

METODOLOGIA DE REGIONALIZAÇÃO DO MERCADO DE COMBUSTÍVEIS
AUTOMOTIVOS NO BRASIL

Bruno Soares Moreira Cesar Borba

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO
DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

Prof. Roberto Schaeffer, PhD.

Prof. Giovani Vitória Machado, D.Sc.

Prof. Alexandre Salem Szklo, D.Sc.

Prof.ª Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2008

BORBA, BRUNO SOARES MOREIRA CESAR

Metodologia de Regionalização do Mercado
de Combustíveis Automotivos no Brasil [Rio de
Janeiro] 2008

XVI, 136 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Planejamento Energético, 2008)

Dissertação – Universidade Federal do Rio
de Janeiro, COPPE

1. Projeção do Consumo de Energia
2. Energia e Transportes
3. Transporte Rodoviário

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

À minha mãe, pelo seu amor, pela sua
luta e pela sua determinação para que
tudo isso se tornasse possível.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo eterno amor e apoio incondicional ao longo dessa jornada.

Ao meu irmão, Raphael, que sempre esteve ao meu lado, presente em todos os momentos da minha vida e que, acima de tudo, sempre foi a minha referência de afetividade e força.

Aos meus tios, Mario e Rosi, e ao Lupi, pela amizade, carinho e afeto que sempre foram fundamentais em todos os momentos da minha vida.

À minha afilhada, Mariana, a menininha mais linda que eu já vi, muito obrigado pelos seus sorrisos e pelo seu carinho.

Ao meu primo, Gustavo, agradeço a sua amizade e a sua enorme colaboração neste trabalho.

Aos professores Roberto, Giovani e Alexandre pela oportunidade, apoio e incentivo no desenvolvimento deste projeto.

Aos meus colegas de mestrado e de laboratório agradeço pelas conversas e pelos momentos de descontração. Em especial, agradeço à Raquel, grande amiga e companheira de trabalho, que muito me ajudou na concretização desta dissertação.

Agradeço também, aos meus amigos, em particular Muchinho, Dudu e Vinicius, por terem me atormentado 24 horas por dia ao longo destes dois anos, não me deixando trabalhar um minuto sequer. Obrigado. Sem vocês eu teria ficado maluco.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

METODOLOGIA DE REGIONALIZAÇÃO DO MERCADO DE COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS NO BRASIL

Bruno Soares Moreira Cesar Borba

Fevereiro / 2008

Orientador: Roberto Schaeffer

Programa: Planejamento Energético

Este trabalho desenvolve uma metodologia a ser utilizada para analisar as tendências da demanda de energia e das emissões de dióxido de carbono – CO₂ no setor de transportes rodoviário de oito regiões do Brasil, utilizando como base o módulo de transportes do modelo de projeção de consumo de combustível da Agência Internacional de Energia. As regiões consideradas para a construção do modelo são as regiões Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo. Este modelo permite criar dois diferentes cenários, referência e alternativo, para a projeção de longo prazo do consumo de energia e das emissões de CO₂ no setor rodoviário do país de forma regionalizada.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

REGIONALIZATION METHODOLOGY OF MOTOR FUELS IN BRAZILIAN
MARKET

Bruno Soares Moreira Cesar Borba
February / 2008

Advisor: Roberto Schaeffer

Department: Energy Planning

This work develops a methodology to analyze trends in regional energy demand and carbon dioxide – CO₂ emissions from road transport in Brazil. It uses, as a basis, the transportation module of the fuel consumption projection model from the International Energy Agency – IEA. The regions analyzed in order to build the model are North, Northeast, South and Mid-West regions, and the states of Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo and Espírito Santo. The model allows for the creation of two different scenarios, a reference scenario and a alternative scenario, that project energy consumption and the CO₂ emissions of the country's road sector on a regionalized way in the long term.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO.....	3
1.2 ESTRUTURA	4
2 CONSUMO DE ENERGIA FINAL NO SETOR DE TRANSPORTES	6
2.1 CONTEXTO HISTÓRICO	6
2.2 ESTADO SETORIAL DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO NO BRASIL.....	10
2.2.1 Transporte Rodoviário de Passageiros	14
2.2.2 Transporte Rodoviário de Carga	17
2.3 IMPACTOS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO.....	19
3 METODOLOGIA	21
3.1 ESTADO DA ARTE DAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS.....	22
3.2 ESTRUTURA BÁSICA DO MODELO DESENVOLVIDO.....	24
3.2.1 Modelo da Agência Internacional de Energia	25
3.2.2 Especificação do Modelo Desenvolvido	26
3.2.2.1 <i>Construção do Ano Base</i>	29
3.3 PROCEDIMENTO E HIPÓTESES DE TRABALHO	33
3.3.1 Regionalização do Brasil.....	33
3.3.2 Frota de veículos	35
3.3.2.1 – <i>Veículos Leves</i>	37
3.3.3 Desempenho Energético.....	43
3.3.3.1 <i>Veículos Leves</i>	44
3.3.4 Quilometragem Média Percorrida	49
3.3.4.1 <i>Veículos Leves</i>	51
3.3.5 Fator de Capacidade	52
3.3.6 Efeito Atividade	53
3.3.7 Emissões de Dióxido de Carbono	54
3.3.8 Consumo Energético	55
4 CENÁRIO REFERÊNCIA DO CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RODOVIÁRIO	58

4.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PASSAGEIROS	58
4.1.1 Veículos Leves	59
4.1.1.1 <i>Premissas de Evolução da Frota</i>	59
4.1.1.2 <i>Premissas de Evolução da Quilometragem Média</i>	69
4.1.1.3 <i>Premissas de Evolução do Desempenho Energético</i>	71
4.1.1.4 <i>Premissas de Evolução do Fator de Capacidade</i>	76
4.1.2 Motos	76
4.1.2.1 <i>Premissas de Evolução da Frota</i>	76
4.1.2.2 <i>Premissas de Evolução da Quilometragem Média</i>	77
4.1.2.3 <i>Premissas de Evolução do Desempenho Energético</i>	77
4.1.2.4 <i>Premissas de Evolução do Fator de Capacidade</i>	77
4.1.3 Ônibus	77
4.1.3.1 <i>Premissas de Evolução da Frota</i>	78
4.1.3.2 <i>Premissas de Evolução da Quilometragem Média</i>	79
4.1.3.3 <i>Premissas de Evolução do Desempenho Energético</i>	79
4.1.3.4 <i>Premissas de Evolução do Fator de Capacidade</i>	81
4.2 TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA	81
4.2.1 Caminhões.....	82
4.2.1.1 <i>Premissas de Evolução da Frota</i>	82
4.2.1.2 <i>Premissas de Evolução da Quilometragem Média</i>	83
4.2.1.3 <i>Premissas de Evolução do Desempenho Energético</i>	83
4.2.1.4 <i>Premissas de Evolução do Fator de Capacidade</i>	83
4.3 PROJEÇÕES DO SETOR RODOVIÁRIO	83
4.3.1 Efeito Atividade	83
4.3.2 Emissão de Dióxido de Carbono	85
4.3.3 Consumo de Combustíveis.....	86
4.3.3.1 <i>Região Norte</i>	89
4.3.3.2 <i>Região Nordeste</i>	89
4.3.3.3 <i>Região Centro-Oeste</i>	90
4.3.3.4 <i>Região Sul</i>	91

4.3.3.5 São Paulo	92
4.3.3.6 Rio de Janeiro	93
4.3.3.7 Minas Gerais.....	94
4.3.3.8 Espírito Santo.....	95
5 CENÁRIO ALTERNATIVO DO CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RODOVIÁRIO.....	97
5.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PASSAGEIROS	98
5.1.1 Veículos Leves	98
5.1.1.1 <i>Premissas de Evolução da Quilometragem Média</i>	98
5.1.1.2 <i>Premissas de Evolução do Desempenho Energético</i>	100
5.1.1.3 <i>Premissas de Evolução do Fator de Capacidade</i>	102
5.1.2 Ônibus	103
5.1.2.1 <i>Premissas de Evolução da Frota</i>	103
5.1.2.2 <i>Premissas de Evolução do Desempenho Energético</i>	104
5.2 TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA	106
5.2.1 Caminhões.....	106
5.2.1.1 <i>Premissas de Evolução da Frota</i>	106
5.2.1.2 <i>Premissas de Evolução do Desempenho Energético</i>	108
5.2.1.3 <i>Premissas de Evolução do Fator de Capacidade</i>	108
5.3 PROJEÇÕES DO SETOR RODOVIÁRIO	108
5.3.1 Efeito Atividade	108
5.3.2 Emissão de Dióxido de Carbono	110
5.3.3 Consumo de Combustíveis.....	112
5.3.3.1 <i>Região Norte</i>	114
5.3.3.2 <i>Região Nordeste</i>	115
5.3.3.3 <i>Região Centro-Oeste</i>	115
5.3.3.4 <i>Região Sul</i>	116
5.3.3.5 São Paulo	117
5.3.3.6 Rio de Janeiro	118
5.3.3.7 Minas Gerais.....	119
5.3.3.8 Espírito Santo.....	120

5.4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	121
6 CONCLUSÃO	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Principais Modos Utilizados por Classe Econômica em 2006	16
Figura 3-1 – Fluxograma Veículos Leves – VL a Gasolina.....	30
Figura 3-2 – Fluxograma Veículos Leves – VL a Álcool, Diesel e Flex-Fuel.....	31
Figura 3-3 – Fluxograma Ônibus	32
Figura 3-4 – Fluxograma Caminhão	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1 – Consumo Final Energético dos Setores Produtivos do Brasil	7
Gráfico 2-2 – Consumo Mundial de Petróleo por Setor (Energia Final)	8
Gráfico 2-3 – Consumo de Energia Final no Setor de Transporte Nacional por Modal	9
Gráfico 2-4 – Estrutura do Uso de Energia Final no Setor Automotivo Brasileiro.....	10
Gráfico 2-5 – Condição de Pavimentação e Sinalização das Rodovias Pavimentadas no Brasil	13
Gráfico 3-1 – Curva de Sucateamento de Veículos Leves Estimada	39
Gráfico 3-2 – Vida Média da Frota de Veículos Leves.....	40
Gráfico 3-3 – Relação de Preços Álcool x Gasolina em 2004	41
Gráfico 3-4 – Desempenho Médio dos Veículos Leves a Gasolina no Período de 1990 - 2004.	45
Gráfico 3-5 – Desempenho Médio dos Veículos Leves a Gasolina e Participação dos Veículos 1.0 nas Vendas Internas de Automóveis	47
Gráfico 3-6 – Efeito Atividade no Transporte de Passageiros (2004).....	53
Gráfico 3-7 – Efeito Atividade no Transporte de Carga (2004).....	54
Gráfico 3-8 – Participação Regional nas Emissões de CO ₂ do Setor Automotivo (2004).....	55
Gráfico 3-9 – Consumo Energético por Regiões por Tipo de Combustível (2004)	56
Gráfico 4-1 – Projeção das Vendas de Veículos Leves por Região (Milhões de Veículos)	64
Gráfico 4-2 – Projeção da Frota de Veículos Leves por Região (Milhões de Veículos)	66
Gráfico 4-3 – Projeção da Frota de Veículos Leves no Brasil por Tipo de Combustível (Milhões de Veículos)	67
Gráfico 4-4 – Preço Médio da Gasolina C e do Álcool Hidratado no País	68
Gráfico 4-5 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Veículos Leves a Gasolina.....	75
Gráfico 4-6 – Projeção da Frota de Motos por Região (Milhões de Veículos)	77
Gráfico 4-7 – Projeção da Frota de Ônibus por Região (Mil Veículos).....	78
Gráfico 4-8 – Projeção da Frota de Microônibus por Região (Mil Veículos).....	79
Gráfico 4-9 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Ônibus por Região	80
Gráfico 4-10 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Microônibus por Região	81
Gráfico 4-11 – Projeção da Frota de Caminhões Grandes por Região (Mil Veículos)	82

Gráfico 4-12 – Projeção da Atividade Veicular de Passageiros Nacional	84
Gráfico 4-13 – Projeção da Atividade Veicular de Carga Nacional	84
Gráfico 4-14 – Projeção das Emissões de CO ₂ Nacional.....	85
Gráfico 4-15 – Projeção das Emissões de CO ₂ por Região.....	86
Gráfico 4-16 – Projeção do Consumo Energético Nacional	88
Gráfico 4-17 – Projeção do Consumo Energético – Região Norte	89
Gráfico 4-18 – Projeção do Consumo Energético – Região Nordeste	90
Gráfico 4-19 – Projeção do Consumo Energético – Região Centro-Oeste	91
Gráfico 4-20 – Projeção do Consumo Energético – Região Sul	92
Gráfico 4-21 – Projeção do Consumo Energético – São Paulo.....	93
Gráfico 4-22 – Projeção do Consumo Energético – Rio de Janeiro.....	94
Gráfico 4-23 – Projeção do Consumo Energético – Minas Gerais	95
Gráfico 4-24 – Projeção do Consumo Energético – Espírito Santo	96
Gráfico 5-1 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Veículos Leves a Gasolina...	102
Gráfico 5-2 – Projeção da Atividade Veicular de Passageiros Nacional	109
Gráfico 5-3 – Projeção da Atividade Veicular de Carga Nacional	110
Gráfico 5-4 – Projeção das Emissões de CO ₂ Nacional.....	111
Gráfico 5-5 – Projeção das Emissões de CO ₂ por Região.....	112
Gráfico 5-6 – Projeção do Consumo Energético Nacional	113
Gráfico 5-7 – Projeção do Consumo Energético – Região Norte	114
Gráfico 5-8 – Projeção do Consumo Energético – Região Nordeste	115
Gráfico 5-9 – Projeção do Consumo Energético – Região Centro-Oeste	116
Gráfico 5-10 – Projeção do Consumo Energético – Região Sul	117
Gráfico 5-11 – Projeção do Consumo Energético – São Paulo.....	118
Gráfico 5-12 – Projeção do Consumo Energético – Rio de Janeiro.....	119
Gráfico 5-13 – Projeção do Consumo Energético – Minas Gerais	120
Gráfico 5-14 – Projeção do Consumo Energético – Espírito Santo	121
Gráfico 5-15 – Projeção do Consumo Energético no Brasil	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Malha Rodoviária Nacional em 2005	11
Tabela 2-2 – Investimentos em Infra-Estrutura Previstos no PAC (Milhões de Reais)	14
Tabela 2-3 – Habitantes por Automóveis.....	17
Tabela 3-1 – Resumo dos Dados do Modelo	26
Tabela 3-2 – Características Geopolíticas das Regiões do Brasil	33
Tabela 3-3 – Caracterização Regional do PIB do Brasil em 2004.....	34
Tabela 3-4 – Frota de Veículos por Tipo em 2004 (10 ³ veículos)	36
Tabela 3-5 – Taxa de Motorização e Densidade Ocupacional dos Veículos em 2004	37
Tabela 3-6 – Tempo de Utilização de Álcool nos Carros Flex-Fuels	41
Tabela 3-7 – Distribuição da Frota de Veículos Leves por Tipo de Combustível em 2004	43
Tabela 3-8 – Desempenho Energético Médio da Frota de Veículos Leves por Estado (2004)...	48
Tabela 3-9 – Distância Média Percorrida Pelos Ônibus por Região (2004)	50
Tabela 3-10 – Distância Média Percorrida Pelos Caminhões Dentro de Cada Região (2004) ...	50
Tabela 3-11 – Distância Média Percorrida Pelos Veículos Leves por Região (2004)	51
Tabela 3-12 – Consumo de Combustíveis por Regiões (2004) (Milhões de litros)	56
Tabela 4-1 – Taxa de Crescimento Médio Anual do PIB (%)	60
Tabela 4-2 – Projeção do PIB das Regiões (Bilhões de Reais).....	61
Tabela 4-3 – Projeção da População das Regiões (Milhões de Habitantes).....	62
Tabela 4-4 – Projeção do PIB per Capita das Regiões (Mil Reais por Habitante).....	63
Tabela 4-5 – Participação dos VL por Tipo de Combustível em Cada Região – 2030 (%).....	67
Tabela 4-6 – Distância Média Percorrida pelos Veículos Leves (Exceto a GNV).....	70
Tabela 4-7 – Distância Média Percorrida pelos Veículos a GNV	71
Tabela 4-8 – Velocidade Urbana dos Veículos Leves por Região em 2004	72
Tabela 4-9 – Quilometragem Média Urbana dos Veículos Leves por Viagem em 2004.....	73
Tabela 4-10 – Projeção da Velocidade Média Urbana dos Veículos Leves por Viagem.....	74
Tabela 4-11 – Projeção do Consumo de Combustíveis no Brasil (Milhões de litros).....	87

Tabela 5-1 – Projeção da Quilometragem Média Urbana dos Veículos Leves por Viagem Exceto a GNV	99
Tabela 5-2 – Projeção da Distância Média Percorrida pelos Veículos Leves Exceto a GNV (km/ano)	100
Tabela 5-3 – Projeção da Velocidade Média Urbana dos Veículos Leves.....	101
Tabela 5-4 – Projeção da Frota de Ônibus (Mil Veículos).....	104
Tabela 5-5 – Projeção da Frota de Microônibus (Mil Veículos).....	104
Tabela 5-6 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Ônibus (km/l)	105
Tabela 5-7 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Microônibus (km/l)	106
Tabela 5-8 – Projeção da Frota de Caminhão Grande (Mil Veículos)	107
Tabela 5-9 – Projeção da Frota de Caminhão Pequeno (Mil Veículos)	107
Tabela 5-10 – Projeção do Consumo de Combustíveis no Brasil (Milhões de litros).....	113

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Os meios de transportes são responsáveis pela movimentação de bens e pessoas tendo um papel fundamental nas sociedades. Seu desempenho provoca impactos amplos e profundos sobre o sistema sócio-econômico, influenciando, de forma estratégica, o progresso de uma nação.

A importância do setor de transportes fica bastante clara quando relacionada a índices de crescimento econômico, como, por exemplo, renda *per capita* ou Produto Interno Bruto – PIB de um país. O trabalho de SCHAFER e VICTOR (2000) relaciona, baseado em uma série histórica, a renda *per capita* e o volume de deslocamentos motorizados de diversos países, mostrando ser evidente a relação positiva entre enriquecimento e mobilidade.

Ainda sobre a mesma perspectiva, o IMF (2005) apresenta, de forma objetiva, que a posse de veículos por habitante começa a crescer rapidamente quando os países alcançam uma renda de aproximadamente U\$2.500 *per capita* em termos da paridade de poder de compra. O rápido crescimento se mantém até que a renda alcance um valor de aproximadamente U\$10.000 *per capita*. O nível de saturação fica em torno de 0,850 veículos por habitante.

A inquestionável importância dos meios de transportes se choca com o seu alto consumo de energia, dando a este setor um lugar de destaque no planejamento energético e de desenvolvimento de um país. Atualmente, o setor caracteriza-se pela forte concentração nos derivados de petróleo como fonte de energia e numa distribuição modal desbalanceada em favor do transporte rodoviário. De acordo com IEA (2006b), cerca de 95% do consumo mundial de energia no setor de transportes se dá na forma de derivados de petróleo. Já no Brasil, esta relação é de 84,5%, com destaque para a gasolina e o óleo diesel, visto que 12,5% representam o consumo de etanol (MME, 2006).

Um fator preocupante em relação à dependência do setor de transporte ao petróleo é a acelerada degradação ambiental devida, basicamente, à queima de combustíveis fósseis e à consequente geração de poluentes gasosos para a atmosfera. Estes poluentes causam danos em nível local, como a qualidade do ar em cidades, comprometendo a saúde

humana. E em nível regional, no caso da chuva ácida e, ainda, em escala mundial, como o efeito estufa, que tem como consequência o aquecimento global (RIBEIRO, 2000).

As emissões de dióxido de carbono – CO₂, principal Gás de Efeito Estufa – GEE produzido pelo homem, têm crescido a taxas elevadas. Em 2004, o setor de transportes contribuiu com 20% do total das emissões de CO₂ antropogênicas, sendo o modal rodoviário o principal responsável por essas emissões¹ (IPCC, 2007).

Sendo assim, a utilização de fontes alternativas de energia, como o álcool combustível e o gás natural, a valorização de modais menos intensivos em energia e a eficientização da frota de automóveis são exemplos de medidas a serem tomadas a fim de se buscar uma maior eficiência no uso da energia e de tornar o desenvolvimento menos dependente do petróleo.

Porém, como destaca MORAES (2005), a maior penetração de mudanças capazes de alterar os padrões e estruturas vigentes no setor de transporte depende de diversos fatores políticos e econômicos, sendo necessário um grande e persistente esforço de planejamento de longo prazo. Isso ocorre devido às inúmeras vantagens do petróleo que, dentre outras, possui alta densidade energética, baixo custo e uma indústria com vasta infra-estrutura mundial de transporte, distribuição e revenda (SZKLO e SCHAEFFER, 2006).

Soma-se a isto o fato de o setor de transportes caracterizar-se por equipamentos de longa duração. Um típico automóvel de passageiro, por exemplo, dura 15 anos ou mais (MEYER, 2001). Por outro lado, a incorporação de uma nova tecnologia na linha de produção de uma fábrica requer adaptações e investimentos que não ocorrem no curto prazo (GREENE e SCHAFER, 2003).

Um aspecto a ser considerado é que os países em desenvolvimento, como o Brasil, não possuem sistemas de transportes maduros e devem experimentar um crescimento relevante nos próximos anos. Esse fato confere a estes países, por um lado, o risco de tornar a movimentação de passageiros e cargas ainda mais intensiva em energia e poluidora e, por outro, a oportunidade de realizar uma expansão com qualidade e eficiência.

¹ Em 2004, as emissões de CO₂ do setor de transporte atingiram o valor de 5,3 Giga-toneladas (IEA, 2006b), dos quais 73% foram no segmento rodoviário (IPCC, 2007).

Torna-se evidente, então, a importância de se conhecer as características e peculiaridades do sistema de transportes brasileiro e planejar seu desenvolvimento, a fim de que seja identificada a melhor alternativa para a evolução do setor.

1.1 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver uma metodologia de projeção da demanda energética do setor de transporte rodoviário para oito regiões do país (Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo), seguindo como base o módulo de transportes do modelo de projeção de consumo de combustível da Agência Internacional de Energia².

A regionalização da demanda consiste em um insumo relevante para estudos de logística de distribuição de combustíveis e mesmo de expansão do parque de refino, tendo em vista o perfil dos empreendimentos (magnitude da capacidade instalada, unidades de processamento e tratamento em função dos cortes de produtos alvo) e sua própria localização.

Este modelo permite simular dois diferentes cenários para a evolução das emissões de CO₂ e da demanda de combustíveis automotivos no Brasil, desagregando esta segundo as diferentes regiões do país. Todavia, face à atual carência de dados do setor, esta simulação ainda não pode ser feita de maneira precisa. Assim, apenas para exemplificar o potencial do modelo desenvolvido, são criados dois cenários, em um horizonte de 25 anos (2005 a 2030), para a evolução da demanda energética e das emissões de CO₂ no setor rodoviário das oito regiões consideradas do país.

O primeiro cenário, denominado de cenário referência, apresenta características de base de mercado, sem maiores mudanças qualitativas e que mantém o ritmo natural de incorporação de tecnologia e evolução de cotas de mercado dos combustíveis. No segundo cenário, cenário alternativo, busca-se incorporar programas, políticas públicas, ações e estratégias que podem ser desenvolvidas no setor de transporte com o objetivo

² Modelo de transporte global desenvolvido em planilha Excel – *SMP Spreadsheet Model*. Trata-se de um modelo “bottom-up”, paramétrico, técnico-econômico, de simulação da demanda de combustível pelo setor de transportes para 11 regiões do mundo até o ano 2050.

de se reduzir o consumo energético do país, focado em dois pontos principais: eficientização da frota e incentivo ao transporte público.

