das motocicletas, adotou-se a curva de sucateamento utilizada também pelo SINDIPEÇAS (2009), cujas taxas anuais para motocicletas de até 200 cc são 4% nos primeiros 5 anos; 5% do 6º ao 10º ano; 6% do 11º ao 15º ano e; 8% do 16º ano em diante.

Anexo B: Tabela de valores de intensidade de uso de referência, em km/ano

Ano	Autom. Com. L. Otto	Com. L Diesel	Motoc	Ônibus Urbano	Ônibus Rodov.	Caminhões Pesados	Caminhões Médios	Caminhões Leves
0	10.000	10.000	6.000	45.000	125.000	67.500	35.000	8.265
1	19.400	19.600	11.600	88.200	245.000	132.300	68.600	16.199
2	18.800	19.200	11.200	86.400	240.000	129.600	67.200	15.868
3	18.200	18.800	10.800	84.600	235.000	126.900	65.800	15.537
4	17.600	18.400	10.400	82.800	230.000	124.200	64.400	15.207
5	17.000	18.000	10.000	81.000	225.000	121.500	63.000	14.876
6	16.400	17.600	9.600	79.200	220.000	118.800	61.600	14.546
7	15.800	17.200	9.200	77.400	215.000	116.100	60.200	14.215
8	15.200	16.800	8.800	75.600	210.000	113.400	58.800	13.884
9	14.600	16.400	8.400	73.800	205.000	110.700	57.400	13.554
10	14.000	16.000	8.000	72.000	200.000	108.000	56.000	13.223
11	13.400	15.600	7.600	70.200	195.000	105.300	54.600	12.893
12	12.800	15.200	7.200	68.400	190.000	102.600	53.200	12.562
13	12.200	14.800	6.800	66.600	185.000	99.900	51.800	12.232
14	11.600	14.400	6.400	64.800	180.000	97.200	50.400	11.901
15	11.000	14.000	6.000	63.000	175.000	94.500	49.000	11.570
16	10.400	13.600	5.600	61.200	170.000	91.800	47.600	11.240
17	9.800	13.200	5.200	59.400	165.000	89.100	46.200	10.909
18	9.200	12.800	4.800	57.600	160.000	86.400	44.800	10.579
19	8.600	12.400	4.400	55.800	155.000	83.700	43.400	10.248
20	8.000	12.000	4.000	54.000	150.000	81.000	42.000	10.000
21	7.400	11.600	3.600	52.200	145.000	78.300	40.600	10.000
22	6.800	11.200	3.200	50.400	140.000	75.600	39.200	10.000
23	6.200	10.800	2.800	48.600	135.000	72.900	37.800	10.000
24	5.600	10.400	2.400	46.800	130.000	70.200	36.400	10.000
25	5.000	10.000	2.000	45.000	125.000	67.500	35.000	10.000
26	4.400	10.000	2.000	43.200	120.000	64.800	33.600	10.000
27	3.800	10.000	2.000	41.400	115.000	62.100	32.200	10.000
28	3.200	10.000	2.000	39.600	110.000	59.400	30.800	10.000
29	2.600	10.000	2.000	37.800	105.000	56.700	29.400	10.000
30	2.000	10.000	2.000	36.000	100.000	54.000	28.000	10.000
31	2.000	10.000	2.000	34.200	95.000	51.300	26.600	10.000
32	2.000	10.000	2.000	32.400	90.000	48.600	25.200	10.000
33	2.000	10.000	2.000	30.600	85.000	45.900	23.800	10.000
34	2.000	10.000	2.000	28.800	80.000	43.200	22.400	10.000
35	2.000	10.000	2.000	27.000	75.000	40.500	21.000	10.000
36	2.000	10.000	2.000	25.200	70.000	37.800	19.600	10.000
37	2.000	10.000	2.000	23.400	65.000	35.100	18.200	10.000
38	2.000	10.000	2.000	21.600	60.000	32.400	16.800	10.000
39	2.000	10.000	2.000	19.800	55.000	29.700	15.400	10.000
40	2.000	10.000	2.000	18.000	50.000	27.000	14.000	10.000
41	2.000	10.000	2.000	16.200	45.000	24.300	12.600	10.000
42	2.000	10.000	2.000	14.400	40.000	21.600	11.200	10.000
43	2.000	10.000	2.000	12.600	35.000	18.900	10.000	10.000
44	2.000	10.000	2.000	10.800	30.000	16.200	10.000	10.000
45	2.000	10.000	2.000	10.000	25.000	13.500	10.000	10.000
46	2.000	10.000	2.000	10.000	20.000	10.800	10.000	10.000
47	2.000	10.000	2.000	10.000	15.000	10.000	10.000	10.000
48	2.000	10.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
49	2.000	10.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
50	2.000	10.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
51	2.000	10.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
52	2.000	10.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
53	2.000	10.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

Fonte: MMA, 2011.