Devido à importância do segmento rodoviário na matriz de transporte nacional, este modelo não aborda o crescimento e a participação dos outros modos de transporte (ferroviário, hidroviário, aerooviário, etc.). Ou seja, este estudo foca no potencial de redução do consumo de energia e das emissões de GEE somente com a reestruturação do segmento automotivo do país.

1.2 ESTRUTURA

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, cujo conteúdo é apresentado de forma sintética a seguir:

No primeiro capítulo, expõem-se um breve contexto mundial e brasileiro da importância do setor de transporte, os principais objetivos do trabalho, e indica-se como a tese foi estruturada.

No capítulo dois, em função da relevância do consumo nacional de combustíveis automotivos, delineiam-se o histórico e a situação atual do consumo energético e das emissões de dióxido de carbono do setor apresentando, de forma objetiva, o estado setorial do transporte rodoviário no país.

No terceiro capítulo analisa-se o modelo de projeção de consumo de combustíveis da Agência Internacional de Energia, e apresenta-se a metodologia desenvolvida para simulação do consumo de energia e das emissões de dióxido de carbono no setor de transportes rodoviário brasileiro. Neste capítulo, também se descrevem as informações requeridas e os dados levantados para calibrar o modelo utilizado no Brasil no ano de 2004 (ano base da simulação).

Posteriormente, a título de exemplificação, elaboram-se dois cenários para a evolução do consumo energético do setor automotivo: um cenário com características de base de mercado, sem maiores mudanças qualitativas no setor rodoviário, e um cenário alternativo, que considera mudanças qualitativas estruturais do setor e que aceleram o

ritmo de incorporação de tecnologia de combustíveis ambientalmente menos danosos. As projeções obtidas nestes dois cenários são apresentadas nos capítulos quatro e cinco.

Finalmente, no capítulo seis, são apresentados os resultados obtidos com esta simulação hipotética, bem como os obstáculos e desafios enfrentados durante o desenvolvimento da metodologia. Sugestões para trabalhos futuros também são apresentadas neste capítulo.

CAPÍTULO 2 – CONSUMO DE ENERGIA FINAL NO SETOR DE TRANSPORTES

Este capítulo apresenta questões associadas ao consumo de energia e às emissões de dióxido de carbono no setor de transportes no Brasil e no mundo, além de mostrar a evolução do consumo de energia neste setor, nos últimos anos. Descreve ainda, de forma sintética, o estado da arte do transporte rodoviário, apresentando algumas características do transporte de passageiros e de carga no Brasil.

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

O setor de transportes é essencial para o desenvolvimento de um país visto que garante o acesso aos insumos, no caso das indústrias, aos bens de consumo, por parte dos consumidores, e permite o desenvolvimento do comércio exterior. Qualquer nação fica literalmente paralisada se houver interrupção de seu sistema de transportes (SCHAEFFER *et al.*, 2004). Além de trazer benefícios para a sociedade e a economia o transporte também é responsável por alguns efeitos impactantes, como destaca ALMEIDA (2006), relacionados ao enorme consumo de energia, de recursos financeiros, de bens materiais e de serviços. Embora estes consumos estimulem a economia, verifica-se o esgotamento de recursos naturais, a poluição do meio ambiente e impactos na saúde humana causados pelos resíduos de sua produção e uso.

Segundo IEA (2006b), o consumo mundial de energia final no setor de transporte aumentou 37% no período de 1990 a 2004, passando para 1.969 Mtep. Com isto, a participação do setor de transportes no consumo final de energia subiu de 23%, em 1990, para 26%, em 2004. À imagem do que ocorre internacionalmente, no Brasil, o setor de transporte também tem expandido, sendo um dos maiores consumidores de energia final, conforme se pode verificar no Gráfico 2-1.

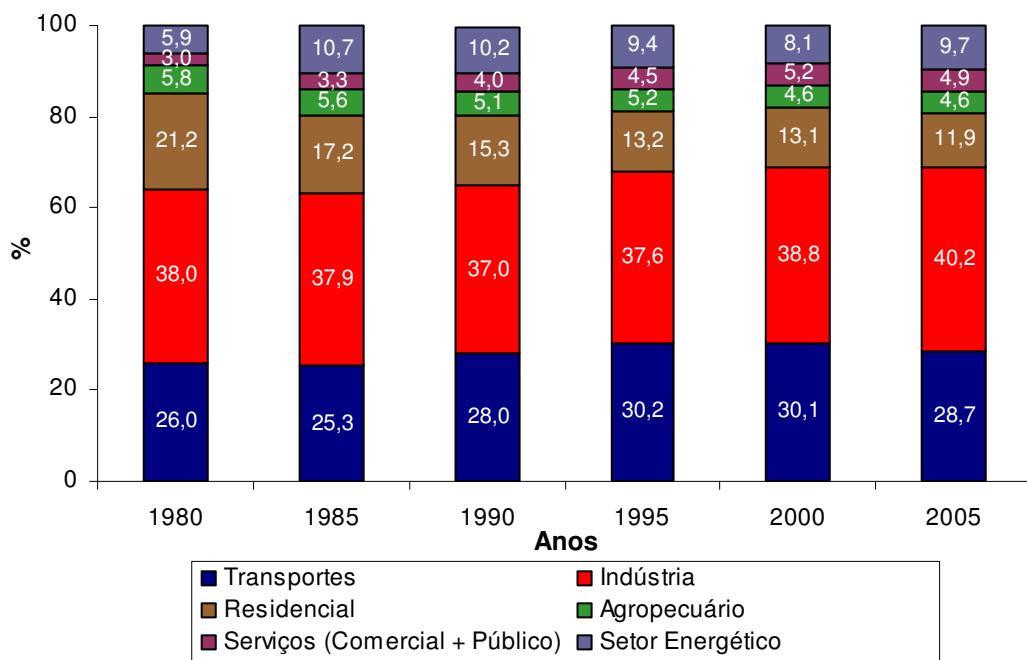


Gráfico 2-1 – Consumo Final Energético dos Setores Produtivos do Brasil

Fonte: MME, 2006

Como pode ser visto no gráfico, desde 1980 o setor de transportes é o segundo maior usuário de energia final no Brasil cuja participação varia entre 25 e 30% do uso final de energia. Em 2005, o setor representou, aproximadamente, 29% do consumo final energético total, cerca de 52 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (MME, 2006).

Além da alta representatividade no consumo de energia final, o setor de transporte é responsável por boa parte da demanda dos derivados de petróleo consumidos na economia, como exibido no Gráfico 2-2.

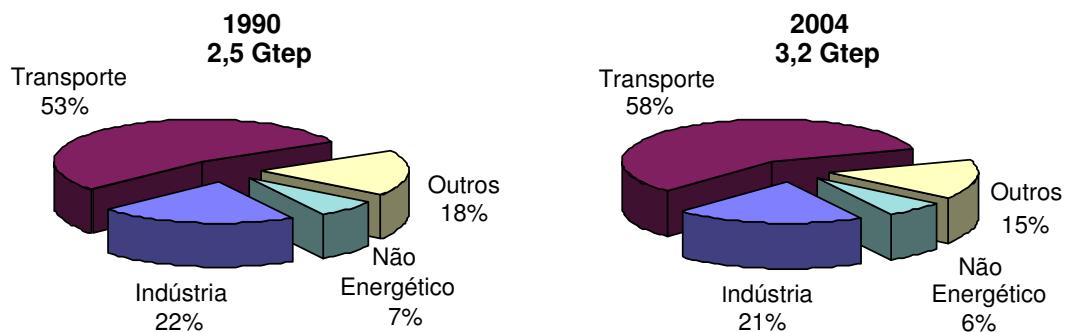


Gráfico 2-2 – Consumo Mundial de Petróleo por Setor (Energia Final)

Fonte: IEA, 2006b

Nota: Outros representa os setores agropecuário, residencial, comércio e de serviços.

Na última década, o setor de transporte foi responsável por mais de 50% do consumo mundial de petróleo. Em 1990, o setor demandava 53% do petróleo consumido no mundo, enquanto em 2004, esta parcela já chegava a 58% (IEA, 2006b). No Brasil, em 2005, o setor de transporte foi responsável por 52% de todo o consumo de derivados de petróleo (MME, 2006).

Fica evidenciada, assim, a grande dependência do setor de transporte por este recurso fóssil, principalmente, pelo modal rodoviário para a propulsão de veículos. Em 2000, o modal rodoviário respondeu por mais de 75% do total de energia consumida mundialmente no setor de transportes (FULTON e EADS, 2004). De acordo com IFP (2004), atualmente existem mais de 800 milhões de veículos motorizados registrados no mundo, que são responsáveis por 90% do transporte de passageiros e 75% do transporte de mercadorias no mundo.

A estrutura de uso de energia final do setor de transporte brasileiro, apresentada no Gráfico 2-3, reflete, em boa medida, a estrutura no uso de energia final no setor de transporte mundial, muito dependente do modal rodoviário.

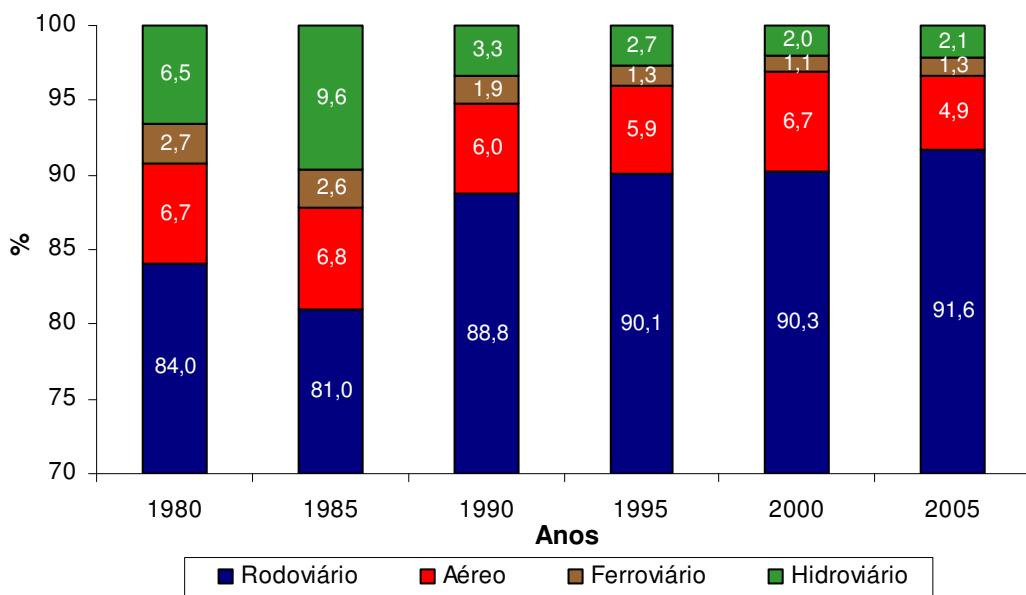


Gráfico 2-3 – Consumo de Energia Final no Setor de Transporte Nacional por Modal

Fonte: MME, 2006

Desde 1980, o modal rodoviário responde por mais de 80% do uso de energia final no setor de transporte, apresentando um aumento contínuo no consumo ao longo dos anos, chegando a quase 92% de toda a energia consumida no setor de transporte no Brasil, em 2005.

No que tange à questão ambiental, o setor de transporte nacional, em 2004, emitiu 133 MtCO₂, o que representou 41% do total emitido pelo país devido à produção de energia³ (IEA, 2006b). Em termos mundiais, este setor foi responsável pela emissão de 5,3 GtCO₂, o que representou 20% das emissões totais do mundo devido à produção de energia (IEA, 2006b). A emissão de CO₂ do setor de transporte possui a maior taxa de crescimento entre os setores de uso final de energia, aumentando, aproximadamente, 27% desde 1990. Atualmente, o modal rodoviário é responsável por 74% do total das emissões de CO₂ do setor de transporte (IPCC, 2007).

Desta forma, torna-se clara à importância do setor automotivo, dada a distribuição modal desbalanceada em favor do transporte rodoviário, e a forte concentração nos derivados de petróleo como fonte de energia do segmento. Portanto, para desenvolver o estudo da demanda energética do setor automotivo, a seguir será apresentado o estado deste setor no país.

³ Considerando apenas as emissões veiculares da combustão dos derivados de petróleo.

2.2 ESTADO SETORIAL DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO NO BRASIL

A elevada participação do modal rodoviário no setor de transporte nacional reflete a estratégia de industrialização do país a partir dos anos 50, quando o governo brasileiro passou a privilegiar investimentos neste modal. Ainda que as distorções advindas desse processo já tenham sido precisamente diagnosticadas nos anos 80 (os choques do petróleo motivaram várias análises sobre tais distorções), as sucessivas crises econômicas, as demandas de curto prazo e a inércia das estruturas decisórias têm contribuído para a manutenção, quando não agravamento, dessa situação (SCHAEFFER *et al.*, 2004).

Assim sendo, a matriz energética do setor automotivo concentra-se fortemente em derivados de petróleo, apresentando uma participação razoável de combustíveis renováveis (álcool etílico anidro e hidratado), como mostra o Gráfico 2-4.

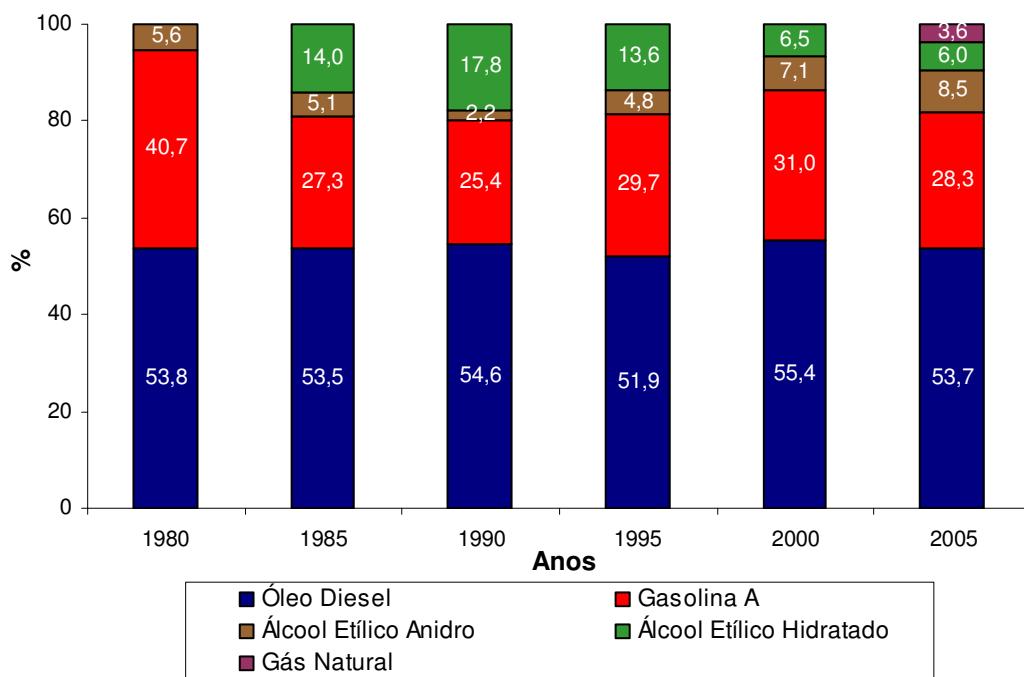


Gráfico 2-4 – Estrutura do Uso de Energia Final no Setor Automotivo Brasileiro

Fonte: MME, 2006

O óleo diesel é o combustível mais consumido no segmento rodoviário, representando mais de 50% do consumo deste segmento, devido, principalmente, à forte participação dos veículos pesados, de transporte coletivo e de carga.

A gasolina, por sua vez, perde participação na matriz a partir dos anos 80, impulsionada pelo lançamento do Programa Nacional do Álcool – Proálcool, em 1975, cujo principal objetivo era diminuir a vulnerabilidade energética brasileira e reduzir a importação de petróleo.

Na década de 90, devido, principalmente, ao desabastecimento do mercado interno de álcool e à redução dos preços do petróleo, houve um declínio na venda de carros a álcool e verificou-se uma retomada no consumo de gasolina. Porém, a partir de 2003, com o início das vendas dos carros *flex-fuel*⁴, se verificou um novo aumento do consumo de álcool no país, uma vez que as vendas de automóveis leves *flex-fuel* atingiram 50,2% da venda total interna em 2005, 78,1% em 2006 e 85,6% em 2007 (ANFAVEA, 2008).

Ressalta-se também, o surgimento do Gás Natural Veicular – GNV na matriz energética automotiva a partir de 2002, atingindo, em 2005, 3,6% da energia consumida no setor. Atualmente a frota de veículos convertidos a GNV é superior a 1,3 milhão de veículos (IBP, 2007).

Contudo, ainda que o sistema de transporte brasileiro privilegie fortemente o modal rodoviário, a disponibilidade de rodovias pavimentadas no Brasil ainda é pequena, como pode ser visto na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 – Malha Rodoviária Nacional em 2005

Rodovias	Pavimentadas	Não Pavimentadas	Total
Federal	58.149	14.651	72.800
Estadual	115.360	117.178	232.538
Municipal	22.735	1.281.965	1.304.700
Total	196.244	1.413.794	1.610.038

Fonte: ANTT, 2006

Em 2005, o país possuía, aproximadamente, 196 mil quilômetros pavimentados sobre um total de 1,6 milhão de quilômetros de rodovia, ou seja, apenas 12% da malha

⁴ São os veículos que podem utilizar como combustível álcool ou gasolina C simultaneamente em qualquer proporção.

rodoviária são pavimentadas. As rodovias federais pavimentadas somam 58 mil quilômetros, as estaduais 115 mil e as municipais 22 mil quilômetros (ANTT, 2006).

A carência da infra-estrutura no setor de transporte rodoviário nacional fica comprovada ao comparar com a infra-estrutura de outros países. A densidade de transporte rodoviário no país em 2005 era de 23 quilômetros de rodovias pavimentadas por mil quilômetros quadrados⁵. De acordo com SCHAFFER *et al.* (2004), países como Canadá e México possuem densidade de transporte rodoviário em torno de 40 km / km², o dobro da verificada no Brasil.

Ainda é importante frisar que a malha rodoviária nacional apresenta maior densidade na região Sudeste, gerando grandes diferenças regionais. De acordo com FLEURY (2006), este fato se deve à formação de rotas rodoviárias que têm a função de atender o escoamento, a distribuição e a exportação da produção industrial da região Sudeste, atender à importação crescente de produtos industrializados via porto de Santos, além de atender a produção agrícola proveniente da região Centro-Oeste do Brasil com destino às indústrias de beneficiamento localizadas na região Sudeste e com destino aos complexos portuários de Vitória, Santos e Rio de Janeiro, para a exportação.

Segundo pesquisa realizada pela CNT (2006)⁶ sobre o estado das rodovias no país, cerca de 30% da extensão total da malha rodoviária pode ser classificada como ruim ou péssima em relação às condições de pavimentação e sinalização, como apresentado no Gráfico 2-5.

⁵ 196.244 km de rodovias pavimentadas (ANTT, 2006) / 8.515 mil km² (IBGE, 2002)

⁶ De acordo com a metodologia do relatório da CNT (2006), nos resultados gerais são considerados todos os trechos rodoviários pesquisados, tanto de rodovias federais como de rodovias estaduais, e, nos dois casos, incluindo rodovias sob gestão estatal e pedagiadas. E denomina-se avaliação do estado geral, a análise simultânea das características do pavimento, sinalização e geometria viária.

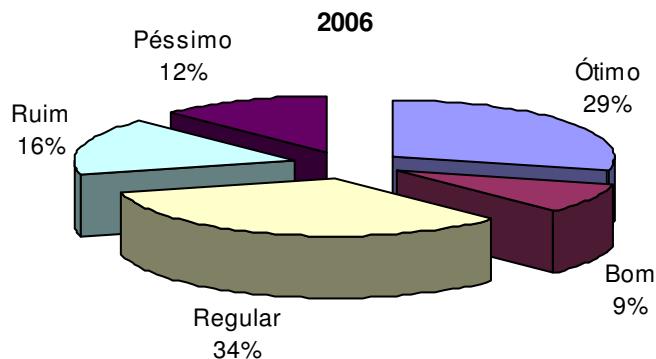


Gráfico 2-5 – Condição de Pavimentação e Sinalização das Rodovias Pavimentadas no Brasil

Fonte: CNT, 2006

Um problema da degradação da infra-estrutura de transportes afeta o próprio padrão de eficiência energética do modal rodoviário. Segundo CNT (2002), a velocidade média em trechos com buracos sofre uma redução em 23,0 km/h em comparação a trechos de pavimento em perfeitas condições, enquanto trechos com pavimento destruído registram reduções de 31,8 km/h na velocidade média em relação aos em perfeitas condições. Tal perda de velocidade operacional acarreta reduções nos níveis de eficiência energética desse modal.

Na busca de reduzir estes problemas de infra-estrutura, no início de 2007, o Governo Federal lançou o Programa de Aceleração do Crescimento 2007-2010 – PAC o qual prevê um aumento dos investimentos em infra-estrutura de transporte no Brasil como um todo, como mostra a Tabela 2-2.

Tabela 2-2 – Investimentos em Infra-Estrutura Previstos no PAC (Milhões de Reais)

Modal	2007	2008-2010	Total
Rodovias	8.086	25.352	33.438
Ferrovias	1.666	6.197	7.863
Portos	684	1.979	2.663
Aeroportos	878	2.123	3.001
Hidrovias	280	455	735
Marinha Mercante	1.779	8.802	10.581
Total	13.373	44.908	58.281

Fonte: MDIC, 2007

O investimento total será de R\$ 58,3 bilhões, dos quais 57% referem-se a investimentos em rodovias, o equivalente a um investimento médio anual de R\$ 8,4 bilhões no modal rodoviário (MDIC, 2007). Todavia, MT (2007) indica que será necessário investir no setor rodoviário do país no mesmo período R\$ 10,6 bilhões por ano, deixando claro que os investimentos do PAC são insuficientes.

A seguir será feita uma melhor caracterização do modal rodoviário no país e, para melhor compreensão, esta será dividida em dois segmentos, transporte de passageiros e transporte de carga.

2.2.1 Transporte Rodoviário de Passageiros

O modal rodoviário é responsável pela maior parcela do transporte de passageiros no país. Segundo GEIPOT (2001), de 1996 a 2000, este segmento foi responsável por 96% da atividade do setor de transporte de passageiros, medida em passageiros-quilômetros transportados.

Uma das explicações para o predomínio do setor rodoviário sobre as outras modalidades nos países em desenvolvimento decorre da visão da indústria automotiva como a principal alavanca para o desenvolvimento industrial de um país ou região. Os governos, no objetivo da industrialização, oferecem às montadoras incentivos fiscais e

econômicos para que se instalem em suas regiões, no pressuposto de que irão aumentar a oferta de empregos diretos e indiretos (RIBEIRO, 2000).

Atualmente, o segmento experimenta um declínio na importância do transporte público com o aumento da frota de automóveis que aparece como a melhor alternativa eficiente de transporte. Tem-se, então, uma separação entre aqueles que têm acesso ao automóvel e aqueles que dependem do transporte público, refletindo as grandes disparidades sociais e econômicas do país.

A queda do nível do serviço, da confiabilidade e da atratividade do transporte público é consequência da redução dos investimentos necessários ao transporte público, da paralisação de obras iniciadas e, em alguns casos, do abandono de sistemas já constituídos. Adicionalmente, o transporte público vem enfrentando a concorrência do transporte alternativo (muitas vezes ilegal), que vem captando parte da demanda e agravando a situação econômica do sistema regulamentado. Segundo NTU (2004), na maioria das cidades onde existe o transporte alternativo ilegal, este toma do transporte público uma fatia em torno de 5% do mercado.

De acordo com NTU (2006), os ônibus são responsáveis pelo transporte de 65% da população, percentual composto por parcelas consideráveis das diferentes classes econômicas, mas com predomínio da população de mais baixa renda, como se pode verificar na Figura 2-1 que ilustra os principais modos de transporte utilizados por classe socioeconômica nas principais metrópoles do país.

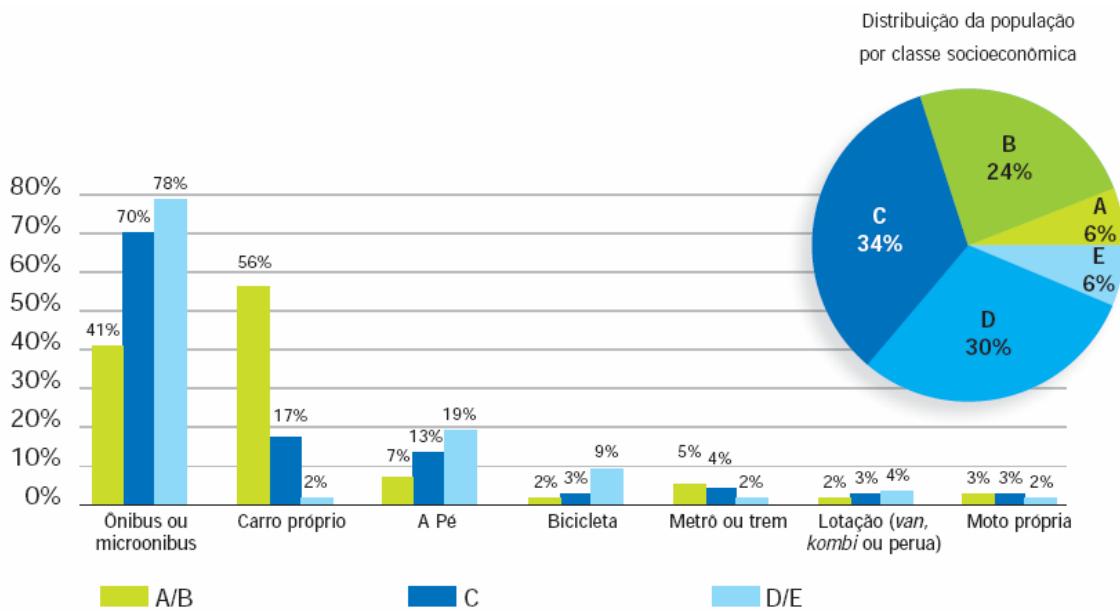


Figura 2-1 – Principais Modos Utilizados por Classe Econômica em 2006

Fonte: NTU, 2006

Nota-se que as famílias com renda mais baixa possuem maior participação nos modos coletivos e a “a pé”, enquanto as famílias de renda mais alta têm maior participação no deslocamento individual.

Esta conjuntura de crescimento do transporte individual, redução do transporte público e baixa infra-estrutura tem como principal resultado o aumento dos congestionamentos nas cidades. O estudo desenvolvido pelo IPEA e ANTP (1998) revelou que os congestionamentos urbanos no Brasil têm forte impacto no consumo de combustível, no tempo gasto nos deslocamentos, na emissão de poluentes e no custo operacional. A pesquisa mostrou que o tempo total anual perdido em congestionamento nas dez cidades pesquisadas, aproxima-se dos 250 milhões de passageiros-hora, para automóveis, e 256 milhões de passageiros-hora, para ônibus, significando um gasto adicional de R\$ 194 milhões por ano.

Como fator agravante, o Brasil apresenta um alto potencial de crescimento da frota de automóveis por apresentar relação habitante/veículo (razão entre o número de habitantes e de veículos) elevada quando comparada a de outros países, como mostrado na Tabela 2-3.

Tabela 2-3 – Habitantes por Automóveis

País	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Estados Unidos	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3
Itália	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5
Austrália	1,6	1,5	1,5	1,9	1,6	1,6
Japão	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
Alemanha	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
França	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
Canadá	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7
Espanha	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7
Reino Unido	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
Áustria	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	1,8
Bélgica	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9
Suécia	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0
Rep. Tcheca	2,5	2,7	2,4	2,4	2,5	2,5
Polônia	4,3	4,3	3,5	3,5	3,0	2,9
Coréia do Sul	4,4	4,2	4,2	3,6	3,4	3,3
México	7,0	6,8	6,6	6,1	5,5	5,5
Argentina	5,5	5,5	5,3	5,3	5,5	5,5
BRASIL	9,0	8,9	8,8	8,6	8,4	8,4

Fonte: ANFAVEA, 2006

A relação habitante/veículo no Brasil vem caindo nos últimos anos chegando a 8,4 em 2003. Tal relação nos EUA é de 1,2 e aproximadamente 2,0 nos países europeus e no Japão. Países em desenvolvimento como México e Argentina possuem uma relação de 5,5 (ANFAVEA, 2006), refletindo o potencial de crescimento da frota de automóveis no país.

2.2.2 Transporte Rodoviário de Carga

O transporte de carga desempenha um papel fundamental na economia do país. O transporte viabiliza a movimentação de materiais para as plantas industriais e de produtos acabados para os consumidores. À semelhança do transporte de passageiros, o transporte de carga tem como modal predominante o rodoviário. Segundo FLEURY (2006), estima-se que os gastos com transporte de carga no Brasil atinjam 10% do PIB nacional. Esta participação é relativamente elevada, principalmente se comparado com os Estados Unidos, onde as despesas com transporte de carga correspondem a 6% do PIB.

Este maior gasto com transporte relativamente ao PIB é resultado da combinação de distorções na matriz de transporte brasileira, com o histórico do desenvolvimento regional do país. Ao longo de todas as décadas de 1970 e 1980, os gastos com transportes no Brasil, cresceram muito mais rapidamente do que o PIB nacional. Tal fato se deve ao rápido crescimento da atividade econômica no interior do país, função principalmente da expansão da fronteira agrícola na direção das regiões Norte e Centro-Oeste. As crescentes distâncias a serem vencidas, combinadas com a dependência excessiva do modal rodoviário, resultaram neste crescimento acelerado das despesas de transporte de cargas quando comparadas com o crescimento do PIB (FLEURY, 2006).

Esta dependência excessiva do modal rodoviário no transporte de carga justifica-se, em parte, pela baixa disponibilidade e limitações do transporte ferroviário, de cabotagem e navegação de interior, que dificultam a utilização destes como reais alternativas para o transporte viário. Por vários anos os investimentos públicos priorizaram o setor rodoviário de carga, funcionando como barreira à prática da multimodalidade e como desestímulo aos demais modais (GEIPOT, 2001).

Em 2000, o modal rodoviário representou 63% do total de Tonelada-Quilômetro-Útil – TKU movimentado no país (GEIPOT, 2001). Nos EUA, por exemplo, esta participação é de 26%, enquanto na Austrália é de 24% e na Rússia é de 8% (FLEURY, 2006). Esta comparação com outros países da dimensão do Brasil dá uma idéia de quão desproporcional é o peso do modal rodoviário no transporte de carga do país.

Entre os anos de 1998 e 2003, a frota nacional de caminhões cresceu aproximadamente 6,5% ao ano, passando de 1,2 milhão para 1,6 milhão de veículos (DENATRAN, 2004). Esta frota possui como principal problema a sua idade média avançada, que atinge mais de 14 anos. Cerca de 75% da frota possui mais de 10 anos de idade (FLEURY, 2006). Considerando que o número médio de novos veículos por ano é de 49 mil, seria necessário o equivalente a 26 anos para a produção repor a frota acima de 10 anos, o que significa uma tendência contínua de envelhecimento da frota.

De acordo com o estudo realizado pela CNT (2002b), o envelhecimento da frota reduz o valor do frete, e no médio e longo prazo, este envelhecimento aumenta a ineficiência do setor, pois o valor médio pago pelos fretes rodoviários é muito baixo em comparação

com os custos incorridos, inviabilizando o crescimento dos outros modais e gerando externalidades negativas para a sociedade.

O frete rodoviário exageradamente barato acaba funcionando como uma barreira à prática da multimodalidade e como desestímulo ao desenvolvimento dos outros modais. Além de dificultar o desenvolvimento dos demais modais, o excesso de oferta no modal rodoviário e a ineficiência dos veículos aumentam os custos totais da logística de transporte e o consumo de combustíveis.

2.3 IMPACTOS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO

Além dos problemas já mencionados ocasionados pelo transporte rodoviário como elevado consumo energético e emissão de poluentes atmosféricos, outras externalidades negativas do setor são impostas à sociedade, tais como acidentes, congestionamentos, poluição sonora e visual, etc.

Um ponto que se deve notar é que, enquanto a taxa de motorização cresce rapidamente, também crescem as desigualdades, pois a população menos favorecida fica à margem desta evolução, percebendo apenas, as externalidades negativas, como maior tempo de viagem, sem desfrutar de nenhum benefício.

O aumento da taxa de motorização crescente ao longo dos anos sem que haja um correspondente crescimento da infra-estrutura necessária provoca uma redução da mobilidade da população com o aumento dos congestionamentos. Um exemplo disto é a cidade de São Paulo, que no início de 2008 havia registrado seis milhões de veículos. Atualmente, na cidade, existem 15,3 mil quilômetros de ruas pavimentadas. Deste modo, se todos os donos de veículos resolvessem sair de carro ao mesmo tempo em fila única, ficariam sem asfalto para rodar quase 2 milhões de veículos⁷ (NETO, 2008).

Uma outra característica negativa do transporte urbano é a deterioração do transporte público ao longo dos anos. Como nos países industrializados, o aumento da dependência pelos automóveis nos países em desenvolvimento reduz a disponibilidade de transporte público (RIBEIRO, 2001).

⁷ Considerando que um carro popular mede 3,8 metros (NETO, 2008).

Com o intuito de minimizar estes impactos, alguns países desenvolvem programas e políticas de governo focados em reduzir determinadas externalidades negativas do setor de transporte. É o caso do programa de padronização da frota de veículos americanos, *Corporate Average Fuel Economy – CAFE* que a partir de 1975 estabeleceu padrões de desempenho energético dos veículos leves vendidos no país, passando de 5,7 km/l, 1975 para 11,7 km/l, 1985 (DOT, 2005).

Outro exemplo é o pedágio urbano que serve para desestimular o acesso à circulação em determinados horários e nas áreas mais congestionadas pelos veículos particulares, cuja arrecadação pode servir para financiar o sistema de transporte público. Encontra-se o pedágio sendo utilizado com este objetivo em países da Europa e Ásia (RIBEIRO, 2001).

No Brasil, pode-se destacar o esquema de rodízio de automóveis estabelecido em São Paulo, onde a operação baseia-se na restrição de circulação de veículos nos horários de pico, de acordo com o final da placa e dia da semana (CETSP, 2006). Porém, o efeito do rodízio implantado em São Paulo foi minimizado pela reação dos motoristas. Boa parte comprou um segundo veículo com final de placa diferente do carro que já possuía. Esta foi a forma encontrada pelos motoristas paulistanos para driblar as restrições impostas pelo rodízio de carros (HADDAD, 2005).

Ademais, outras políticas ou programas podem ser utilizados para minimizar os impactos negativos do setor de transporte, como o incentivo fiscal a determinado combustível menos poluente ou mais abundante, benefícios de financiamento a determinados veículos com tecnologia diferenciada, disponibilidade de transporte público eficiente, criação de facilidades para o uso do transporte não motorizado, etc. (RIBEIRO, 2001 e RIBEIRO, 2000).

Assim, torna-se evidente a importância do setor de transporte, em especial o modal rodoviário, no país, dado o expressivo consumo energético, emissões de GEE e externalidades causadas à sociedade. Esta compreensão da evolução do setor de transporte permite identificar as peculiaridades do setor para a construção do modelo de projeção da evolução futura do consumo de combustíveis pelo setor automotivo no Brasil, conforme será visto a seguir.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

No capítulo anterior fez-se uma contextualização do setor de transportes rodoviário, formando a base para este capítulo, que apresenta uma abordagem da estrutura do modelo desenvolvido para fins de projeções de forma regionalizada da demanda energética do setor no Brasil. Serão também determinadas e avaliadas as principais variáveis que compõem o setor e que foram utilizadas como dados de entrada do modelo.

Inicialmente, será apresentada uma breve revisão do estado da arte dos modelos de projeção de demanda de energia para o setor de transporte. Estes modelos possuem grande relevância devido às suas aplicações no planejamento de sistemas energéticos, que, por sua vez, tem provido informações essenciais para a avaliação de políticas existentes e formulação de novas políticas públicas nas áreas de energia e meio ambiente.

É importante destacar que as projeções de demanda energética apresentam um elevado grau de complexidade, conforme realça ALMEIDA (2006), por estarem sujeitas a um grande número de variáveis, em contínua transformação. Como consequência, muitos dos eventos relacionados são incertos, decorrentes da interação de múltiplas causalidades que variam no tempo, não podendo ser previstos com precisão.

Além dos modelos voltados para o estudo e a projeção da demanda de energia, o planejamento de sistemas energéticos pode ser realizado com modelos para a análise da oferta de energia ou com modelos integrados (ARAÚJO, 1988; JEBARAJ e INIYAN, 2006). Os modelos integrados procuram agregar os conceitos de oferta e demanda de energia em um único grupo. Estes três tipos de modelos podem apresentar uma abordagem setorial ou global.

Destarte, a análise do setor de transporte pode ser feita isoladamente, utilizando-se modelos setoriais, ou, de forma global, com modelos de análise de demanda ou com modelos integrados. Evidentemente, a determinação de qual modelo utilizar varia de acordo com o interesse de cada analista, instituição, órgão ou empresa. Via de regra, pode-se dizer que a análise global é feita por órgãos governamentais, voltados para o

comportamento do sistema como um todo, enquanto a análise setorial é feita por empresas ligadas ao setor.

Conforme mencionado, neste trabalho foi desenvolvido um modelo setorial de projeção de demanda de energia para a análise do setor de transportes rodoviário. Segundo BAJAY (2004), estes modelos podem ser classificados como econométricos, técnico-econômicos ou mistos, cuja principal diferença é o grau de agregação do modelo, como será visto a seguir.

3.1 ESTADO DA ARTE DAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS

Até o início da década de setenta, os modelos para estudo do comportamento da demanda energética eram modelos econométricos bastante simplificados (BAJAY, 2004; JANNUZZI e SWISHER, 1997). Estes modelos são mais agregados, tendo uma abordagem conhecida como descendente (*top-down*), que relaciona a demanda energética com indicadores macroeconômicos agregados como o PIB e os preços dos combustíveis. Deste modo, as projeções dos modelos econométricos indicam geralmente um crescimento muito alto da demanda energética, não incorporando possíveis mudanças qualitativas na economia, levando assim a planos de grande expansão da capacidade de oferta de energia.

A utilização dos modelos econométricos era evidenciada pela lógica relativamente simples do planejamento energético naquela época: o atendimento da demanda a um mínimo custo (COSTA, 2001), não sendo contemplado, até então, nenhum aspecto de ordem social ou ambiental relacionado com a implementação de alternativas de suprimento⁸.

Porém, os choques dos preços do petróleo, em 1973 e 1979, e, mais recentemente, as preocupações sobre os impactos ambientais da indústria de energia provocaram mudanças na modelagem de sistemas energéticos com o objetivo de se adequar mais satisfatoriamente às principais tendências de evolução do mercado para a realização de planos de expansão.

⁸ Esta preocupação se refletia também nos modelos de oferta de energia, relativamente sofisticados e voltados à otimização do fornecimento de modo atender a demanda energética, sendo esta, até então, a principal preocupação dos tomadores de decisão (CIMA, 2006).

Como consequência, a projeção da demanda de energia passou a ser feita com modelos técnico-econômicos que apresentam uma abordagem ascendente (*bottom-up*) mais desagregada, que realiza a modelagem partindo da demanda em relação à oferta (BAJAY, 2004; JANNUZZI e SWISHER, 1997). A principal vantagem desta análise é permitir a construção de cenários de longo prazo, levando em consideração aspectos dinâmicos que, possivelmente, não representarão apenas uma continuidade do passado. Sendo assim, fatores como decisões políticas, mudanças técnicas, mudanças na estrutura do PIB, dentre outros, são incorporados ao modelo.

Contudo, em virtude do elevado grau de desagregação dos modelos ascendentes, os efeitos intersetoriais são de difícil avaliação. Outro aspecto negativo é que, muitas vezes, devido à complexidade do modelo, torna-se difícil a obtenção de determinados dados. Desta forma, é necessário que as informações históricas utilizadas no desenvolvimento da projeção sejam precisas, e que os parâmetros usados no modelo sejam prontamente quantificáveis para evitar a obtenção de soluções inconsistentes.

Atualmente, órgãos governamentais do mundo realizam o planejamento energético de seus países a partir de modelos globais integrados de oferta e demanda de energia. O modelo mais utilizado é o modelo de equilíbrio, que tem sido empregado com representações simultâneas ascendente, por tipo de tecnologias, para o setor energético, e descendente para o resto da economia (BAJAY, 2004).

Dentre estes órgãos, alguns se destacam pela importância e o impacto de seus trabalhos, como é o caso da Administração de Informações sobre Energia dos Estados Unidos, órgão vinculado ao Departamento de Energia dos Estados Unidos, que desenvolve o *Annual Energy Outlook* – AEO e o *International Energy Outlook* – IEO, cujos objetivos são analisar as tendências de longo prazo nos mercados energéticos nos EUA e no mundo, respectivamente; e da Agência Internacional de Energia, órgão vinculado à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, que publica, a cada dois anos, o *World Energy Outlook* – WEO, que contém projeções de longo prazo da matriz energética mundial.

Verificou-se que para a construção dos cenários de consumo de energia no setor de transporte rodoviário por parte destes órgãos, foi utilizada a metodologia técnico-

econômica, cujas premissas envolvem um extenso número de variáveis, como por exemplo (EIA, 2003; EIA, 2007; IEA, 2006a):

- Frota existente;
- Preço dos combustíveis;
- Variáveis macroeconômicas como população, renda pessoal, venda de veículos, etc;
- Dados demográficos;
- Taxa de sucateamento;
- Penetração de tecnologias de veículos envolvendo combustíveis alternativos;
- Eficiência dos veículos já existentes e os que serão inseridos;
- Padrão de consumo dos usuários;
- Viagens percorridas;
- Padrões de redução das emissões atmosféricas;
- Modais de transporte utilizados;
- Disponibilidade de recursos para o suprimento de energia, etc.

Torna-se evidente, então, que, dado o grande número de variáveis que podem ser abordadas na projeção do consumo de energia no transporte rodoviário, simulações elaboradas por diferentes instituições normalmente possuam resultados diferentes, visto que, uma simulação pode estar relacionada com premissas econômicas, enquanto que outra pode estar mais dependente de aspectos políticos e comportamentais da população.

3.2 ESTRUTURA BÁSICA DO MODELO DESENVOLVIDO

Em 2004, a Agência Internacional de Energia em parceria com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável, fundado no Rio ECO 92, desenvolveram um modelo técnico-econômico de simulação da demanda de combustível pelo setor de transportes para onze regiões do mundo até o ano 2050. Este modelo foi utilizado na elaboração do relatório final elaborado pelo *World Business Council for Sustainable Development* (2004).

A abordagem inicial deste trabalho era a adaptação das onze regiões do mundo consideradas no modelo da Agência Internacional de Energia para onze regiões do Brasil. Entretanto, foram encontradas algumas limitações como, por exemplo, o fato de o modelo não utilizar como parâmetros os dados de veículos a álcool ou veículos *flex-fuel*, e a inexistência de uma curva de sucateamento, sendo todos os veículos sucateados com a mesma idade.

Optou-se, então, por desenvolver um novo modelo em Excel baseado no modelo da Agência Internacional de Energia, em detrimento ao esforço computacional necessário para adaptar o modelo ao caso do Brasil. Um melhor detalhamento do modelo desenvolvido e do modelo da Agência Internacional de Energia será apresentado nos itens seguintes.

3.2.1 Modelo da Agência Internacional de Energia

O modelo desenvolvido pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2004b) é uma planilha em Excel, que busca incorporar todos os meios de transporte e a maioria dos tipos de veículos. No modelo foram escolhidos 12 indicadores, tais como: segurança no transporte (fatalidades e danos), emissões de GEE, acesso à mobilidade, consumo de energia, entre outros, incorporando projeções para diversos destes indicadores.

O modelo não contempla diretamente questões econômicas ou de custo, pois está ancorado na metodologia “ASIF” (Activity, Structure, Intensity, Fuel type), desenvolvida por SCHIPPER *et al.* (2000). Esta metodologia considera os níveis de Atividade em transporte (a quantidade de viagens realizadas no transporte de carga e passageiros, em toneladas ou passageiros por quilômetro), a Estrutura (a divisão da quantidade de viagens por modalidade e tipo de veículo), a Intensidade de uso (a eficiência com que a energia é usada para transportar passageiros e carga) e o tipo de Combustível.

A Tabela 3-1 apresenta os modos de transporte, os tipos de veículos, as tecnologias, os tipos de combustíveis considerados, as regiões analisadas e as variáveis básicas incluídas no modelo da Agência Internacional de Energia. Deve-se destacar que nem todas as tecnologias ou variáveis são utilizadas em todas as modalidades.

Tabela 3-1 – Resumo dos Dados do Modelo

Modo de Transporte Tipo de Veículo	Tecnologia Combustível	Regiões	Variáveis
<ul style="list-style-type: none"> • Veículos Leves • Caminhões de Carga Média • Caminhões de Carga Pesada • Ônibus • Microônibus • Moto • Triciclo • Avião • Navio 	<ul style="list-style-type: none"> • Motor de Combustão Interna: <ul style="list-style-type: none"> - Gasolina - Diesel - Gás natural - Álcool - Biodiesel • Híbridos • Celula a Combustível 	<ul style="list-style-type: none"> • OCDE Europa • OCDE América do Norte • OCDE Pacífico • Ex URSS • Leste Europeu • Oriente Médio • China • Índia • Restante da Ásia • América Latina • África 	<ul style="list-style-type: none"> • Passageiro-Quilômetro • Venda de Novos Veículos (Apenas Veículos Leves) • Frota de Veículos • Rendimento Médio • Veículos-Quilômetros Percorridos • Combustível Usado • Emissões de CO₂ • Emissões de Poluentes • Acidentes

Fonte: FULTON e EADS, 2004

O segmento dos veículos leves é o mais detalhado do modelo, sendo dividido pelo tipo de combustível utilizado, e representado por seis grupos: veículos leves a gasolina; híbrido a gasolina; a diesel; híbrido a diesel; a gás natural veicular; e a célula combustível. O consumo energético e as emissões de GEE de cada modal apresentado no modelo é separado por tipo de veículo, por tipo de combustível e por modo de transporte.

3.2.2 Especificação do Modelo Desenvolvido

O modelo desenvolvido neste trabalho para projeção do consumo de combustível do setor de transportes rodoviário do Brasil de forma regionalizada, e que teve como base o modelo supracitado da Agência Internacional de Energia, é um modelo técnico-econômico, de simulação da demanda de combustível para oito regiões do Brasil até o ano 2030.

A estrutura do setor de transportes apresentada no modelo está divida pelos modais considerados: veículos leves, ônibus, caminhões e motos. Os principais dados de saída

do modelo são a projeção do consumo energético, da atividade veicular, e das emissões de CO₂ do setor.

O consumo energético foi determinado a partir da metodologia de análise técnico-econômica da demanda energética do setor de transporte apresentada por CORREIA (1996), que relaciona o consumo energético total e a frota de veículos conforme a identidade contábil apresentada pela Equação 3-1.

$$C = \sum_{i=1}^k CS_i \cdot D_i \quad (\text{Eq. 3-1})$$

Onde “C” representa o consumo total da frota por unidade de tempo; “D” é a distância percorrida pelo veículo i por unidade de tempo; “CS” é consumo específico do veículo i em litros/km; e “k” representa o número de veículos.