Anexo C: Frações da frota de veículos *flex fuel* que utilizam gasolina C e etanol hidratado

Com a forte penetração dos automóveis e veículos comerciais leves *flex fuel* no mercado de vendas de veículos novos a partir de 2003, e o surgimento das motocicletas *flex fuel* em 2009, deve ser equacionada no Inventário a questão de em que proporção os veículos *flex fuel* utilizam etanol hidratado (AEH) e em que proporção utilizam gasolina C.

Assume-se que a frota de veículos *flex fuel* pode ser desagregada entre aquela que opta por utilizar gasolina C e aquela que opta por etanol hidratado. Considera-se também que a escolha do combustível pelos consumidores está baseada no preço por quilômetro percorrido de cada alternativa. Adotou-se neste presente estudo, a curva apresentada no Caderno de Bioenergia no estado de São Paulo, Goldemberg et al. (2008), que relacionam o consumo de combustível em veículos *flex fuel* e a razão de preços entre etanol hidratado e gasolina C.

No referido estudo, para determinar a fração efetiva da frota de veículos *flex fuel* operando com etanol hidratado em cada unidade da federação, foram utilizados os dados de consumo de etanol hidratado por unidade da federação, levantados pela ANP, e os dados de frota obtidos junto ao DENATRAN. O consumo de etanol hidratado pela frota existente de veículos dedicados a álcool, bem como sua redução pelo envelhecimento e sucateamento dessa frota, foi obtido assumindo-se a manutenção do comportamento observado no período anterior à existência dos veículos *flex fuel*. A partir dos levantamentos mensais de preços da ANP no período de 2005 a 2007, o estudo comparou a fração média, ponderada pelo número de veículos, da frota de veículos *flex fuel* operando com etanol hidratado em cada unidade da federação com a razão média dos preços dos combustíveis ao consumidor. A Figura, a seguir, resume esses resultados.

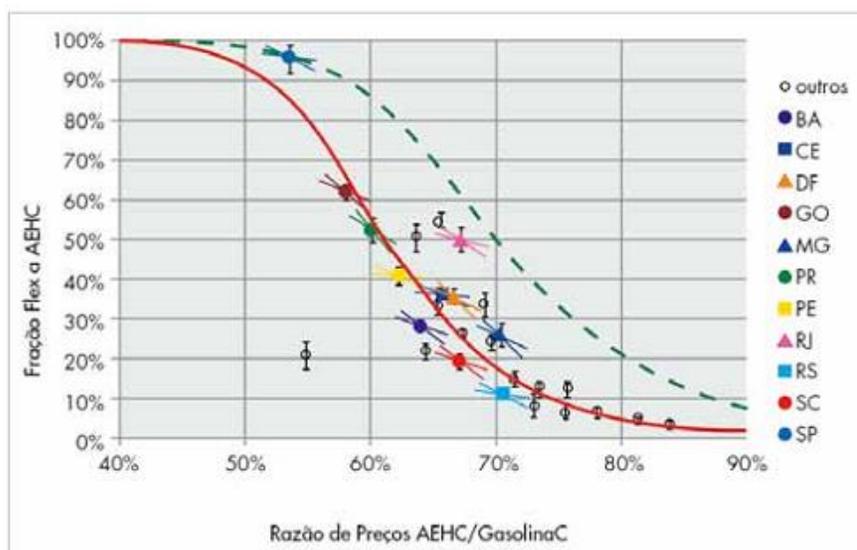


Figura: Fração da frota de veículos flexíveis operando com AEHC em função da relação de preços entre o AEH e a gasolina C, nos postos, em cada unidade da Federação

Fonte: Goldemberg *et al.*, 2008.