Assim sendo, fracionando-se a população de veículos por tipo de combustível obtém-se o consumo para um período de um ano, representado pela Equação 3-2.

$$C_{i,j} = F_{i,j} \cdot D_{i,j} \cdot CS_{i,j} \quad (\text{Eq. 3-2})$$

Onde “C” representa o consumo total da frota de veículos por tipo de combustível no ano i; “D” é a distância média percorrida pelos veículos por tipo de combustível no ano i; “CS” é o consumo específico médio da frota em litros/km no ano i; “j” representa os tipos de combustíveis.

A atividade veicular foi determinada pelas projeções da frota, da quilometragem média percorrida e do fator médio de ocupação dos veículos de acordo com a seguinte equação:

$$A_{i,j} = F_{i,j} \cdot D_{i,j} \cdot O_{i,j} \quad (\text{Eq. 3-3})$$

Onde “A” representa o efeito atividade do modal j no ano i (passageiro-quilômetro ou tonelada-quilômetro); “D” é a distância média percorrida pela frota no ano i; “O” é o fator de ocupação (passageiro por veículo ou tonelada por veículo) no ano i; e “j” representa os tipos modais: veículos leves, ônibus, caminhões e motos.

As emissões veiculares de dióxido de carbono foram calculadas de acordo com a abordagem descendente de IPCC (2006), representada pela Equação 3-4.

$$E_{i,j} = C_{i,j} \cdot FE_j \quad (\text{Eq. 3-4})$$

Onde “E” representa a emissão total de dióxido de carbono por tipo de combustível no ano i ; “C” é o consumo total por tipo de combustível no ano i ; “FE” é o fator de emissão do combustível j em kg de CO₂ por litro; “ j ” representa os tipos de combustíveis.

Destarte, as principais variáveis-chaves de simulação são:

- A frota de veículos, desagregada por tipo: veículos leves, caminhões, ônibus e motocicletas;
- O desempenho energético médio da frota de cada modal;
- A quilometragem média anual percorrida por cada modal;
- O fator de ocupação médio de cada modal;
- O fator de emissão de CO₂ de cada combustível.

O presente trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira refere-se a construção do ano base (ano de 2004)⁹, onde as variáveis citadas acima foram levantadas e ajustadas para calibrar o modelo de forma a compatibilizar os dados energéticos de saída com estatísticas oficiais do setor. Na segunda etapa, foi projetada a evolução destas variáveis de simulação para obter o consumo energético automotivo ao longo de 25 anos (para o período de 2005 a 2030). Entretanto, como atualmente o modal rodoviário do país carece de dados sobre o setor, estimar esta evolução torna-se um trabalho impreciso. Assim, o foco do trabalho foi a construção do modelo e a elaboração do ano base. As projeções foram feitas apenas como um exercício para apresentar a capacidade e a robustez do modelo, necessitando serem revistas ao passo que novos dados do setor sejam disponibilizados.

As premissas utilizadas para a projeção das variáveis-chaves serão apresentadas nos Capítulo 4 e 5, lembrando que esta projeção foi feita apenas para exemplificar o potencial que o modelo oferece, não devendo ser visto como projeção real do setor. Para elaboração do ano base, houve necessidade de estimar ou aproximar os valores de diversas variáveis a partir das informações disponíveis para o Brasil ou a partir do setor de transportes americano (como será apresentado no item 3.3), devido à ausência na literatura de valores estabelecidos para estas variáveis.

⁹ O ano referente ao ano base foi 2004, por ser o ano mais recente, em que todos os dados oficiais estão disponibilizados pelas fontes utilizadas, no período de elaboração do trabalho.

3.2.2.1 Construção do Ano Base

Nesta parte do trabalho, será apresentada a metodologia desenvolvida, ou seja, o fluxograma idealizado para a construção do ano base. Não serão exibidas as fontes de dados utilizadas neste desenvolvimento. O procedimento adotado, considerando as fontes requeridas para a construção do ano base, será apresentado na seção 3.3.

As projeções do consumo de energia do setor de transporte rodoviário por região do país tomaram por referência inicial o ano de 2004. As variáveis de saída do modelo foram balizadas com os dados de demanda regional por combustíveis regional apresentadas por ANP (2004b) e com os dados de demanda energética nacional do setor fornecidos por MME (2006).

De forma similar ao modelo da Agência Internacional de Energia, detalhou-se melhor o segmento de veículos leves. Este segmento foi dividido pelo tipo de combustível utilizado, sendo representado por seis grupos: veículos leves a gasolina; *flex-fuel*; a álcool; a diesel; a Gás Natural Veicular – GNV; e híbridos a gasolina. Para simplificação do modelo foi considerado que todos os ônibus e caminhões são exclusivamente a diesel¹⁰. Esta consideração reduziu consideravelmente o esforço computacional do modelo, uma vez que o consumo de gasolina ficou restrito aos veículos leves e motocicletas.

Idealmente, a construção do ano base da simulação proposta deveria restringir-se ao levantamento das variáveis-chaves do modelo (discutidas no item 3.2.2) para o ano de 2004, sendo feito um ajuste fino nos valores para obter a demanda por combustível de acordo com dados oficiais do setor. Todavia, a falta de estatísticas oficiais sobre o modal rodoviário do país não permite este tipo de avaliação, ainda mais para a realização de uma simulação regionalizada, como é o objetivo do trabalho.

Assim, foram levantados todos os dados existentes do setor (inclusive os não-oficiais) e foi desenvolvida uma metodologia de estimativa do consumo energético automotivo para determinar a variável de ajuste do modelo na construção do ano base (a quilometragem média percorrida pelos veículos). Esta estimativa foi feita de maneira inversa, ou seja, a partir dos resultados esperados para a demanda energética do setor. A

¹⁰ Esta consideração não difere muito da realidade visto que desde 1985 todos os ônibus e mais de 95% dos caminhões vendidos no Brasil são a diesel (ANFAVEA, 2006).

Figura 3-1 ilustra a metodologia usada na construção do ano base da simulação dos veículos leves a gasolina. Esta mesma lógica foi utilizada na determinação das variáveis-chaves dos veículos a GNV.

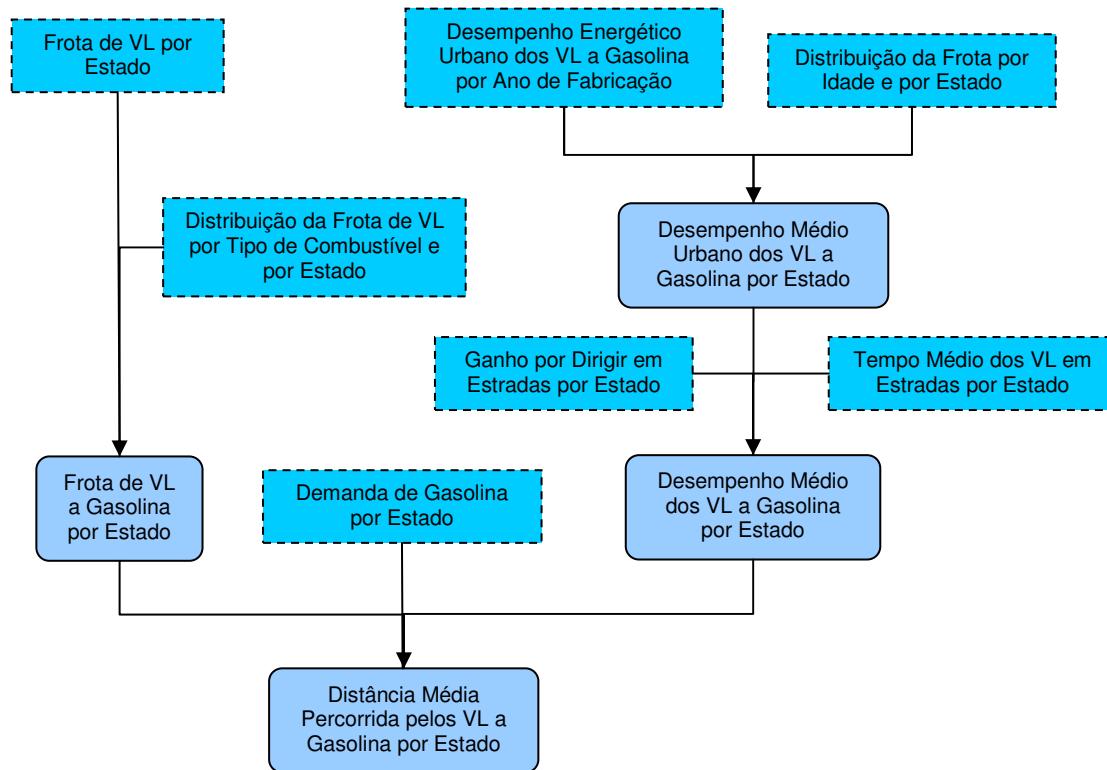


Figura 3-1 – Fluxograma Veículos Leves – VL a Gasolina

Fonte: Elaboração Própria

A frota de veículos leves a gasolina foi modelada a partir da frota de veículos leves por estado. O rendimento médio dos veículos a gasolina foi baseado na idade dos veículos, sendo incluído nesta eficiência um ganho de economia por se dirigir em estradas. Por fim, a quilometragem média percorrida pelos veículos foi calculada de forma indireta, a partir do consumo de gasolina em cada estado. A Figura 3-2 ilustra o fluxograma da metodologia utilizada no cálculo das variáveis-chaves dos veículos leves a álcool, diesel e *flex-fuel*.

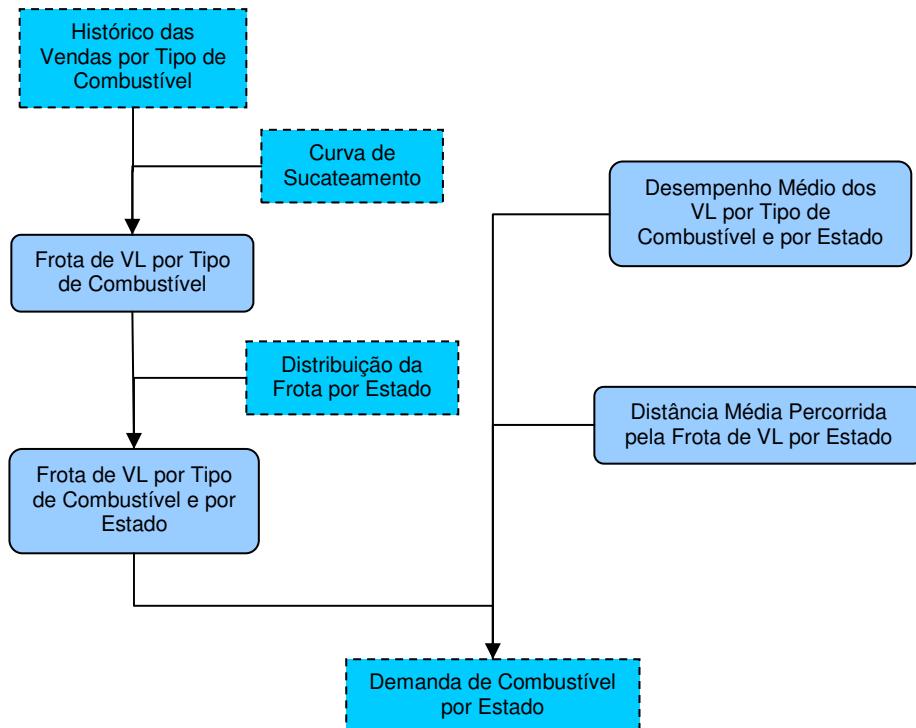


Figura 3-2 – Fluxograma Veículos Leves – VL a Álcool, Diesel e Flex-Fuel

Fonte: Elaboração Própria

Para os veículos a álcool, a diesel e os veículos *flex-fuel*, a frota foi modelada descontando-se os veículos sucateados do histórico de vendas. O rendimento médio da frota foi relacionado com os veículos a gasolina, e foi admitido que estes percorrem anualmente as mesmas distâncias que os veículos a gasolina.

As planilhas de caminhões e ônibus são menos detalhadas. Neste caso, a frota de ônibus foi dividida em ônibus e microônibus e a de caminhão foi dividida em caminhão grande e pequeno, conforme exibido nas Figura 3-3 e Figura 3-4.

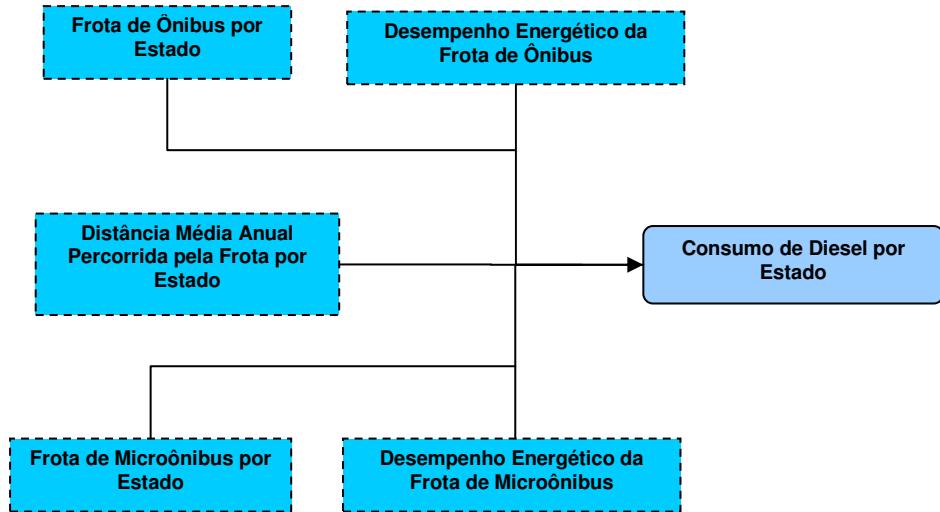


Figura 3-3 – Fluxograma Ônibus

Fonte: Elaboração Própria

Considerou-se que não há variação de desempenho energético da frota de ônibus e microônibus de estado para estado e que os microônibus percorrem anualmente a metade da distância dos ônibus.

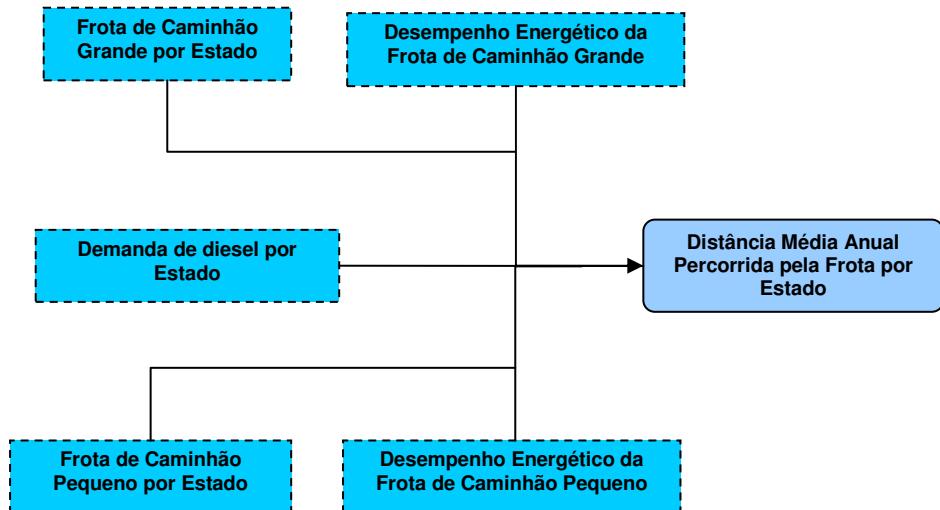


Figura 3-4 – Fluxograma Caminhão

Fonte: Elaboração Própria

A determinação das variáveis-chaves do ano base dos caminhões foi feita de forma similar à dos ônibus. Neste caso, a variável calculada foi a distância média percorrida pela frota a partir da demanda de diesel por estado, descontando o consumo dos ônibus e veículos leves a diesel.

No próximo item serão apresentados os dados obtidos para a construção do ano base, tendo como definidos a estrutura das planilhas do modelo desenvolvido e a formulação do ano base da simulação.

3.3 PROCEDIMENTO E HIPÓTESES DE TRABALHO

Inicialmente, serão detalhadas as regiões consideradas na projeção da demanda energética do setor rodoviário nacional, para a construção do ano base. Em seguida, serão descritas as quatro variáveis de entrada utilizadas na simulação: a frota de veículos, o desempenho energético médio; a quilometragem média percorrida; e o fator de ocupação médio de cada modal. Por fim, serão apresentados os dados de saída obtidos para o ano base: o consumo energético, as emissões de GEE e o efeito atividade de cada modal por região.

3.3.1 Regionalização do Brasil

O Brasil apresenta 8,51 milhões de quilômetros quadrados, e uma população hoje superior a 180 milhões de habitantes (IBGE, 2007a). A Tabela 3-2 refere-se às características geopolíticas brasileiras apresentadas de forma segmentada para cada uma das cinco macro regiões brasileiras no ano de 2002¹¹.

Tabela 3-2 – Características Geopolíticas das Regiões do Brasil

Regiões	N	NE	CO	S	SE	Brasil
Área (mil km ²)	3.853	1.554	1.606	576	925	8.515
População (mil habitantes)	12.901	47.742	11.637	25.108	72.412	169.799
População Urbana (%)	69,9	69,1	86,7	80,9	90,5	81,2
Densidade Demográfica (hab/km ²)	3,3	30,7	7,2	43,6	78,3	19,9

Fonte: IBGE, 2002

As regiões Norte e Centro-Oeste são as mais extensas e menos populosas, características contrastantes com as do Sudeste e do Sul que são as menores e mais

¹¹ Note que devido a inexistência de um censo demográfico mais atual foram utilizados os dados de 2002.

densamente povoadas. A grande dimensão territorial do país evidencia o forte desequilíbrio no seu ordenamento, marcado não só por estas diferenças naturais e sociais, como, principalmente, pela disparidade das características culturais e econômicas.

Esse fato fica evidenciado ao se avaliar o PIB nacional, que, em 2004, foi de 1,77 trilhão de reais (IBGE, 2004a). A Tabela 3-3 apresenta um resumo da produção nacional, segmentada por região, em que pode se observar a contribuição das regiões na formação do PIB nacional e também o PIB *per capita* de cada região.

Tabela 3-3 – Caracterização Regional do PIB do Brasil em 2004

Regiões	N	NE	CO	S	SE	Brasil
PIB (milhão de R\$)	93.423	248.445	132.727	321.781	970.245	1.766.621
Participação Regional (%)	5,3	14,1	7,5	18,2	54,9	100,0
PIB per Capita (R\$)	6.500	4.927	10.394	12.081	12.540	9.729

Fonte: IBGE, 2004a

Como pode ser visto, enquanto a região Sudeste foi responsável por cerca de 55% da produção brasileira em 2004, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, que em conjunto ocupam cerca de 82% do território nacional e abrigam cerca de 43% da população, respondem por menos de 27% do PIB nacional, o que é um indicativo das grandes disparidades econômicas que ocorrem no país.

Quanto ao nível médio de renda da população, existem significativas diferenças regionais. As regiões Norte e Nordeste são as que apresentaram os menores indicadores do nível de desenvolvimento econômico, respectivamente 67% e 51% do PIB *per capita* médio nacional, enquanto o Sudeste superou em 29% o mesmo índice na época.

Deste modo, para a regionalização da demanda energética do setor de transporte rodoviário no Brasil, optou-se por dividir o país em oito regiões: as cinco macro regiões nacionais, subdividindo a região Sudeste nos seus estados, dada a sua relevância na economia do país. Ou seja, as regiões de simulação são: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo.

3.3.2 Frota de veículos

A frota nacional de veículos automotores inclui todos os veículos leves, ônibus, caminhões e motos, cujo crescimento e perfil encontram-se sob influência de diversos fatores. Como destaca MORAES (2005), além da demografia, do PIB e do poder aquisitivo, outros fatores como a infra-estrutura disponível, a cultura, o estilo de vida, incentivos e políticas adotadas e o grau de industrialização determinam o seu crescimento, que por sua vez é crucial para o desenvolvimento do país. Por este lado, verifica-se que a forma como a frota evolui repercutirá preponderantemente na qualidade de vida da população, na dinâmica e competitividade do comércio, no consumo de combustíveis, no impacto ambiental, etc.

Neste aspecto, ressalta-se a dificuldade de coleta e organização de informações sobre a frota automotiva em todo país em decorrência de discrepâncias nos valores fornecidos por algumas instituições. É importante salientar que esta discrepância está associada às diferentes metodologias utilizadas para o cálculo da frota nacional, que são feitas de duas formas basicamente: baseada em cadastros de veículos ou estimadas a partir de uma função de probabilidade de sobrevivência do veículo.

No primeiro grupo encontram-se as estimativas do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN obtidas a partir das informações cadastradas na base dos DETRANS. No entanto, de acordo com MATTOS e CORREIA (1996), estes dados trazem em si problemas metodológicos, visto que boa parte dos proprietários não requer a baixa de seus veículos sucateados (há um critério ajuste da base – 3 anos sem pagamento de IPVA e ocorrência de multas –, mas que não é suficiente para depurar as falhas) e há dupla contagem quando há transferência de propriedade (ou domicílio) entre estados, causando, possivelmente, uma superestimação das estatísticas consolidadas.

Por outro lado, algumas empresas, em sua maioria ligadas à indústria automobilística, como é o caso da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA e do Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores – SINDIPEÇAS, disponibilizam dados da frota nacional estimados por metodologias estatísticas a partir do histórico das vendas e da probabilidade de sucateamento dos veículos por idade.

Optou-se, neste trabalho, por utilizar-se como referência os dados fornecidos pelo DENATRAN, porquanto é o conjunto de dados mais completo, dividindo a frota para o ano base da simulação, por tipo de veículo e por estado, o que permite uma análise mais consistente.

No ano 2004, o Brasil dispunha de uma frota de 37 milhões de veículos¹² (DENATRAN, 2004), dos quais 34% pertenciam ao estado de São Paulo. A Tabela 3-4 apresenta a composição de toda frota registrada no país, por tipo de veículo, na qual se pode observar que a frota é majoritariamente constituída de veículos leves (78%), enquanto os veículos pesados, que são responsáveis pelo transporte coletivo e o de bens, representam cerca de 6% da frota.

Tabela 3-4 – Frota de Veículos por Tipo em 2004 (10³ veículos)

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
Veículos Leves¹	719	3.034	2.219	6.270	10.605	2.577	2.963	468	28.854
Caminhões	71	225	147	415	460	89	189	40	1.637
Ônibus²	20	78	36	87	158	49	54	12	494
Motos	380	1.246	602	1.213	1.539	236	736	127	6.079
Total	1.191	4.581	3.004	7.985	12.762	2.952	3.943	646	37.064

Fonte: DENATRAN, 2004

Notas: ¹ Inclui automóveis, camioneta, caminhonete e utilitários; ² Inclusive microônibus.

Deve-se destacar o expressivo crescimento do mercado de motocicletas no país, que em 2000 representava 12% da frota (DENATRAN, 2000) e em 2004 já chegava a 17%. Segundo o IPEA (2007), a produção industrial cresceu 13% de 2000 até 2004, enquanto a fabricação de motociclos avançou 65% no mesmo período (ABRACICLO, 2004). Este crescimento pode ser visto, além da difusão da utilização das motos pelos entregadores de encomendas, como uma solução encontrada por uma parcela da população ao transporte urbano e aos crescentes engarrafamentos nas grandes cidades.

Outro aspecto relevante, que merece destaque, é a desproporcionalidade do tamanho da frota em cada região. Este fato torna-se mais evidente quando contrastada à densidade

¹² De acordo com ANFAVEA (2006) e SINDIPEÇAS (2006), a frota nacional circulante é, aproximadamente, 25% inferior à fornecida pelo DENATRAN.

de ocupação dos veículos por área (km²) e à taxa de motorização da população em cada região, conforme mostrado na Tabela 3-5.

Tabela 3-5 – Taxa de Motorização e Densidade Ocupacional dos Veículos em 2004

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
Taxa de Motorização (veículos / mil hab.)	55,7	63,5	190,7	249,7	286,4	179,1	165,6	151,0	169,9
Densidade Ocupacional (veículos / km²)	0,3	2,9	1,9	13,9	51,4	67,5	6,7	14,0	4,4

Fonte: Elaboração própria a partir de DENATRAN (2004) e IBGE (2002)

Enquanto no Brasil há 4,4 veículos por km², nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro esta relação é, aproximadamente, doze vezes superior. Esta elevada utilização dos veículos motorizados agrava substancialmente o congestionamento das rodovias, tornando-se um possível problema nestas grandes metrópoles. Sob esta análise, fica evidenciada a importância que deve ser dada, não somente à infra-estrutura, mas também, como destaca MONTEIRO (1998), à integração dos vários modais nas políticas de planejamento de expansão e urbanização das cidades para melhoria dos deslocamentos e da condição ambiental local.

No que diz respeito à taxa de motorização, o estado de São Paulo e a região Sul apresentam as maiores taxas do país, com valores superiores a 200 veículos por mil habitantes. No entanto, não se pode olvidar que este valor, possivelmente, encontra-se superestimado devido ao problema metodológico, explicado anteriormente, de estimativa da frota do DENATRAN. Como critério comparativo, a taxa de motorização nacional encontrada era, em 2004, de 170 veículos por mil habitantes, enquanto que, de acordo com o IMF (2005), em 2002, esta taxa era de 121 veículos por mil habitantes.

3.3.2.1 – Veículos Leves

Em virtude da magnitude e da variedade de combustíveis utilizados pela frota de veículos leves é de fundamental relevância a divisão desta frota, pois é de se esperar que categorias não similares consumam quantidades diferentes de combustíveis. Para a obtenção da frota de veículos leves por tipo de combustível foi desenvolvida uma curva de sucateamento, sendo esta aplicada no histórico das vendas de veículos leves por tipo de combustível no mercado interno.

A probabilidade de sucateamento de um veículo, que determina seu período de sobrevivência, é função de fatores como os preços dos veículos no mercado secundário, o valor da sucata, o custo de manutenção e a probabilidade de necessidade de reparo (sendo esta função da taxa de utilização do veículo, da probabilidade de acidentes, etc.) (MATTOS e CORREIA, 1996). Todavia, face à dificuldade de obtenção destes dados, optou-se por derivar a curva de sucateamento de veículos leves a partir do ajuste de uma função de acordo com o seguinte sistema¹³:

$$F = \sum_{1957}^{2004} Z(x) \cdot [1 - Y(x)] \quad (\text{Eq. 3-5})$$

$$VM = \sum_{1957}^{2004} f(x) \cdot x \quad (\text{Eq. 3-6})$$

Onde “F” representa a frota atual de veículos leves; “VM” é a vida média da frota de veículos leves; “Z(x)” é a venda de veículos leves no ano x; “Y(x)” é a função distribuição acumulada, ou seja, é o percentual de veículos vendidos no ano x que foram sucateados; “f(x)” é a função densidade de probabilidade, ou seja, representa a derivada da distribuição acumulada, significando a probabilidade de o veículo ser sucateado na idade x.

Foram admitidos *a priori* duas funções de distribuição acumulada de probabilidade de parâmetros a e b para as curvas de sucateamento de veículos: a função Logística e a função Gompertz, descritas, respectivamente, pelas Equações 3-7 e 3-8 .

$$S(i) = \frac{1}{1 + (a \exp(-bi))} \quad (\text{Eq. 3-7})$$

$$S(i) = \exp(-\exp(a + bi)) \quad (\text{Eq. 3-8})$$

Onde “i” é a idade do veículo (em anos); e “S(i)” é a fração de veículos que está sucateada na idade i.

O dado de vida média da frota de veículos leves utilizado foi o dado americano de 16,9 anos (ORNL, 2006). Como, segundo GIPA (2006) e ONRL (2006), ambas as sociedades apresentam idade média da frota automotiva próximas¹⁴, é de se esperar que a vida média de seus veículos seja similar. Este valor não parece ser muito diferente do

¹³ Note que o período de análise inicia-se em 1957, que foi o primeiro ano de registro de venda de veículos no Brasil.

¹⁴ De acordo com pesquisas da GIPA (2006), a idade média da frota de veículos leves no Brasil é de 9,2 anos, enquanto nos EUA a idade média da frota é de 8,9 anos (ORNL, 2006).

que, provavelmente, é a vida média dos veículos brasileiros. De acordo com MEYER (2001), a vida média dos automóveis nacionais varia de 15 a 20 anos.

Fez-se uso dos dados de vendas de veículos leves no mercado interno e da frota nacional de veículos leves fornecido pela ANFAVEA (2006)¹⁵. A função que se adaptou melhor à simulação, apresentando o melhor ajuste de sua curva, foi a função do tipo Gompertz¹⁶. O Gráfico 3-1 e o Gráfico 3-2 exibem as curvas de sucateamento e de vida média da frota de veículos leves encontrada.

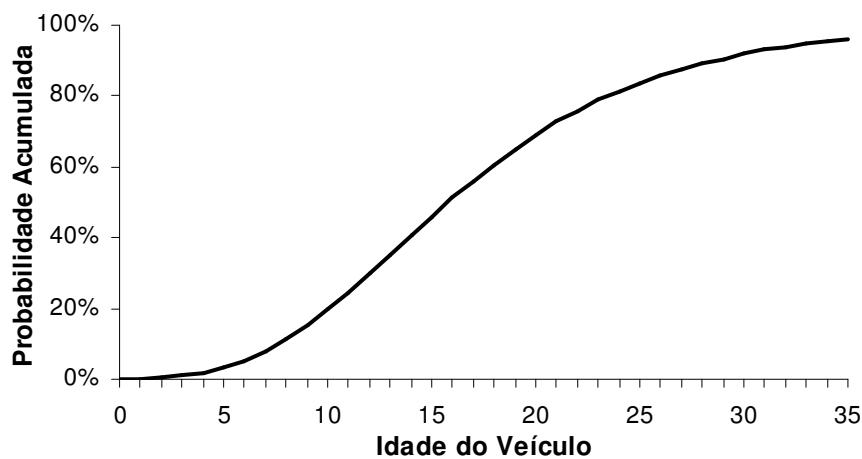


Gráfico 3-1 – Curva de Sucateamento de Veículos Leves Estimada

Fonte: Elaboração Própria

A forma analítica desta curva é dada por uma função do tipo Gompertz, cujos parâmetros encontrados para veículos leves são: $a= 1,9683$ e $b= -0,148$. Estes valores estão em conformidade com os dados obtidos por MATTOS e CORREIA (1996) que encontraram como parâmetros do ajuste da curva de sucateamento do tipo Gompertz para os automóveis: $a=1,798$ e $b=-0,137$ ¹⁷.

¹⁵ Em um primeiro momento, buscou-se estimar a curva de sucateamento a partir dos dados de frota do DENATRAN, porém, por estarem possivelmente superestimados, o sistema não apresentou solução. Note que a utilização dos dados de vendas e de frota da ANFAVEA leva à construção de uma curva de sucateamento que, possivelmente, se assemelha a curva desenvolvida pela ANFAVEA.

¹⁶ O critério utilizado para determinar a função que apresentou o melhor ajuste à simulação foi a suavização da curva. A função do tipo Gompertz apresentou a curva mais suave, com um formato mais homogêneo em relação às outras funções.

¹⁷ Esta curva foi utilizada nos trabalhos de MACHADO *et al.* (2006), SCHAEFFER *et al.* (2004), MENDES (2004), MEYER (2001), AZUAGA (2000) e URIA (1996).

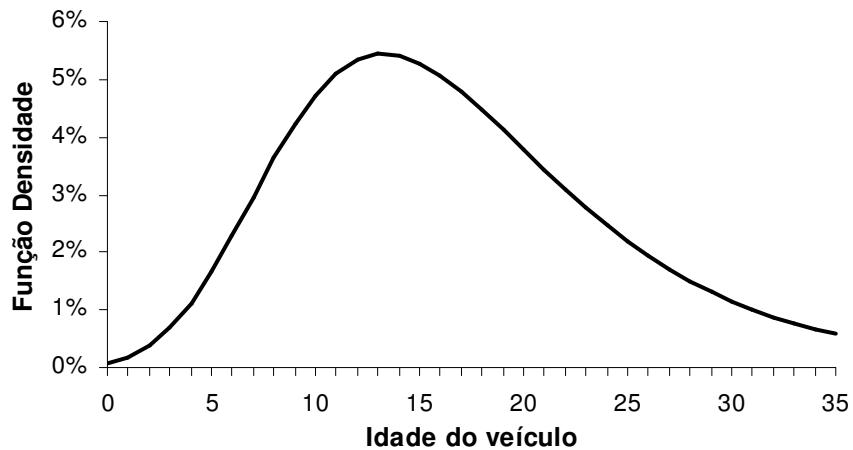


Gráfico 3-2 – Vida Média da Frota de Veículos Leves

Fonte: Elaboração Própria

Após a construção da curva de sucateamento dos veículos leves, obteve-se a frota nacional de veículos leves por tipo de combustível. Por conseguinte, algumas considerações foram feitas para estimar a frota regional por tipo de combustível:

(a) Veículos *Flex-Fuel*

Considerou-se constante a participação nas vendas dos veículos *flex-fuel* por estado. Como as vendas destes veículos iniciaram-se em março de 2003, a quantidade total de veículos *flex-fuel* em 2004 (ano base da simulação) era reduzida. Desta forma, supôs-se que não houve variações de vendas de estado para estado.

Para determinar o tempo de utilização de álcool hidratado nos automóveis flexíveis, dada a possibilidade de utilização de álcool ou gasolina, ou ainda, uma mistura em qualquer proporção destes dois combustíveis, admitiu-se que a escolha do consumidor baseia-se na relação entre os preços dos dois combustíveis (SOUZA, 2006).

De acordo com LOURO (2006) e GRANDE (2006) os veículos *flex-fuel* consomem, na média, 30% a mais com álcool do que com gasolina, devido, principalmente, à diferença de poder calorífico dos dois combustíveis¹⁸. Desta forma, os consumidores seriam indiferentes entre consumir álcool ou gasolina, desde que o preço do álcool hidratado represente 76,9% em relação ao preço da gasolina. O Gráfico 3-3 exibe a relação de preço entre o álcool hidratado e a gasolina no ano de 2004.

¹⁸ MME (2006) ressalta que o álcool hidratado possui 5.097 kcal/l e a gasolina, 7.696 kcal/l sendo que nesta ainda acrescenta-se o álcool anidro que possui 5.339 kcal/l.

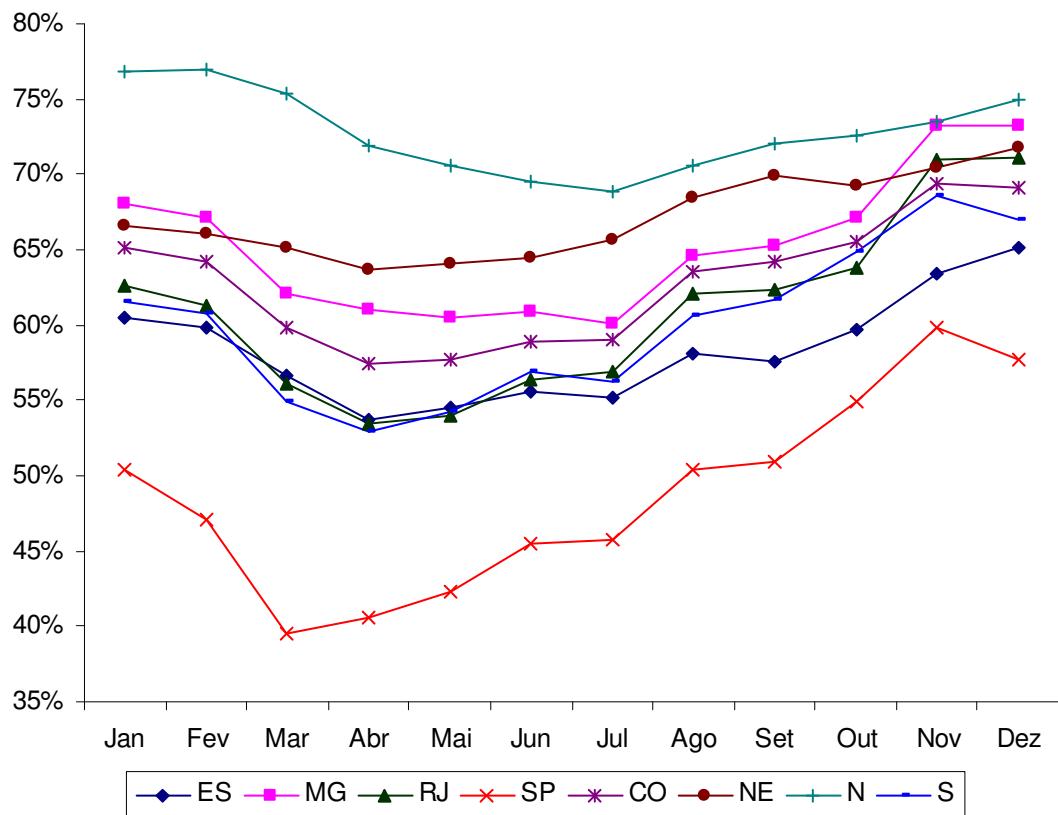


Gráfico 3-3 – Relação de Preços Álcool x Gasolina em 2004

Fonte: Elaboração própria a partir de ANP (2004a)

Entretanto, para se determinar o tempo de utilização de álcool nos veículos flexíveis foi considerado que este seria utilizado sempre que o preço do álcool hidratado fosse inferior a 70% do preço da gasolina. É importante salientar que a utilização de álcool está sendo estritamente baseada em parâmetros econômicos, sendo desprezados qualquer outro aspecto¹⁹. A Tabela 3-6 apresenta os meses em que o preço do álcool hidratado esteve abaixo de 70% do preço da gasolina no ano de 2004, sendo este o período de tempo de utilização de álcool nos veículos *flex-fuel*.

Tabela 3-6 – Tempo de Utilização de Álcool nos Carros Flex-Fuels

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
Meses	2	10	12	12	12	10	10	12
% Tempo	17%	83%	100%	100%	100%	83%	83%	100%

Fonte: Elaboração própria

¹⁹ Segundo RODRIGUES (2007), apesar da relação econômica vantajosa para o álcool, alguns proprietários de carros flexíveis somente abastecem com gasolina.

Verifica-se na região Norte um preço mais elevado do álcool hidratado, inviabilizando, na maior parte do ano, a sua utilização nos veículos *flex-fuel*. Na região Nordeste e nos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, durante 10 meses o preço do álcool foi inferior a 70% do preço da gasolina. Nas outras regiões, o álcool hidratado foi utilizado 100% do tempo pelos carros flexíveis.

(b) Veículos a Diesel

Com relação à frota de veículos leves movida a diesel, foi estipulado que todos os veículos utilitários e uma parcela dos veículos caminhoneta são movidos a diesel. O percentual das caminhonetes movidas a diesel (71%) foi calculado de forma a obter a frota nacional de veículos leves a diesel, obtida a partir das vendas internas e da curva de sucateamento considerada.

(c) Veículos a GNV

A frota de veículos leves à GNV foi calculada a partir do histórico das vendas de cilindros por estado, de acordo com os dados do IBP (2007), sendo aplicada a curva de sucateamento desenvolvida.

(d) Veículos a Álcool

A estimativa da frota de veículos movidos a álcool foi feita a partir do consumo de álcool hidratado, fornecido pela ANP (2004b), descontando o consumo dos carros *flex-fuel*.

(e) Veículos a Gasolina

Por fim, o cálculo dos veículos movidos a gasolina foi feito de forma indireta, correspondendo ao restante dos veículos.

A Tabela 3-7 apresenta a frota de veículos leves dividida por tipo de combustível e por estado para o ano de 2004.

Tabela 3-7 – Distribuição da Frota de Veículos Leves por Tipo de Combustível em 2004

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
Gasolina	88,1%	84,1%	82,7%	82,1%	72,5%	81,2%	81,9%	83,6%	78,9%
Diesel	6,7%	4,3%	4,5%	3,0%	2,5%	1,9%	3,2%	4,0%	3,1%
Álcool	3,9%	5,6%	11,3%	12,7%	21,7%	3,2%	11,7%	5,5%	13,9%
GNV	0,0%	4,8%	0,1%	0,9%	2,0%	12,4%	1,9%	5,6%	2,8%
Flex-Fuel	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%	1,3%

Fonte: Elaboração própria

Verifica-se que em 2004 a frota de veículos leves era majoritariamente a gasolina com uma participação significativa de veículos a álcool em São Paulo (22%) e veículos a GNV no Rio de Janeiro (12%).

3.3.3 Desempenho Energético

O desempenho energético de um veículo é expresso como a distância percorrida pelo veículo com um litro de combustível (km/l). Ao longo dos anos a indústria automobilística tem trabalhado intensamente no sentido de aprimorar o desempenho energético dos veículos. Neste aspecto, além do desenvolvimento contínuo dos motores de combustão interna, destaca-se (RIBEIRO, 2002):

- Redução do coeficiente de penetração aerodinâmica;
- Uso de pneus de baixa resistência ao rolamento;
- Uso de ignição eletrônica no lugar dos antigos platinados eletromecânicos;
- Uso de injeção eletrônica de combustível;
- Diminuição do peso médio dos veículos;
- Desenvolvimento de combustíveis e óleos lubrificantes de melhor qualidade.

Deve-se ter em mente, no entanto, que não são apenas os fatores técnicos que interferem no desempenho energético dos veículos. Os veículos no meio urbano, por exemplo, apresentam menores desempenhos energéticos se comparados aos dos meios interurbano. Conforme destaca AZUAGA (2000), o veículo dentro da cidade consome

mais combustível principalmente por não conseguir manter uma velocidade constante a rotações mais altas do motor e pelo fato de o veículo ter de parar muitas vezes em sinais de trânsito. Outros aspectos como o estilo de condução, o estado de conservação dos veículos e das rodovias, congestionamentos, etc. exercem também um papel importante na determinação do desempenho energético da frota de veículos (MACHADO *et al.*, 2006).

A fim de estimar o desempenho energético dos ônibus, utilizaram-se os valores sobre quilometragem média percorrida por litro de diesel consumido fornecidos por ALZUGUIR (2006), que considera um desempenho de 3,0 km/l nos microônibus e 2,5 km/l nos ônibus. O desempenho dos caminhões pequenos foi considerado como sendo 4,0 km/l, e o dos caminhões grandes, considerou-se o valor de 2 km/l, valores estimados a partir de TRUK (2004). Para as motos, o desempenho energético utilizado foi o fornecido por WBCSD (2004) para a América Latina de 25 km/l. Vale lembrar que não foram consideradas variações regionais no desempenho energético dos ônibus, caminhões e motocicletas.

3.3.3.1 Veículos Leves

Para os veículos leves existem poucos trabalhos na bibliografia atual sobre o desempenho médio da frota. Algumas estimativas como CORREIA (1996) e ALZUGUIR (2006) indicam que o rendimento médio dos automóveis novos passou de 7,8 km/l em 1970, para 9,4 km/l em 1980 e para 14 km/l em 2000. Deve-se apontar, todavia, que estes valores representam informações técnicas dos veículos.

Logo, diante da escassez de pesquisas específicas sobre o desempenho médio da frota nacional de veículos leves, optou-se por levantar o desempenho energético dos veículos a gasolina testados pela revista Quatro Rodas no período de 1990 a 2004²⁰. Muitas foram as dificuldades encontradas para se obter estas informações, até porque os veículos são testados de forma aleatória, baseando-se, simplesmente, em interesses comerciais para maior vendagem da revista. Por isso, algumas considerações foram feitas:

²⁰ Este período foi considerado pois a vida média estimada dos veículos leves a gasolina é de 16,9 anos (ORNL, 2006), e de 1983 a 1989 as vendas no mercado interno de automóveis foi basicamente de veículos a álcool (87%) (ANFAVEA, 2006).

- Limitou-se aos dados das quatro principais montadoras²¹;
- Foi feita a média dos veículos testados em cada ano, dividindo-os em dois grupos: veículos com motor de mil cilindradas e outros veículos²²;
- Veículos com motor superior a duas mil cilindradas não foram considerados;
- Somente foram considerados os testes de desempenhos urbanos dos veículos;
- Por fim, admitiu-se que a média obtida dos veículos testados em cada ano, representava o desempenho médio dos veículos leves vendidos no ano em questão.

O Gráfico 3-4 ilustra os resultados obtidos, onde nota-se também a interpolação Lagrangiana feita. É importante destacar que este cálculo representa uma estimativa, não sendo exatamente o consumo apresentado nas ruas pelos veículos, afinal a revista não faz, necessariamente, o teste de desempenho com todos os veículos vendidos no ano, e, não obrigatoriamente a forma de realização do teste é similar à forma de direção média da população.

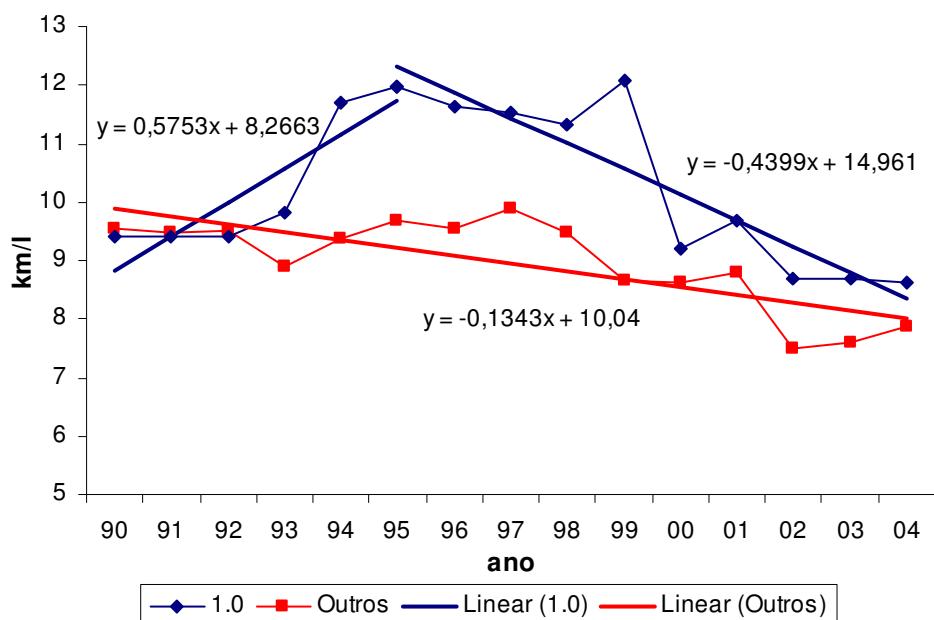


Gráfico 3-4 – Desempenho Médio dos Veículos Leves a Gasolina no Período de 1990 - 2004

Fonte: Elaboração Própria a partir de QUATRO RODAS (2007)

²¹ São elas: Fiat, Ford, General Motors e Volkswagen. Somadas elas dominaram as vendas ao mercado interno de veículos leves, com uma participação mercadológica média superior a 93% no período de 1980 a 2005 (ANFAVEA, 2006).

²² Somente foi considerado o primeiro teste realizado para os veículos testados mais de uma vez no ano.