Aplicando-se a essa função as razões anuais entre os preços médios nacionais da gasolina C e do etanol hidratado para o ano de 2009, obtém-se a fração nacional dos veículos *flex fuel* que optam pela gasolina C e pelo etanol hidratado, respectivamente 47% e 53%.

A curva contínua (em vermelho) corresponde à função que melhor representa o comportamento brasileiro médio de usar o AEH em veículos leves, em resposta à relação dos preços dos combustíveis. A curva tracejada indica a curva ideal que corresponde a um uso de AEHC por 50% da frota flexível quando a razão de preços por litro entre o AEHC e a gasolina C for a de equilíbrio de autonomia, ou seja, 70%.

O ponto correspondente ao Estado de São Paulo é o único que se encontra sobre esta curva, que poderia ser denominada de curva de resistência zero ao uso de etanol em veículos flexíveis. Observa-se que o país tem em média uma resistência ao uso de etanol de cerca de 9% da razão de preços, o que significa ser necessário que o preço do AEHC seja 61% do preço da gasolina C para que 50% da frota de veículos flexíveis usem AEHC. Dentre os Estados mais significativos em termos de consumo de combustíveis, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Bahia apresentam resistência ao uso de etanol maior que a média do país, no período estudado.

Anexo D – Licenciamento de automóveis novos ciclo Otto no Brasil por ano – 1957 a 2010

Ano	Autom. Gas.	Autom. Etanol	Autom. Flex F.	Com. L. Gas.	Com. L. Etanol	Com. L. Flex	Moto Gas.	Moto Flex F.
2010	132.114	44	2.512.546	148.610	6	363.627	1.482.797	347.817
2009	113.283	58	2.361.423	108.449	12	290.875	1.389.693	189.504
2008	127.896	68	2.065.313	89.125	16	263.934	1.879.695	
2007	186.554	88	1.788.876	59.106	19	214.214	1.600.157	
2006	260.824	1.650	1.293.746	55.737	213	136.588	1.268.041	
2005	609.903	30.904	728.375	87.130	1.453	83.729	1.024.203	
2004	967.235	49.801	278.764	110.710	1.149	49.615	911.717	
2003	1.046.474	33.034	39.095	105.989	3.346	9.083	848.377	
2002	1.181.780	47.366		102.183	8.595		792.429	
2001	1.280.117	14.979		132.303	3.356		692.096	
2000	1.167.164	9.610		143.315	682		574.149	
1999	1.001.996	9.851		120.233	1.096		441.536	
1998	1.210.904	981		177.830	243		460.122	
1997	1.568.803	924		232.885	196		407.430	
1996	1.399.212	6.333		222.756	1.314		275.668	
1995	1.374.265	32.808		183.409	7.898		200.592	
1994	1.007.462	119.203		120.023	22.631		127.395	
1993	675.403	227.289		89.195	36.946		67.997	
1992	431.635	164.840		67.292	30.663		53.450	
1991	468.462	129.139		77.796	21.843		109.168	
1990	462.585	70.250		80.270	11.746		123.169	
1989	220.984	345.598		39.837	53.931		153.617	
1988	64.734	492.010		12.578	74.472		158.671	
1987	23.084	387.176		8.106	71.507		175.613	
1986	53.094	619.290		8.822	77.759		166.160	
1985	23.892	578.177		4.763	67.374		161.378	
1984	28.670	503.565		4.812	61.971		180.000	
1983	70.098	538.401		8.520	40.927		219.000	
1982	344.468	211.761		20.966	20.814		215.767	
1981	318.929	128.679		25.538	7.563		155.572	
1980	566.676	226.352		59.791	14.291		125.000	
1979	826.462	2.271		79.244	843		63.636	
1978	797.942			79.353			41.492	
1977	678.824			69.247			32.791	
1976	695.207			113.522			12.800	
1975	661.332			117.588			5.220	
1974	639.668			116.280				
1973	557.692			105.745				
1972	457.124			89.143				
1971	395.266			71.874				
1970	308.024			65.801				
1969	241.542			61.977				
1968	164.341			65.893				
1967	139.211			54.656				
1966	127.865			58.673				
1965	114.882			46.786				
1964	103.427			51.458				
1963	94.619			53.695				
1962	83.541			66.530				
1961	60.132			55.322				
1960	40.980			48.207				
1959	14.371			41.522				
1958	3.682			26.527				
1957	1.172			9.838				

Fonte: ANFAVEA, 2011; Abraciclo, 2011.

Anexo E – Licenciamento de automóveis novos ciclo Diesel no Brasil por ano – 1957 a 2010

Ano	Com. L Diesel	Ônibus Urbano	Ônibus Rodoviário	Caminhões Pesados	Caminhões Médios	Caminhões Leves
2010	172.001	25.580	2.842	102.501	14.192	41.000
2009	134.642	20.363	2.263	71.417	9.889	28.567
2008	124.639	24.309	2.701	79.527	11.011	31.811
2007	92.175	20.878	2.320	64.024	8.865	25.609
2006	82.954	17.791	1.977	49.568	6.863	19.827
2005	77.453	13.827	1.536	52.217	7.230	20.887
2004	66.247	15.887	1.765	55.724	7.716	22.290
2003	54.729	14.390	1.599	44.279	6.131	17.711
2002	64.341	14.935	1.659	43.215	5.984	17.286
2001	80.432	14.920	1.658	47.786	6.617	19.114
2000	83.062	14.795	1.644	44.910	6.218	17.964
1999	62.433	9.611	1.068	32.932	4.560	13.173
1998	76.465	14.185	1.576	34.299	4.749	13.720
1997	70.857	13.376	1.486	35.705	4.944	14.282
1996	43.521	13.966	1.552	27.387	3.792	10.955
1995	53.898	15.631	1.737	38.171	5.285	15.269
1994	60.132	11.336	1.260	34.012	4.709	13.605
1993	51.417	10.256	1.140	24.906	3.449	9.962
1992	29.732	12.335	1.371	16.636	2.303	6.654
1991	34.913	15.179	1.687	26.870	3.720	10.748
1990	36.415	9.082	1.009	26.771	3.707	10.708
1989	43.612	8.537	949	31.245	4.326	12.498
1988	36.042	11.671	1.297	35.600	4.929	14.240
1987	23.759	9.061	1.007	36.267	5.022	14.507
1986	27.421	7.639	849	45.653	6.321	18.261
1985	26.169	6.427	714	34.936	4.837	13.974
1984	29.183	5.397	600	26.123	3.617	10.449
1983	28.638	5.918	658	21.009	2.909	8.404
1982	43.983	7.241	805	26.141	3.620	10.456
1981	34.899	8.261	918	35.632	4.934	14.253
1980	19.686	10.379	1.153	52.878	7.322	21.151
1979	15.870	10.376	1.153	50.392	6.977	20.157
1978	4.315	10.675	1.186	50.942	7.053	20.377
1977	2.614	10.834	1.204	57.442	7.954	22.977
1976	1.449	9.887	1.099	43.395	6.009	17.358
1975	726	8.038	893	34.808	4.820	13.923
1974	545	6.450	717	27.331	3.784	10.932
1973	573	5.760	640	25.305	3.504	10.122
1972	589	3.800	422	19.787	2.740	7.915
1971	504	3.902	434	14.151	1.959	5.660
1970	589	3.711	412	13.715	1.899	5.486
1969	914	5.064	563	10.969	1.519	4.388
1968	921	6.302	700	9.788	1.355	3.915
1967	648	4.309	479	6.505	901	2.602
1966	859	3.269	363	6.717	930	2.687
1965	979	2.660	296	4.393	608	1.757
1964	2.222	2.362	262	3.563	493	1.425
1963	1.489	2.178	242	3.885	538	1.554
1962	538	3.014	335	4.812	666	1.925
1961	4	2.745	305	3.714	514	1.486
1960	310	3.554	395	6.332	877	2.533
1959	466	2.843	316	6.565	909	2.626
1958		3.000	333	7.353	1.018	2.941
1957		1.714	190	5.269	730	2.108

Fonte: ANFAVEA, 2011.