O baixo desempenho energético, até o ano de 1993, dos veículos com motorização de um litro de capacidade cúbica tem explicação na tecnologia utilizada na construção dos seus motores, pois, com exceção do Uno Mille, os veículos foram adaptados de suas versões 1.6²³ (QUATRO RODAS, 2007). Somente em 1993, com o surgimento de novos veículos populares com aperfeiçoamento tecnológico, como a troca dos carburadores pelos injetores de combustível e a injeção eletrônica multiponto, é que se verificou um ganho de desempenho energético dos veículos de mil cilindradas em comparação aos outros veículos.

Certo é que, apesar dos ganhos tecnológicos, a partir de 1995 os veículos populares seguiram a lógica dos outros veículos no Brasil: a busca de maior potência e maior torque em detrimento do desempenho energético. Tal fato é corroborado ao analisar-se a potência dos veículos populares no Brasil. Os primeiros veículos de mil cilindradas tinham potência inferior a 50 cv. Já no meio da década de 90, estes veículos superavam 60 cv. A partir de 1997, com os veículos com 16 válvulas, os veículos possuíam potência superior os 70 cv. Mais recentemente, com o surgimento dos veículos populares turbo, passaram a existir carros de mil cilindradas com mais de 100 cv.

A partir do Gráfico 3-4, fez-se uma média ponderada entre os veículos de mil cilindradas e os outros veículos para obter a média do desempenho energético dos veículos a gasolina vendidos no Brasil, conforme apresentado no Gráfico 3-5.

²³ Os primeiros veículos populares lançados foram: Uno Mille, Chevette Junior, VW Gol e Ford Escort Hobby.

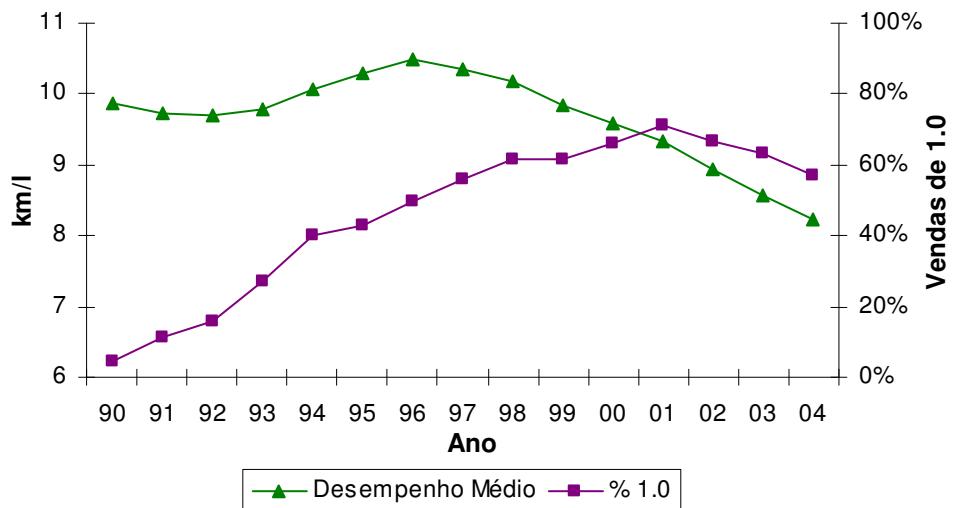


Gráfico 3-5 – Desempenho Médio dos Veículos Leves a Gasolina e Participação dos Veículos 1.0 nas Vendas Internas de Automóveis

Fonte: Elaboração Própria a partir de QUATRO RODAS (2007) e ANFAVEA (2006)

Verifica-se um crescimento quase que linear das vendas de veículos populares no Brasil até o ano de 2001, com uma ligeira queda logo após. Consequentemente, até o ano de 96 o desempenho energético médio urbano dos veículos a gasolina vendidos no Brasil girava em torno de 10 km/l. A partir de 1996, o desempenho médio dos veículos decresce de forma linear até atingir 8,2 km/l em 2004.

A fim de estimar o desempenho energético médio da frota de veículos a gasolina por estado, foram levadas em considerações algumas premissas:

- (a) A distribuição da frota de veículos por idade²⁴;
- (b) A população urbana foi usada como *proxy* para definir a participação da frota urbana de veículos nos estados;
- (c) Foi admitido que o desempenho energético dos veículos a gasolina que rodam em estradas é 47% superior ao desempenho urbano²⁵;
- (d) Assumiu-se que, na média, as pessoas de regiões urbanas utilizam muito pouco, ou esporadicamente, o veículo leve em estradas. Sendo assim, adotou-se que (AZUAGA, 2000):

²⁴ A frota de veículos leves por idade foi obtida a partir do histórico de vendas (ANFAVEA, 2006), da curva de sucateamento estimada e da distribuição dos veículos por idade fornecida pelo DENATRAN (2004), que, neste caso, é para todos os veículos (incluindo ônibus, caminhão e moto).

²⁵ Este valor representa a média de ganho de desempenho energético dos motores quando rodam em estradas, encontrado a partir de QUATRO RODAS (2004).

- Para as áreas urbanas:

$$CT = 0,90 \cdot CC + 0,10 \cdot CE \quad \text{Eq. (3-9)}$$

- Para as áreas rurais:

$$CT = 0,45 \cdot CC + 0,55 \cdot CE \quad \text{Eq. (3-10)}$$

Onde CT equivale ao consumo total; CC é consumo em cidade; e CE representa o consumo em estrada.

(e) Por fim, o ganho de desempenho energético só foi considerado nos percentuais das estradas que não obrigam a redução de velocidade (CNT, 2006).

A Tabela 3-8 exibe o resumo das premissas, o desempenho médio urbano e o desempenho médio da frota de veículos leves a gasolina no ano de 2004²⁶.

Tabela 3-8 – Desempenho Energético Médio da Frota de Veículos Leves por Estado (2004)

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
Desempenho Urbano (km/l)	9,60	9,65	9,66	9,71	9,78	9,78	9,73	9,69	9,39
População Urbana (%)	69,9	69,1	86,7	80,9	93,4	96,0	82,0	79,5	81,2
Tempo em Estradas (%)	23,6	23,9	16,0	18,6	13,0	11,8	18,1	19,2	18,4
Ganho (%)	13,7	14,2	8,9	12,0	8,3	7,8	11,6	12,4	11,2
Desempenho Energético (km/l)	10,53	10,63	10,28	10,55	10,36	10,32	10,54	10,55	10,45

Fonte: Elaboração Própria a partir de QUATRO RODAS (2007); RIBEIRO (2002); IBGE (2002) e DENATRAN (2004)

Os estados de São Paulo e Rio de Janeiro apresentam o maior desempenho energético urbano do país, fato explicado por possuírem a maior concentração de veículos com 8 anos de idade²⁷ (DENATRAN, 2004). Contudo, por possuírem uma população majoritariamente urbana, seus ganhos de desempenho por dirigir em estradas são baixos, apresentando assim, um desempenho energético médio inferior à média do Brasil que, para o ano de 2004, foi de 10,45 km/l.

²⁶ Note que foram desprezadas eventuais reduções do desempenho energético da frota em decorrência do envelhecimento do veículo.

²⁷ De acordo com o Gráfico 3-5, esta é a idade que os veículos possuem maior desempenho energético.

O desempenho dos veículos movidos a álcool foi considerado como sendo 15% inferior aos carros a gasolina, e o dos carros a GNV, 25% superior²⁸. O desempenho dos carros a diesel foi considerado como sendo 9 km/l, valor este obtido a partir de QUATRO RODAS (2004). No caso dos veículos *flex-fuel*, admitiu-se que este quando roda com gasolina apresenta um desempenho energético 7% inferior quando comparado com os veículos a gasolina, e quando roda a álcool apresenta um consumo específico 7% superior que de um veículo movido a álcool.

3.3.4 Quilometragem Média Percorrida

A quilometragem média percorrida por ônibus no ano de 2004 foi dividida em transporte urbano e interurbano. Os dados de estimativa da distância média percorrida pela frota urbana estão disponibilizados por capital. Deste modo, assumiu-se que o transporte coletivo urbano em todas as cidades de cada região se comporta como na média das capitais da região.

Para a frota interurbana de veículos, admitiu-se que todos os ônibus percorrem a mesma distância que a média nacional, de acordo com os dados fornecidos pela ANTT (2006). A Tabela 3-9 apresenta o resumo dos dados de quilometragem percorrida pelos ônibus urbanos e interurbanos por região onde, em virtude da falta de informações detalhadas, assumiu-se que os microônibus percorrem 50% da quilometragem média dos ônibus.

²⁸ Como a eficiência do motor ciclo Otto é proporcional à razão de compressão (RC) do motor, esta relação foi obtida da seguinte maneira:

$$\frac{PCI_{Combustível} \cdot RC_{Combustível}}{PCI_{Gasolina} \cdot RC_{Gasolina}}, \text{ onde:}$$

PCI = Poder Calorífico Inferior;

E os RCs foram considerados como sendo: $RC_{gasolina} = 10:1$; $RC_{álcool} = 12:1$.

Tabela 3-9 – Distância Média Percorrida Pelos Ônibus por Região (2004)

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
Ônibus Urbano (km/ano)	87.051	73.850	51.810	58.695	55.740	76.092	54.834	69.714
Ônibus Interurbano (km/ano)	113.364	113.364	113.364	113.364	113.364	113.364	113.364	113.364
Frota Interurbano (%)	2,63%	2,63%	2,63%	2,63%	2,63%	2,63%	2,63%	2,63%
Ônibus (km/ano)	87.743	74.888	53.427	60.131	57.254	77.071	56.372	70.861
Microônibus (km/ano)	43.871	37.444	26.714	30.066	28.627	38.535	28.186	35.430

Fonte: NTU (2005); ANTT (2006); CETURB-GV (2007) e EMTU (2005)

Nas regiões Norte e Nordeste e no estado do Rio de Janeiro verificam-se as maiores distâncias percorridas pelos ônibus urbanos com valores superiores a 75 mil quilômetros por ano. Já a região Centro-Oeste possui a menor quilometragem média percorrida pelos ônibus urbanos no país, com 51 mil quilômetros.

Para os caminhões, a distância anual média percorrida foi calculada indiretamente, a partir do consumo de diesel nos estados, descontando o consumo dos ônibus e dos veículos leves a diesel, como mostrado na Tabela 3-10. De forma similar aos ônibus, assumiu-se que os caminhões pequenos percorrem 50% da distância dos caminhões grandes.

Tabela 3-10 – Distância Média Percorrida Pelos Caminhões Dentro de Cada Região (2004)

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
Caminhão Grande (km/ano)	123.132	51.274	90.144	47.945	43.580	34.728	65.687	31.271
Caminhão Pequeno (km/ano)	61.566	25.637	45.072	23.972	21.790	17.364	32.844	15.635

Fonte: Elaboração Própria

Nas regiões Norte e Centro-Oeste os caminhões percorrem as maiores distâncias anuais, o que é comprovado pela extensão territorial destas regiões, as duas maiores regiões do país. De forma análoga, os estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo apresentam as menores distâncias, representando as menores regiões da simulação.

A quilometragem média percorrida pelas motos de 7.500 quilômetros por ano foi obtida a partir de WBCSD (2004), dado este estimando para a América Latina.

3.3.4.1 Veículos Leves

A quilometragem média anual percorrida pelos veículos leves pode ser determinada em função da renda familiar, onde, as famílias de rendas mais altas utilizam mais o automóvel; função também do preço do combustível; e função da idade do veículo, haja vista que veículos mais velhos percorrem menores distâncias por serem menos confiáveis que os veículos mais novos.

Todavia, o único trabalho na bibliografia atual sobre quilometragem média percorrida, somente relaciona a quilometragem com a idade do veículo. Esta pesquisa foi realizada por MURGEL (1990) para os veículos do estado de São Paulo.

De acordo com o estudo, verificou-se que os veículos novos percorrem em seu primeiro ano de uso aproximadamente 22 mil quilômetros, reduzindo-se este número à medida que o automóvel envelhece, chegando-se aos veículos com mais de onze anos de fabricação, que percorrem uma média anual de 9 mil quilômetros.

Evidentemente, este valor não retrata bem a realidade de todas as regiões do país. Cada região brasileira possui características sócio-econômicas próprias, como por exemplo, o perfil do proprietário do automóvel, a quantidade de rodovias e a condição das vias. Além disto, este valor não indica, necessariamente, a quilometragem observada nos dias de hoje, podendo, desta forma, levar a possíveis discrepâncias nos resultados finais.

Por isto, a quilometragem média anual dos veículos leves foi calculada indiretamente, a partir dos dados de consumo energético do setor. Ou seja, este foi o parâmetro de ajuste do modelo. A Tabela 3-11 mostra o valor encontrado da quilometragem média percorrida pelos veículos leves, excetuando-se os veículos leves a GNV, por regiões.

Tabela 3-11 – Distância Média Percorrida Pelos Veículos Leves por Região (2004)

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
Total (km/ano)	16.596	12.622	11.779	9.231	8.405	8.747	9.950	10.380
Urbano (km/ano)	12.687	9.603	9.898	7.516	7.316	7.717	8.149	8.385
Interurbano (km/ano)	3.909	3.019	1.881	1.715	1.090	1.031	1.801	1.994

Fonte: Elaboração Própria

O estado de São Paulo apresenta a menor quilometragem média percorrida pelos veículos leves, o que talvez pudesse ser explicado em função dos elevados congestionamentos no estado, reduzindo a velocidade média dos veículos e, também, como função do rodízio de veículos, onde algumas famílias possuem dois ou mais automóveis para se adequar ao rodízio. Nos estados do Norte e Nordeste, uma primeira análise pode induzir que nestes estados os veículos leves percorrem as maiores distâncias anuais do país. Entretanto, uma possível explicação para estes altos valores é a elevada concentração de veículos sem registro nestes estados, superestimando, assim, a quilometragem média percorrida pela frota.

Para os veículos leves a GNV, o cálculo foi feito de forma similar, sendo apurado indiretamente. Neste caso, considerou-se a mesma quilometragem média para todas as regiões, porque estes veículos, em sua maioria, têm um uso comercial, o que os difere dos veículos com uso estritamente pessoal. O valor total encontrado foi de 36.000 km/ano, aproximadamente o triplo da distância percorrida pelos outros veículos leves.

3.3.5 Fator de Capacidade

O fator de capacidade dos veículos de passageiros é expresso pela relação passageiro por veículo, enquanto que para os veículos de carga é utilizada a relação tonelada transportada por veículo. Neste trabalho, o fator de capacidade foi utilizado para obter o efeito atividade de cada modal, não tendo sido consideradas variações regionais. Para os veículos de passageiros, foram utilizados os seguintes dados, estimados a partir de IPCC (2007), CNT (2002), SCHAEFFER *et al.* (2004) e REAL e BALASSIANO (2001):

- Veículos Leves: 1,5 passageiro por veículo;
- Motocicletas: 1,0 passageiro por veículo;
- Ônibus: 40 passageiros por veículos;
- Microônibus: 12 passageiros por veículo.

Com relação aos dados de fator de capacidade para o transporte de carga (tonelada por veículo), foram utilizados os dados do Brasil de acordo com SCHAEFFER *et al.* (2004)

de 6 toneladas por veículo para caminhões pequenos e de 11 toneladas por veículo para os caminhões grandes.

3.3.6 Efeito Atividade

A atividade veicular é calculada pelo modelo de acordo com a Eq. 3-3. A atividade de passageiros (passageiro-quilômetro) está dividida pelos modos de transportes: veículos leves, motocicletas, ônibus e microônibus. Já a atividade relativa ao transporte de carga (tonelada-quilômetro) está dividida no transporte por caminhão grande e pequeno. Esta divisão e os respectivos valores podem ser observados no Gráfico 3-6 e no Gráfico 3-7.

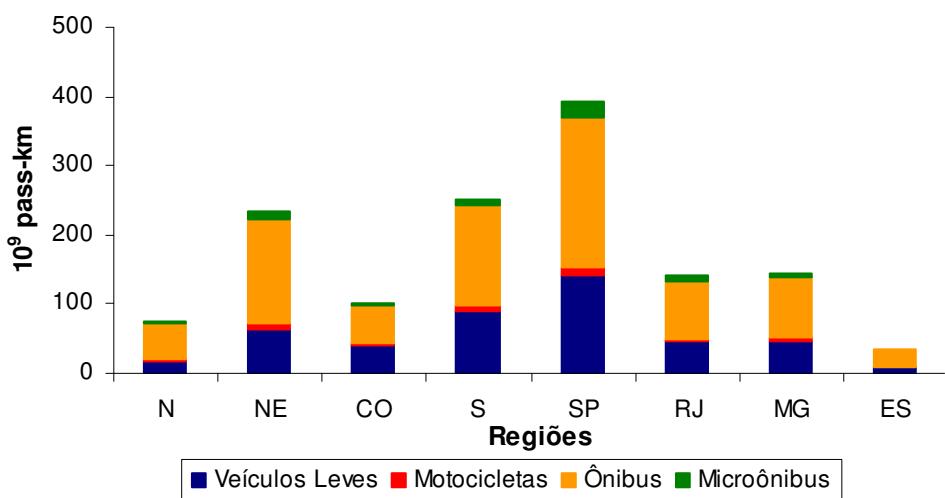


Gráfico 3-6 – Efeito Atividade no Transporte de Passageiros (2004)

Fonte: Elaboração Própria

O efeito atividade total de passageiros no país foi de $1,4 \times 10^{12}$ passageiros-quilômetros, onde nota-se a expressiva representatividade do estado de São Paulo, com 28% do total da atividade de passageiros do país. Apesar das significativas variações regionais verificadas, é evidente a participação, de forma praticamente constante, do transporte individual (veículos leves e motocicletas) nas regiões, que, em média, representa 34% da atividade de passageiros de cada região.

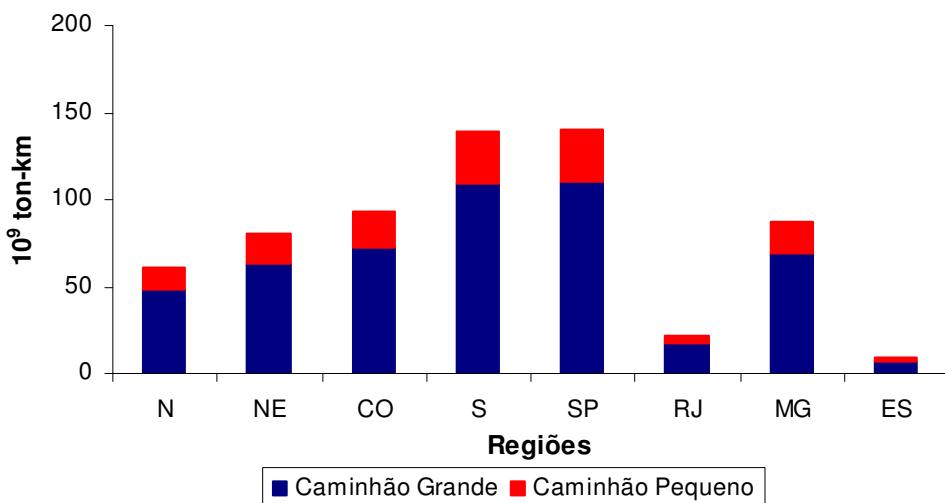


Gráfico 3-7 – Efeito Atividade no Transporte de Carga (2004)

Fonte: Elaboração Própria

O efeito atividade do transporte de carga se apresenta de forma menos heterogênea comparado com a atividade de passageiros. No total o país transportou 631×10^9 toneladas-quilômetros no ano de 2004, no qual os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo tiveram as menores participações do país, com 3,4% e 1,4% respectivamente.

3.3.7 Emissões de Dióxido de Carbono

As emissões veiculares de CO₂ foram encontradas considerando o fator de emissão fornecido por IPCC (2006) da combustão da gasolina, diesel e gás natural. É importante destacar que as emissões de dióxido de carbono derivadas do álcool hidratado e do álcool anidro não foram contabilizadas, pois assumiu-se que todo o carbono emitido é reabsorvido durante a fotosíntese no cultivo da biomassa (cana-de-açúcar)²⁹. A emissão total veicular encontrada para o ano de 2004 foi de 145 Mt de CO₂³⁰.

²⁹ De acordo com MACEDO *et al.* (2004), existe uma baixa emissão de CO₂ na fase de produção do álcool, próximo de 10% de emissão que o mesmo volume de gasolina emitiria, já que são utilizados de 8 a 10% de energia fóssil para produzir álcool. Entretanto, para simplificação do modelo, este valor foi desconsiderado.

³⁰ Este valor é 9% superior ao fornecido por IEA (2006b) de 133 Mt de CO₂.

Para determinar as emissões totais, foi estimado que as emissões veiculares representam 85% das emissões da cadeia³¹. O Gráfico 3-8 exibe as emissões totais do modal rodoviário no ano de 2004 para as regiões consideradas na simulação.

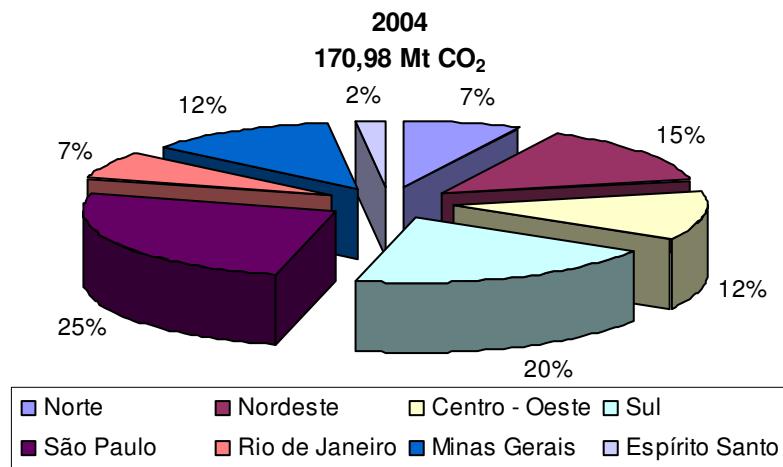


Gráfico 3-8 – Participação Regional nas Emissões de CO₂ do Setor Automotivo (2004)

Fonte: Elaboração Própria

Em 2004, de acordo com as estimativas, foram liberadas para a atmosfera 171 milhões de toneladas de dióxido de carbono oriundas do modo de transporte rodoviário no Brasil, incluindo toda a cadeia produtiva do combustível. O estado de São Paulo e a Região Sul foram responsáveis por 45% desta emissão, seguidos do Nordeste, Minas Gerais e Espírito Santo.

3.3.8 Consumo Energético

O consumo de combustíveis no setor de transporte rodoviário é determinado conforme a Eq. 3-2. A Tabela 3-12 apresenta o consumo de combustíveis dos derivados de petróleo, gás natural e álcool no setor por região.

³¹ Este valor foi baseado em IEA (2004), onde as emissões veiculares representam de 84 a 88% das emissões totais. Ademais, SZKLO e SCHAEFFER (2006) afirmam que de 7 a 15% do petróleo produzido é consumido nas refinarias.

Tabela 3-12 – Consumo de Combustíveis por Regiões (2004) (Milhões de litros)

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
Gasolina C	1.125	3.410	2.284	4.870	6.697	1.848	2.518	422	23.174
Gasolina A	844	2.557	1.713	3.652	5.023	1.386	1.888	317	17.380
AEA	281	852	571	1.217	1.674	462	629	106	5.793
AEH	55	283	377	905	2.327	110	421	37	4.513
GNV	0	394	9	156	588	893	152	72	2.264
Diesel	3.422	5.622	4.906	8.121	9.299	2.139	5.016	702	39.226

Fonte: Elaboração Própria

Como era de se esperar, observa-se que os resultados encontrados, depois de aplicadas todas as variáveis-chaves analisadas, são os mesmos fornecidos pelos dados oficiais da ANP (2004b). Para fins comparativos, converteram-se os valores obtidos para valores energéticos, conforme apresentado no Gráfico 3-9³².

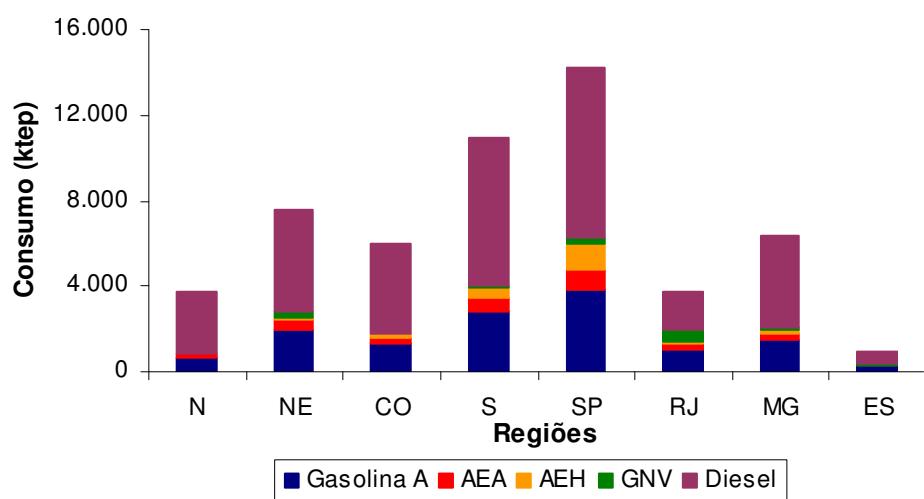


Gráfico 3-9 – Consumo Energético por Regiões por Tipo de Combustível (2004)

Fonte: Elaboração Própria

O combustível mais consumido pelo setor de transporte rodoviário no Brasil é o diesel, que, em 2004, representava 62% do consumo do setor. O segundo combustível mais demandado é a gasolina, representando 25% do consumo do setor. O estado de São Paulo consome 27% da energia demandada pelo país no setor de transporte rodoviário,

³² Apesar de o modelo ter sido balizado com os dados oficiais da ANP, verificou-se uma ligeira diferença em comparação com os dados do Balanço Energético Nacional. O consumo total do setor encontrado foi de 53 Mtep, enquanto, segundo MME (2006), este consumo foi de 48 Mtep.

dos quais 56% é consumo de diesel. O estado do Rio de Janeiro é o maior consumidor de GNV do país, demandando 39% deste combustível.

Após a compreensão do posicionamento do sistema de transporte do Brasil dentro do contexto internacional estudado no segundo capítulo, e a determinação das suas características técnicas enfocadas no presente capítulo, é possível realizar projeções do seu consumo de energia a longo prazo. Todavia, conforme já discutido anteriormente, a ausência de dados sobre o setor impossibilita realizar estas projeções com precisão. Deste modo, apenas para exemplificar a capacidade do modelo desenvolvido, foram criadas duas projeções fictícias para o consumo energético do setor, como será visto nos Capítulos 4 e 5.

CAPÍTULO 4 – CENÁRIO REFERÊNCIA DO CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RODOVIÁRIO

O capítulo anterior abordou as variáveis e os parâmetros relevantes no setor de transportes rodoviário para o ano base da simulação – 2004, e calculou o efeito atividade, as emissões de CO₂ e o consumo de energia resultante de cada região considerada. Este consumo é compatível com aquele fornecido pela ANP (2004b) para o mesmo ano base.

Neste capítulo, elabora-se o cenário referência da projeção do consumo energético, do efeito atividade e das emissões de GEE do setor de transporte rodoviário, num horizonte de 25 anos, a partir da evolução das variáveis anteriormente estudadas. Tendo em vista a carência de dados a respeito do setor automotivo, esta simulação foi feita apenas como exercício para demonstrar o potencial do modelo desenvolvido. Esta projeção não deve ser vista como provável, necessitando ser revista ao passo que novos dados sobre o setor sejam disponibilizados.

Neste cenário, não são previstas rupturas ou mudanças drásticas na trajetória das variáveis-chaves do modelo no horizonte de análise, sendo mantidas as tendências setoriais já em curso. Assim sendo, as principais variáveis de análise desta projeção são mantidas constante ou são atreladas ao crescimento econômico e populacional, caracterizando um cenário tendencial com a manutenção da estrutura atual do setor automobilístico do país. De forma similar à construção do ano base, o segmento de veículos leves será mais bem detalhado neste capítulo por ser o segmento com maior potencial de redução do consumo energético. Tendo em vista a melhor avaliação das premissas e hipóteses de trabalho adotadas nesse estudo, estas são apresentadas a seguir separadamente por modal.

4.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PASSAGEIROS

No que diz respeito ao modal rodoviário de passageiro, a construção do cenário referência prevê uma tendência inerente à concentração nos automóveis em detrimento do transporte coletivo realizado por ônibus, devido ao aumento do poder aquisitivo da população e a inexistência de políticas de incentivo ao transporte público. Tal tendência

eleva o nível de congestionamento nas cidades, o que com a ausência de infra-estrutura adequada, reduz o desempenho energético dos veículos, e aumenta substancialmente o consumo de combustível do setor.

4.1.1 Veículos Leves

De uma maneira simplificada, pode-se dizer que os principais fatores a serem observados numa modelagem de demanda por combustíveis no segmento de veículos de passeio são: a frota por tipo de combustível, o desempenho energético médio dos veículos por tipo de combustível e a quilometragem média percorrida por veículo. Todavia, o comportamento dessas variáveis encontra-se fortemente associado a certos condicionantes. A seguir, apresentam-se as premissas assumidas para essas variáveis e para o fator de capacidade dos veículos, utilizado na projeção do efeito atividade do segmento.

4.1.1.1 Premissas de Evolução da Frota

A projeção da frota de veículos leves no período de simulação foi baseada na contraposição das taxas de crescimento das vendas de veículos novos e de sucateamento de veículos existentes. De acordo com MACHADO *et al.* (2006), as vendas de veículos novos são influenciadas, sobretudo, pelo crescimento da economia e por modificações nas formas de financiamento, enquanto a escolha do tipo de combustível é, em geral, afetada pelo preço dos veículos e de seu combustível *vis-à-vis* os demais. Ressalve-se, contudo, que o advento dos multi- e bi-combustíveis tende a reduzir, consideravelmente, a relevância dos preços relativos dos combustíveis para a decisão de compra do tipo de veículo.

Embora no passado modificações na forma de financiamento (existência de restrições para empréstimos de financeiras, consórcios e leasing) tenham afetado, significativamente, o patamar de vendas (DE NEGRI, 1998), não se considerou nesse estudo modificações dessa natureza, em consonância com MACHADO *et al.* (2006). Primeiro, porque se acredita que no atual estágio de desenvolvimento da economia brasileira as autoridades monetárias não deverão mais utilizar instrumentos normativos para a gestão de demanda em mercados específicos. Segundo, porque tais modificações são exógenas e de difícil previsão.

Assim, as vendas de veículos novos foram atreladas diretamente ao crescimento econômico de cada região. Foi considerado como *proxy* do crescimento da economia, o PIB *per capita* de cada região, sendo admitida uma elasticidade renda para a demanda de automóveis³³. As premissas de crescimento econômico utilizadas estão apresentadas na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Taxa de Crescimento Médio Anual do PIB (%)

Período	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
2005-2007	2,8	1,8	2,9	2,9	2,9	2,8	3,0	3,5
2008-2011	3,8	3,0	3,0	3,8	3,4	2,9	4,0	4,8
2012-2015	3,2	3,1	2,7	3,8	3,6	3,4	3,6	4,1
2016-2019	3,4	3,2	2,9	3,8	3,6	2,9	4,1	5,3
2020-2023	3,4	3,1	2,7	3,9	3,6	3,0	4,3	5,5
2023-2030	3,4	3,1	2,7	3,9	3,6	3,0	4,3	5,5

Fonte: MT, 2007

No cenário macroeconômico adotado, o PIB nacional crescerá em média 3,5% a.a. no período de 2005 a 2030. Este valor sugere um país bem mais estável em comparação com as duas últimas décadas, com menor vulnerabilidade externa, menor inflação e juros, e com um governo fiscalmente mais equilibrado.

No entanto, esta é uma taxa de crescimento da economia relativamente modesta para o que se poderia imaginar para o futuro³⁴. Segundo MT (2007), isto se deve a dois fatores: primeiro, embora apresente contínuas melhorias em todo o horizonte temporal, o nível educacional médio do brasileiro continuará a ser muito abaixo do desejável. Segundo, a distorção tributária associada ao baixo investimento público ainda irá limitar a taxa de investimento (privado) a níveis inferiores àqueles de outros países emergentes. Esta combinação, de pouco capital humano com incentivos à acumulação do capital privado, irá comprometer o crescimento da produtividade e, com isso, limitar o desenvolvimento econômico.

³³ A elasticidade-renda da demanda é utilizada para descrever como a quantidade demandada reage à variação na renda (VARIAN, 2006). Sua definição é:

Elasticidade-renda da demanda = Variação percentual na quantidade / variação percentual na renda.

³⁴ De acordo com IBGE (2007b), no acumulado de janeiro a setembro de 2007, o PIB cresceu 5,3%, em relação a igual período de 2006.

De acordo com MT (2007), o crescimento econômico considerado deve ser puxado pelo crescimento da indústria extrativa e das indústrias com alta intensidade tecnológica. Assim, espera-se um crescimento mais intenso da demanda de bens direta ou indiretamente relacionados com a base de recursos naturais, como também deve aumentar o conteúdo de inovação e tecnologia na produção de bens. Os setores de serviços e agropecuário, por sua vez, perderão espaço na economia brasileira e apresentarão taxas de crescimento anual abaixo da média nacional.

Deste modo, a região Sul e os estados de Minas Gerais e Espírito Santo possivelmente apresentarão taxas superiores à média nacional, com destaque para o Espírito Santo, com crescimento médio anual de 5,0%, devido à importância da indústria de alta intensidade tecnológica nestas regiões. A região Centro-Oeste, neste cenário, apresenta o menor crescimento econômico do país, com taxa média anual de 2,8%, como consequência da dependência dos recursos naturais na região. A Tabela 4-2 exibe a projeção do PIB de cada região em valor absoluto.

Tabela 4-2 – Projeção do PIB das Regiões (Bilhões de Reais)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
2005	96	253	137	331	562	229	172	36	1.815
2010	114	286	158	392	658	264	205	44	2.121
2015	134	333	182	473	785	311	245	54	2.517
2020	159	390	209	570	935	360	301	70	2.993
2025	187	455	239	689	1.113	417	371	92	3.562
2030	221	531	274	833	1.325	482	457	119	4.242

Fonte: IBGE, 2004a e MT, 2007

Em 2030, este cenário macroeconômico prevê que o PIB nacional poderá superar quatro trilhões de reais, e a participação de cada região não deverá sofrer alteração significativa em relação a 2005.

Para projetar o crescimento populacional, foi considerado que todas as regiões crescerão à mesma taxa da média nacional. A Tabela 4-3 apresenta a projeção da população das oito regiões consideradas.

Tabela 4-3 – Projeção da População das Regiões (Milhões de Habitantes)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
2005	14,6	51,1	13,0	27,0	40,4	15,4	19,3	3,4	184,2
2010	15,6	54,7	13,8	28,9	43,2	16,5	20,6	3,6	196,8
2015	16,5	57,9	14,7	30,6	45,7	17,5	21,8	3,8	208,5
2020	17,3	60,8	15,4	32,1	48,1	18,3	22,9	4,0	219,1
2025	18,1	63,6	16,1	33,6	50,2	19,2	23,9	4,2	228,9
2030	18,8	66,0	16,7	34,9	52,1	19,9	24,9	4,4	237,7

Fonte: IBGE, 2004b; IBGE, 2004c

A projeção populacional feita por IBGE (2004c) é de que a população do Brasil passará de 184 milhões de habitantes, em 2005, para 237 milhões, em 2030, o que representa um crescimento médio anual de 1%. Com esta projeção, estima-se que o estado de São Paulo poderá ter uma população superior a 50 milhões de habitantes em 2030, se aproximando da atual população de alguns países europeus, como Itália, Inglaterra e França³⁵.

De acordo com a projeção, os indicadores de fecundidade e de mortalidade não experimentarão alterações significativas no país. Entretanto, projeta-se uma redução na mortalidade na infância com a melhoria do serviço de saúde e do número de atendimentos pré-natais. A mortalidade masculina, por sua vez, poderá superar 4 vezes a mortalidade feminina, em 2030, devido à violência e acidentes de trânsito (IBGE, 2006).

Uma vez obtidas as projeções do PIB e da população para o período de simulação, pode-se calcular o PIB *per capita* de cada região, como mostrado na Tabela 4-4.

³⁵ A população atual da Itália, Inglaterra e França é de 58, 60 e 61 milhões de habitantes, respectivamente (UNPD, 2006).

Tabela 4-4 – Projeção do PIB per Capita das Regiões (Mil Reais por Habitante)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
2005	6,6	4,9	10,5	12,3	13,9	14,8	8,9	10,5	9,9
2010	7,3	5,2	11,4	13,6	15,3	16,0	9,9	12,1	10,8
2015	8,1	5,8	12,4	15,5	17,2	17,8	11,2	14,1	12,1
2020	9,1	6,4	13,6	17,7	19,5	19,6	13,1	17,3	13,7
2025	10,3	7,2	14,9	20,5	22,2	21,7	15,5	21,7	15,6
2030	11,8	8,0	16,4	23,9	25,4	24,2	18,4	27,2	17,8

Fonte: IBGE, 2004a; IBGE, 2004b; IBGE, 2004c e MT, 2007

A partir do cenário macroeconômico considerado, o PIB *per capita* nacional poderá passar para, aproximadamente, 18 mil reais por habitante, em 2030, sendo mantidas as atuais disparidades regionais: as regiões Sul e Sudeste deverão possuir um PIB *per capita* quase três vezes superior ao PIB *per capita* das regiões Norte e Nordeste.

As vendas totais de veículos novos foram projetadas a partir do PIB *per capita* de cada região considerando uma elasticidade-renda da demanda por automóveis de 1,3. Este valor foi estimado a partir de DE NEGRI (1998), que encontrou uma elasticidade-renda da demanda por automóveis no Brasil, para os anos 90, entre 1,1 e 1,5. O Gráfico 4-1 exibe as vendas totais de veículos leves em cada região do país para o período de 2005 a 2030.

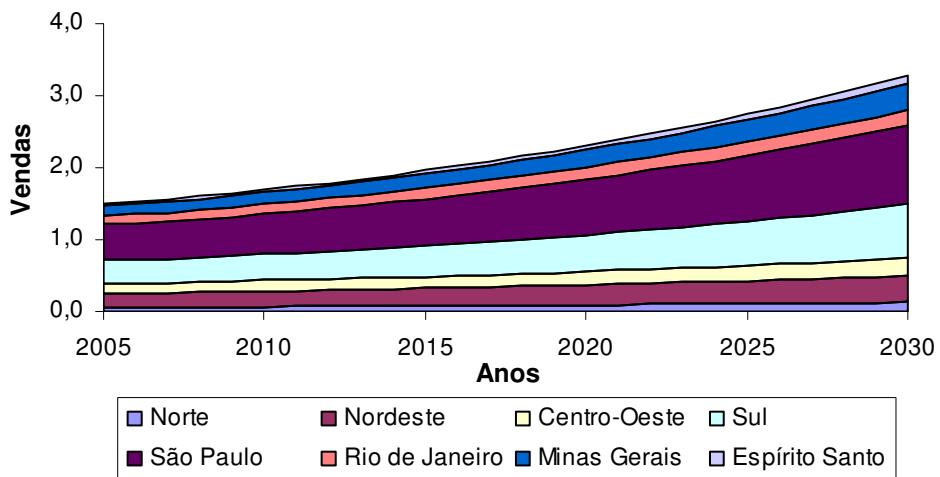


Gráfico 4-1 – Projeção das Vendas de Veículos Leves por Região (Milhões de Veículos)

Fonte: Elaboração Própria

A projeção das vendas totais de veículos leves no Brasil, a partir das hipóteses assumidas, é de que estas poderão dobrar, passando de 1,5 milhão de veículos vendidos em 2005, para 3,3 milhões em 2030, o que resulta em uma taxa média de crescimento anual das vendas em torno de 3%³⁶.

Na determinação do tipo de combustível de cada veículo vendido, foi assumido que a participação dos veículos leves a diesel nas vendas totais será igual à participação deste veículo na frota total de cada região no ano base, sendo esta participação mantida constante ao longo dos anos. Esta hipótese segue a tendência histórica de vendas de veículos leves a diesel no país que, desde o início da década de 80, é praticamente constante, oscilando entre 3 e 6% das vendas totais.

Para os veículos a GNV, apesar do seu expressivo crescimento no país nos últimos anos, fez-se a mesma consideração de venda dos veículos a diesel. A participação dos veículos leves a GNV nas vendas totais será igual à participação deste veículo na frota total de cada região em 2004. Esta consideração foi feita, pois se acredita que o GNV aparece como um elemento complementar na matriz energética nacional, tendo em vista a crescente importância do consumo de gás natural para fins industriais e comerciais, com destaque para a geração de energia elétrica. Por isto, acredita-se que haverá

³⁶ Esta estimativa mostra-se conservadora quando comparado com os anos de 2006 e 2007. Segundo ANFAVEA (2008), as vendas totais de veículos leves no país, em 2006, foram de 1,8 milhão de veículos, enquanto que em 2007 atingiram o patamar de dois milhões. Contudo, não é de se esperar que no longo prazo se mantenha esta atual taxa de crescimento altista do setor, superior a 10%.

redução do incentivo para a conversão dos veículos para GNV. Soma-se a isto, a introdução no mercado automobilístico dos veículos flexíveis, que já oferecem ao consumidor o poder de escolha do combustível. Consequentemente, não foi projetado um crescimento relativo das vendas de veículos a GNV, e sim a manutenção do atual patamar.

Foi considerado também que somente os veículos importados serão a gasolina, sendo mantida a participação nas vendas destes veículos de 5,3%, valor este verificado em 2004 (ANFAVEA, 2006), constante ao longo dos anos da simulação. No caso dos veículos a álcool, foi considerado que estes veículos não serão mais vendidos no país em consequência da entrada dos carros flexíveis. Já os veículos *flex-fuel* representarão os restantes dos veículos vendidos.

Estas hipóteses estão em conformidade com a atual conjuntura do mercado automobilístico nacional. Em 2007, de acordo com ANFAVEA (2008), a venda de veículos *flex-fuel* representou 86% das vendas totais de veículos leves no país, enquanto a participação dos automóveis a gasolina foi de 10%. Os veículos a diesel representaram 4% das vendas totais e não houve venda de carros a álcool no país. Em janeiro de 2008, a participação dos automóveis flexíveis aumentou para 88% e a dos veículos a gasolina reduziu para 8%³⁷ (ANFAVEA, 2008).

No que diz respeito à taxa de sucateamento de veículos existentes, foi utilizada a curva de sucateamento estimada, de acordo com o histórico das vendas, apresentada no Gráfico 3-1. Deste modo, foi obtida a projeção da frota de veículos leves no país, conforme exibido no Gráfico 4-2.

³⁷ Note que não foram colocados os dados de veículos vendidos a GNV no país, pois estes veículos não são vendidos, e sim convertidos. De acordo com IBP (2007), em 2006, 272 mil veículos foram convertidos, o equivalente a 15% dos veículos leves vendidos no país no mesmo ano.

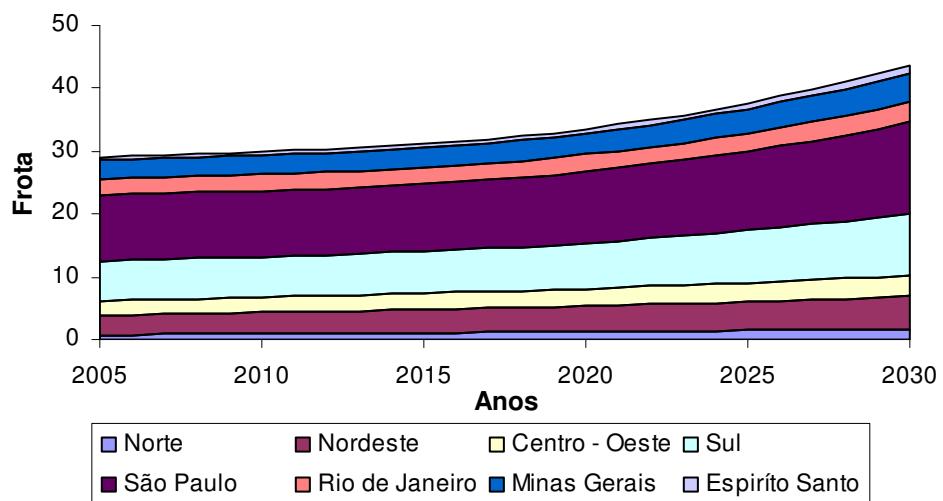


Gráfico 4-2 – Projeção da Frota de Veículos Leves por Região (Milhões de Veículos)

Fonte: Elaboração Própria

A projeção da frota de veículos leves é de que haja um crescimento médio anual em torno de 2%, entre 2005-2030, podendo passar de 29 milhões de veículos, em 2005, para quase 44 milhões de veículos, em 2030. O estado do Espírito Santo tende ter o maior crescimento da frota, com taxas anuais superiores a 3,5%, elevando a sua participação na frota total nacional de 1,7% para 2,7% em 2030, como consequência do expressivo crescimento das vendas de veículos leves nesta região. Com relação à composição da frota de veículos leves, as hipóteses consideradas conduzem à penetração crescente dos carros *flex-fuel* ao longo dos anos, como pode ser visto no Gráfico 4-3 e na Tabela 4-5.

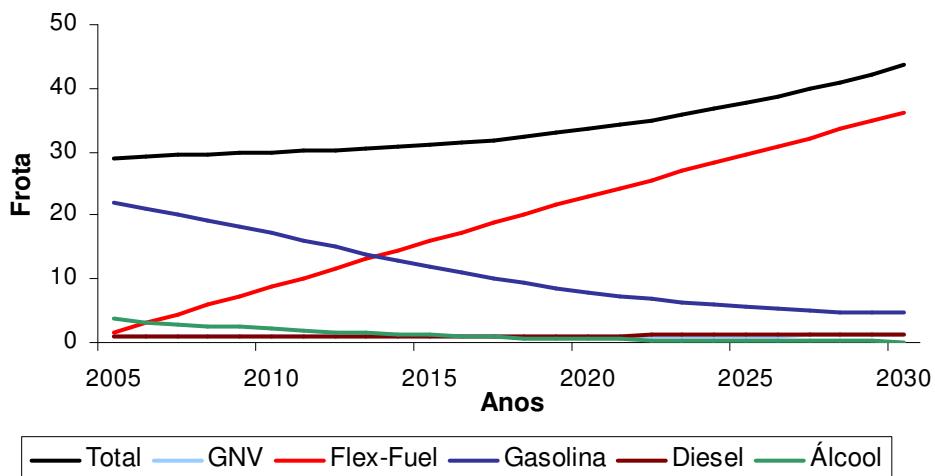


Gráfico 4-3 – Projeção da Frota de Veículos Leves no Brasil por Tipo de Combustível

(Milhões de Veículos)

Fonte: Elaboração Própria

As suposições assumidas para a projeção da frota de veículos leves levam a crer que a frota de automóveis flexíveis no Brasil será superior a frota de veículos a gasolina em 2014, atingindo um valor de 36 milhões de veículos em 2030. A frota de veículos a gasolina, decrescente ao longo dos anos, poderá ficar inferior a 5 milhões de veículos no final do período de simulação. Quanto à frota a GNV, a estimativa é de que esta, em 2030, se mantenha próxima ao patamar atual de 1,2 milhão de veículos.