Anexo F – Comparação entre consumo de combustível estimado e observado pelo modelo proposto – Histórico entre 1980 e 2009

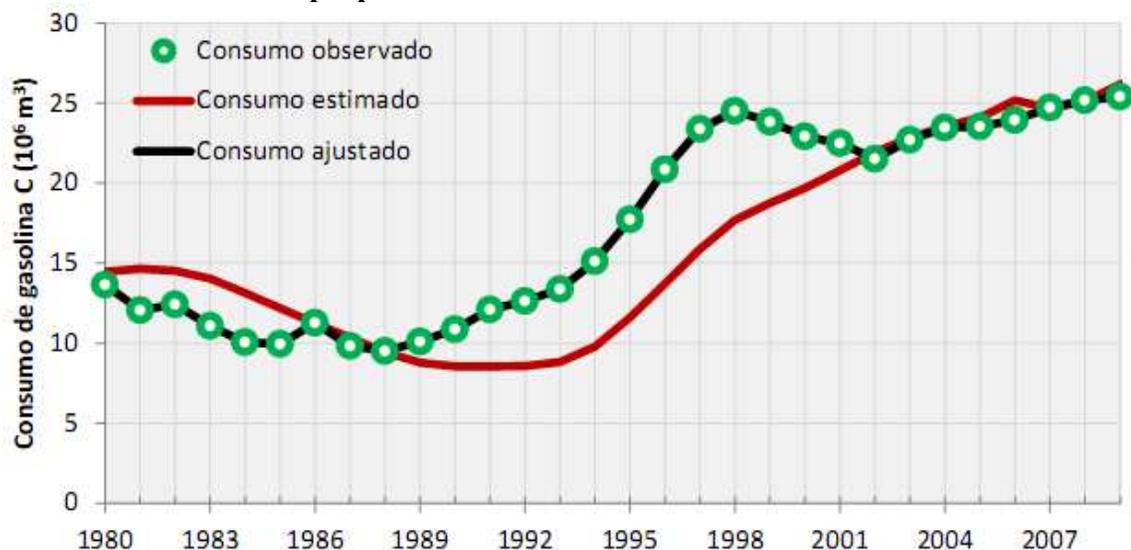


Figura 1: Evolução do consumo nacional de gasolina C no transporte rodoviário

Fonte: MMA, 2011.



Figura 2: Evolução do consumo nacional de etanol hidratado no transporte rodoviário

Fonte: MMA, 2011.

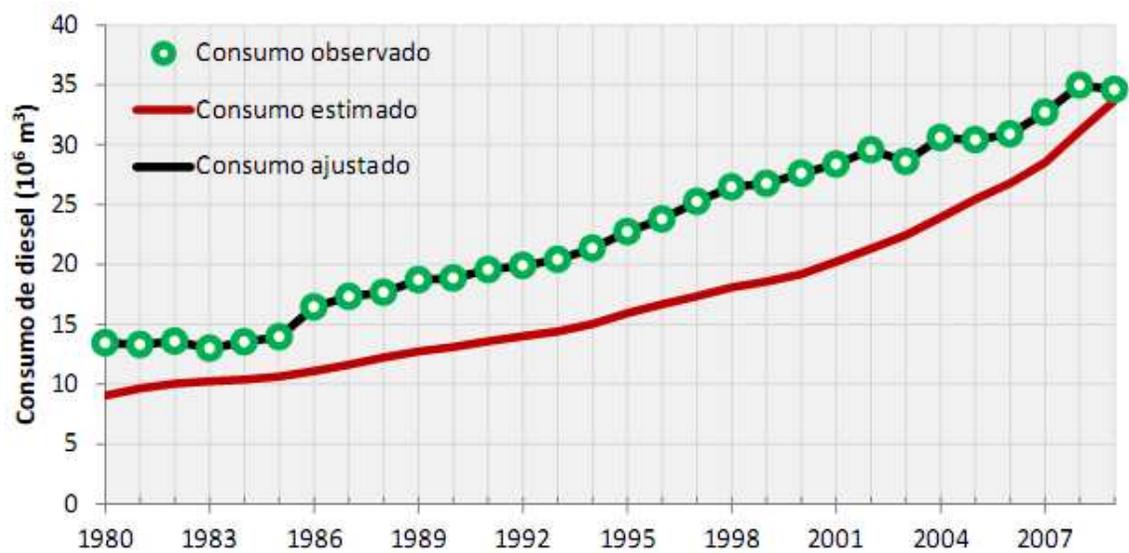


Figura 3: Evolução do consumo nacional de óleo Diesel no transporte rodoviário

Fonte: MMA, 2011.