Tabela 4-5 – Participação dos VL por Tipo de Combustível em Cada Região – 2030 (%)

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
Gasolina	9,6	10,3	10,6	10,6	10,5	11,3	10,6	9,4	10,5
Flex-Fuel	83,8	80,6	84,5	85,3	84,4	74,2	84,1	81,0	83,2
GNV	0,0	4,8	0,2	0,9	2,0	12,5	1,9	5,6	2,7
Álcool	0,1	0,1	0,3	0,3	0,6	0,1	0,3	0,1	0,3
Diesel	6,5	4,2	4,5	2,9	2,5	1,9	3,2	4,0	3,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaboração Própria

A projeção realizada também indica que o estado do Rio de Janeiro possivelmente permanecerá com a maior parcela de veículos a GNV, 12%, e a região Norte com a maior participação de veículos a diesel.

No que tange a projeção da utilização de álcool pelos veículos *flex-fuel*, foi considerado o mesmo percentual de utilização em cada região verificado em 2004, como apresentado na Tabela 3-6. Esta consideração foi baseada no comportamento similar dos preços da gasolina e do álcool no Brasil entre 1998 e 2007, como ilustrado no Gráfico 4-4.

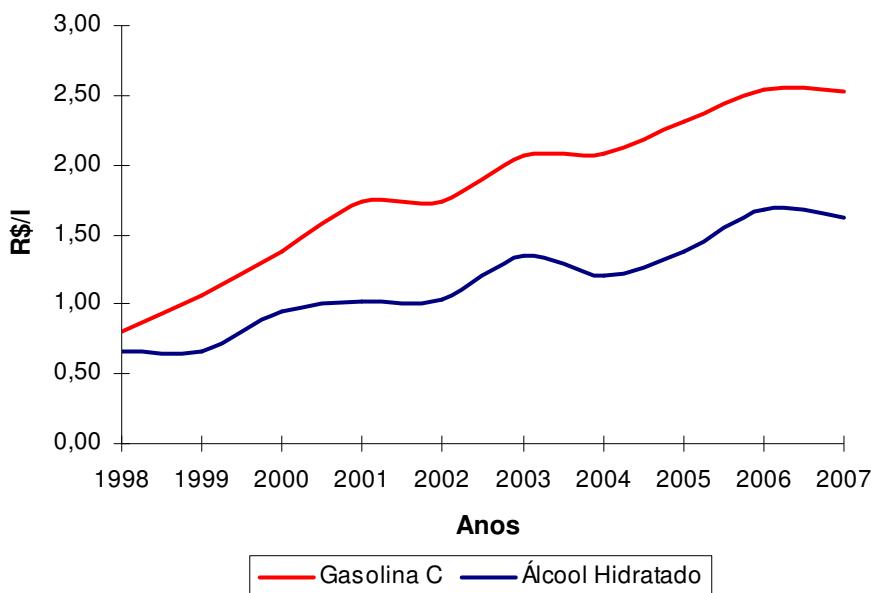


Gráfico 4-4 – Preço Médio da Gasolina C e do Álcool Hidratado no País

Fonte: Elaboração Própria a partir de ANP (2007)

A partir do gráfico é possível verificar que o preço do álcool hidratado tende a acompanhar o preço da gasolina, seguindo praticamente a mesma variação. No período analisado (1998-2007), com exceção do primeiro ano, a proporção entre o preço médio do álcool hidratado e da gasolina por litro no país ficou entre 60 e 70%. Nesta simulação, considerou-se que esta mesma relação entre os preços será mantida no período de 2005 a 2030³⁸. Ou seja, o preço do álcool permanecerá variando da mesma forma que o preço da gasolina, de modo que o consumidor possivelmente continuará utilizando álcool no veículo flexível na mesma proporção que em 2004³⁹.

Todavia, alguns fatores que podem pressionar o preço do álcool no mercado interno para cima ou para baixo no período da projeção não estão sendo considerados. Como

³⁸ De fato, como o Gráfico 4-4 mostra, no período de 2005 a 2007, esta hipótese se mostra coerente.

³⁹ Nota-se que, assim como no ano base, a utilização de álcool está sendo estritamente baseada em parâmetros econômicos, desprezando-se qualquer outro aspecto que possa influenciar na utilização do combustível nos veículos flexíveis (como confiança na tecnologia, influência social etc.), o qual, às vezes, pode ter impacto maior que o próprio preço do combustível.

por exemplo, o maior desenvolvimento do mercado internacional de álcool, aumentando as exportações do país, podendo aumentar o preço do combustível, e a expansão agrícola para a produção da cana de açúcar, podendo reduzir o preço do álcool nas regiões de expansão. Contudo, estes são parâmetros de difícil avaliação, e por isto não foram considerados na simulação⁴⁰.

4.1.1.2 Premissas de Evolução da Quilometragem Média

Neste cenário, a quilometragem média percorrida pelos veículos leves foi mantida constante em relação ao ano base da simulação, o que, devido ao aumento da frota, à ausência de investimentos em infra-estrutura, resulta no aumento dos congestionamentos. Esta situação provavelmente resultará em perda de eficiência dos veículos e no aumento do consumo anual dos combustíveis.

Apesar da falta de informações da evolução da distância média percorrida pelos veículos leves no país, a suposição de que esta se manterá constante, em relação ao ano de 2004, até o ano de 2030 não foge à realidade, pois, para a quilometragem média anual de um veículo aumentar substancialmente, o carro teria de ser dirigido mais horas por dia⁴¹ e, a menos de um aumento expressivo das regiões metropolitanas, não há porque, com o passar dos anos, as pessoas, na média, passarem a percorrer maiores distâncias com o veículo.

Para corroborar este fato, de acordo com IEA (2004a), a utilização média de cada veículo, nos países membros da Agência Internacional de Energia é praticamente constante no período de 1970 a 2000, percorrendo entre 10 mil e 20 mil quilômetros por ano, dependendo do país. Países como Finlândia e Japão tiveram uma sensível redução na distância anual percorrida pela frota ao longo do tempo, ao passo que na Dinamarca e nos Estados Unidos, as taxas aumentaram ligeiramente. França e Austrália apresentaram os valores de viagens por veículo mais constante, não flutuando por mais de 2 mil quilômetros por veículo por ano desde 1973.

⁴⁰ Entretanto, é importante notar que os parâmetros que não estão sendo avaliados indicam em sentidos opostos, não sendo totalmente errôneo acreditar que ambos poderão se anular.

⁴¹ A distância percorrida por um veículo poderia aumentar sem ser necessário dirigir mais horas por dia se o veículo fosse dirigido a velocidades superiores, o que, com o aumento dos congestionamentos, torna-se muito complicado. Outra forma de elevar a distância anual percorrida pela frota seria com o aumento de pessoas utilizando o mesmo veículo o que também não é uma realidade, considerando a redução do tamanho médio das famílias no país ao longo dos anos.

Em 2004, a quilometragem média anual percorrida pelos veículos leves, exceto os veículos a GNV, oscilava entre 8 mil e 16 mil quilômetros por ano, dependendo da região, como visto na subseção 3.3.4.1, dos quais entre 70 e 95% foram percorridos no perímetro urbano, enquanto o restante, em área interurbana. Para a construção deste cenário, foi considerado que a maior parte do transporte urbano de veículos leves era para o deslocamento casa-trabalho, que foi estimado como sendo feito cinco vezes na semana. Deste modo, admitindo-se que o ano possui 52 semanas, pode-se obter o percurso médio casa-trabalho de cada região como apresentado na Tabela 4-6.

Tabela 4-6 – Distância Média Percorrida pelos Veículos Leves (Exceto a GNV)

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
Urbano (km/ano)	12.687	9.603	9.898	7.516	7.316	7.717	8.149	8.385
Urbano (km/dia)	48,8	36,9	38,1	28,9	28,1	29,7	31,3	32,3
Urbano (km/viagem)	24,4	18,5	19,0	14,5	14,1	14,8	15,7	16,1

Fonte: Elaboração Própria

Essas estimativas levam a crer que enquanto no Sul, no Rio de Janeiro e em São Paulo⁴² as pessoas devem percorrer, em média, menos de 15 quilômetros⁴³ para sair de casa e chegar até o trabalho, no Norte, este trajeto casa-trabalho possui quase o dobro da distância. Já nas outras regiões, este valor oscila entre 15 e 19 quilômetros. No caso dos veículos a GNV, existe uma expectativa de que os veículos percorram distâncias maiores, conforme apresentado na Tabela 4-7.

⁴² Para o caso de São Paulo, a distância diária percorrida por veículo encontrada de 28 quilômetros é uma média. De fato, devido ao rodízio de veículos no estado, os carros são utilizados no percurso casa-trabalho quatro vezes na semana, o que leva a uma distância diária percorrida por veículo de 35 quilômetros. Contudo, para fim metodológico, ao invés de considerar que os veículos andam 35 quilômetros, quatro vezes na semana, adotou-se que os veículos percorrem 28 quilômetros, cinco dias na semana.

⁴³ Este valor foi obtido dividindo a quilometragem média anual urbana de cada região pelo número de semanas no ano (52), pelo número de dias de utilização na semana (5) e pelo número de viagens feita por dia (2).

Tabela 4-7 – Distância Média Percorrida pelos Veículos a GNV

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
Urbano (km/ano)	25.155	24.865	31.224	29.138	33.628	34.575	29.522	28.629
Urbano (km/dia)	96,7	95,6	120,1	112,1	129,3	133,0	113,5	110,1

Fonte: Elaboração Própria

Para os veículos a GNV, não foi utilizado o conceito de percurso casa-trabalho, pois, como visto na subseção 3.3.4.1, estes veículos, em sua maioria, são utilizados para fins comerciais, como táxis e vans. Assim, encontrou-se que, na média, os veículos a GNV percorrem por dia 110 quilômetros.

4.1.1.3 Premissas de Evolução do Desempenho Energético

As premissas de desempenho energético médio dos veículos de passeio foram adotadas considerando, sobretudo, a influência dos congestionamentos. Os avanços tecnológicos dos veículos leves não foram considerados neste cenário pois, como visto na subseção 3.3.3.1, estes avanços se dão de tal forma que os ganhos de eficiência têm sido compensados com o aumento da potência dos veículos. É importante esclarecer que no ano base o consumo específico foi calculado a partir de informações técnicas, não sendo considerada a influência de congestionamentos, sendo esta considerada apenas nas projeções dos cenários.

Para a projeção do impacto dos congestionamentos no desempenho da frota de veículos leves, foi adotada a curva de consumo específico de combustível dos veículos a gasolina, elaborada por IPEA e ANTP (1998), que relaciona o consumo específico de combustível com a velocidade do veículo. A seguinte equação foi utilizada:

$$C = 0,09543 + \frac{1,26643}{V} - 0,00029 \cdot V \quad (\text{Eq. 4-1})$$

Onde “C” representa o consumo específico em l/km dos veículos leves a gasolina; e “V” é a velocidade em km/h.

A partir do desempenho energético médio urbano da frota de veículos a gasolina no ano base, apresentado na Tabela 3-8, foi possível calcular a velocidade média dos veículos leves em cada região, para o ano de 2004. A velocidade urbana foi dividida em duas situações: no trânsito e fora do trânsito. Para determinar a velocidade no trânsito de cada

região, utilizaram-se os dados de congestionamento na hora de pico fornecido por IPEA e ANTP (1998) para algumas metrópoles do país⁴⁴. A velocidade fora do congestionamento, por sua vez, foi considerada como sendo de 70 km/h, como mostrado na Tabela 4-8.

Tabela 4-8 – Velocidade Urbana dos Veículos Leves por Região em 2004

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
Média (km/h)	52,7	53,4	53,6	54,3	55,4	55,4	54,6	54,0
Trânsito (km/h)	27,0	27,0	44,5	26,8	23,0	24,5	29,5	24,5
Fora Trânsito (km/h)	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0

Fonte: Elaboração Própria

A velocidade média urbana dos veículos em cada região é de aproximadamente 53 km/h, onde os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo apresentam velocidades de congestionamento inferiores a 25 km/h. A região Centro-Oeste possui a maior velocidade no trânsito, 44,5 km/h.

Como a velocidade urbana foi dividida em duas situações, o tempo total gasto por viagem é igual ao somatório do tempo congestionado com o tempo fora do trânsito. Desta forma, a distância percorrida por viagem com trânsito pode ser obtida a partir da seguinte equação:

$$D_T = \frac{D_M \cdot V_T}{V_M} - \frac{(D_M - D_T) \cdot V_T}{V_{ST}} \quad (\text{Eq. 4-2})$$

Onde “ D_T ” representa a distância no trânsito por viagem dos veículos leves em km em cada região; e “ V_T ” é a velocidade no trânsito em km/h em cada região; “ D_M ” é a distância média percorrida por viagem em cada região; “ V_M ” representa a velocidade média urbana de cada região; e “ V_{ST} ” é a velocidade sem trânsito em cada região.

A distância percorrida por viagem em percursos sem trânsito pode ser obtida pela diferença da distância média total com a distância congestionada, como mostrado na Tabela 4-9.

⁴⁴ Embora estejam sendo utilizados dados de velocidade média de congestionamento de algumas metrópoles, estes valores dentro da metodologia são extrapolados para todo o transporte urbano de veículos leves de cada região.

Tabela 4-9 – Quilometragem Média Urbana dos Veículos Leves por Viagem em 2004

Regiões	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
Média (km/viagem)	24,4	18,5	19,0	14,5	14,1	14,8	15,7	16,1
Trânsito (km/viagem)	5,0	3,6	10,2	2,6	1,8	2,1	3,2	2,6
Fora Trânsito (km/viagem)	19,4	14,9	8,9	11,9	12,2	12,7	12,5	13,6

Fonte: Elaboração Própria

De posse destes dados, pode-se projetar a velocidade média urbana dos veículos leves para cada região, no período de 2005 a 2030, seguindo a mesma lógica da Eq. 4-2, a partir da seguinte equação:

$$V_M = \frac{(V_T \cdot D_T) + (V_{ST} \cdot (D_M - D_T))}{D_M} \quad (\text{Eq. 4-3})$$

Onde “ D_T ” representa a distância no trânsito por viagem dos veículos leves em km em cada região; e “ V_T ” é a velocidade no trânsito em km/h em cada região; “ D_M ” é a distância média percorrida por viagem em cada região; “ V_M ” representa a velocidade média urbana de cada região; e “ V_{ST} ” é a velocidade sem trânsito em cada região.

Para a projeção, assumiu-se que a velocidade no trânsito, a velocidade fora do trânsito, e a distância média percorrida por viagem não serão alteradas ao longo do período da simulação. Já a distância por viagem em trânsito foi associada ao crescimento da frota de veículos. Ou seja, na simulação foi considerado que o aumento da frota de veículos causará um impacto direto no congestionamento das regiões, devido à ausência de investimentos em infra-estrutura. Assim, pode-se obter o cálculo da velocidade média urbana percorrida em cada região como apresentado na Tabela 4-10.

Tabela 4-10 – Projeção da Velocidade Média Urbana dos Veículos Leves por Viagem

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
2005	52,1	53,1	53,4	54,2	55,4	55,2	54,6	53,7
2010	49,6	51,8	52,5	54,0	55,5	55,0	54,4	52,2
2015	47,2	50,7	51,7	53,5	55,3	55,0	54,0	50,4
2020	44,7	49,4	50,6	52,4	54,6	54,7	53,0	48,0
2025	42,2	47,7	49,3	50,6	53,2	53,9	51,2	44,6
2030	39,5	45,7	47,6	48,3	51,4	52,6	48,7	40,3

Fonte: Elaboração Própria

É possível inferir que a velocidade média, de cada região, decresce vertiginosamente até 2030, com os piores cenários para a região Norte e o estado do Espírito Santo que, de acordo com hipóteses assumidas, poderão apresentar velocidades médias próximas a 40 km/h, em 2030. O estado do Rio de Janeiro tende a ser a região menos afetada pelo congestionamento, por não apresentar expressivo crescimento da frota.

Por conseguinte, aplicando os valores de velocidade média urbana na Eq. 4-1 e, considerando que o desempenho médio da frota interurbana de cada região não será alterado no período da simulação, encontrou-se o desempenho médio da frota de veículos leves como exibido no Gráfico 4-5.

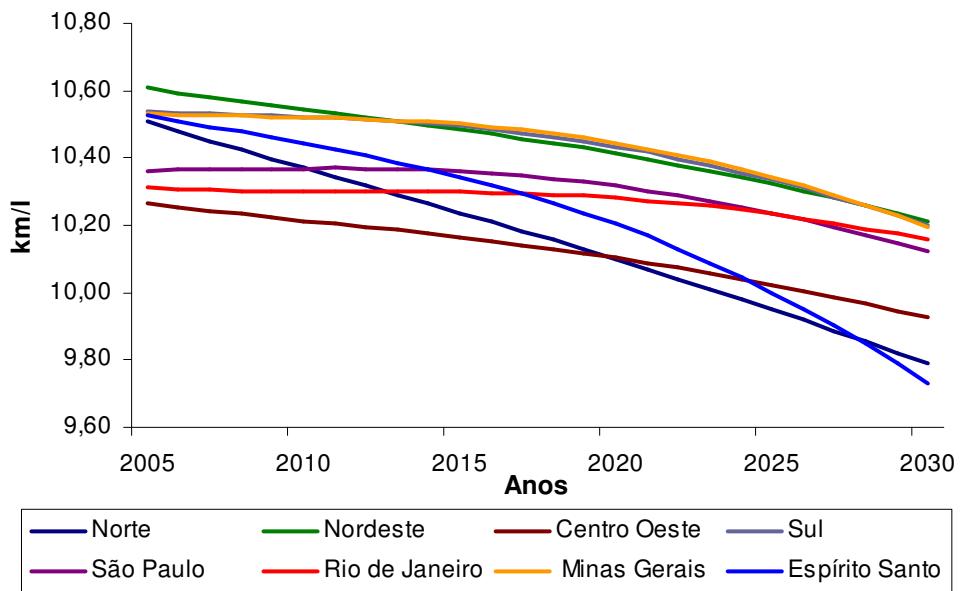


Gráfico 4-5 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Veículos Leves a Gasolina

Fonte: Elaboração Própria

A partir das considerações feitas, o efeito do congestionamento nas regiões poderá atingir de forma expressiva o desempenho médio da frota de veículos leves no cenário referência, podendo reduzir o desempenho de 2 a 8% dependendo da região. Isto porque o impacto do crescimento da frota no cenário referência levará a um aumento direto da quilometragem percorrida por dia no congestionamento e a uma consequente redução da velocidade média da frota das regiões.

As regiões mais afetadas são a região Norte e o estado do Espírito Santo, pois de acordo com as hipóteses, são as regiões com as maiores taxas de crescimento da frota, e possuem também baixa velocidade no congestionamento. Há de ser ressaltado, no entanto, que não foi considerado o impacto do congestionamento no desempenho energético da frota de veículos leves no ano base. Ou seja, regiões que possuem atualmente altos índices de congestionamentos, como São Paulo e Rio de Janeiro, foram beneficiadas no cálculo do modelo.

Por fim, para determinar o desempenho energético médio da frota de veículos leves a GNV, álcool e diesel foi admitido que estes sofrerão o mesmo impacto percentual do desempenho energético médio dos veículos a gasolina. No caso dos veículos flexíveis, foi mantida a mesma consideração do ano base: quando o veículo roda com gasolina tem um desempenho energético 7% inferior quando comparado com os veículos a

gasolina, e quando roda a álcool, apresenta um desempenho energético 7% inferior que de um veículo movido a álcool.

4.1.1.4 Premissas de Evolução do Fator de Capacidade

O nível médio de ocupação dos automóveis que transitam no espaço urbano e entre cidades foi estimado como constante no período da simulação em relação ao ano de 2004, em virtude do rápido crescimento da taxa de motorização do país, dado um aumento do PIB *per capita* e da ausência de incentivos à utilização do transporte público. Ou seja, no cenário referência, está previsto o crescimento do número de carros por pessoas, mantendo-se a quantidade de pessoas ocupando cada veículo.

4.1.2 Motos

Para projetar o consumo energético e o efeito atividade das motos, serão apresentadas as premissas de evolução da frota, as premissas de quilometragem média percorrida, as premissas de desempenho energético e as premissas de fator de capacidade considerados neste cenário.

4.1.2.1 Premissas de Evolução da Frota

No que concerne à evolução da frota de motos no país, assumiu-se neste cenário que a relação moto por habitante crescerá 1% ao ano em cada região. O Gráfico 4-6 exibe o crescimento da frota de motos no país, por região de simulação.

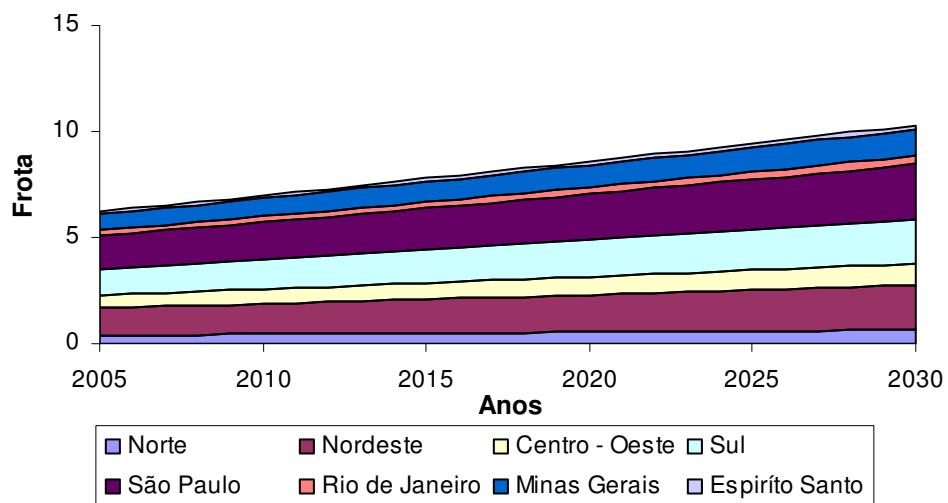


Gráfico 4-6 – Projeção da Frota de Motos por Região (Milhões de Veículos)

Fonte: Elaboração Própria

A suposição feita para o crescimento da frota de motos no país gera um aumento de seis milhões de veículos, em 2005, para mais de 10 milhões, em 2030, o que representa um crescimento médio de 2% ao ano.

4.1.2.2 *Premissas de Evolução da Quilometragem Média*

A quilometragem média percorrida pelas motocicletas no ano base de 7,5 mil quilômetros por ano foi mantida constante para todas as regiões no período da simulação.

4.1.2.3 *Premissas de Evolução do Desempenho Energético*

De forma similar à quilometragem média, assumiu-se constante o desempenho energético de 25 km/l até o ano de 2030 para as oito regiões.

4.1.2.4 *Premissas de Evolução do Fator de Capacidade*

O fator de capacidade das motos de 1,0 passageiro por veículo também foi mantido constante no período de 2005 a 2030.

4.1.3 Ônibus

À semelhança do transporte rodoviário leve, os principais fatores a serem observados numa modelagem da demanda por combustíveis e do efeito atividade no segmento de veículos pesados de passageiros são: a frota de veículos, a quilometragem média

percorrida por veículo, o desempenho energético médio e o fator de capacidade dos veículos. A seguir, são apresentadas as premissas de evolução destas variáveis para a determinação do consumo total e do efeito atividade do segmento.

4.1.3.1 Premissas de Evolução da Frota

Com relação à frota de ônibus, no cenário referência, o crescimento da frota é função do crescimento populacional, visto que não foi considerada a adoção de nenhuma política de incentivo ao uso do transporte coletivo, como apresentado no Gráfico 4-7 e no Gráfico 4-8.

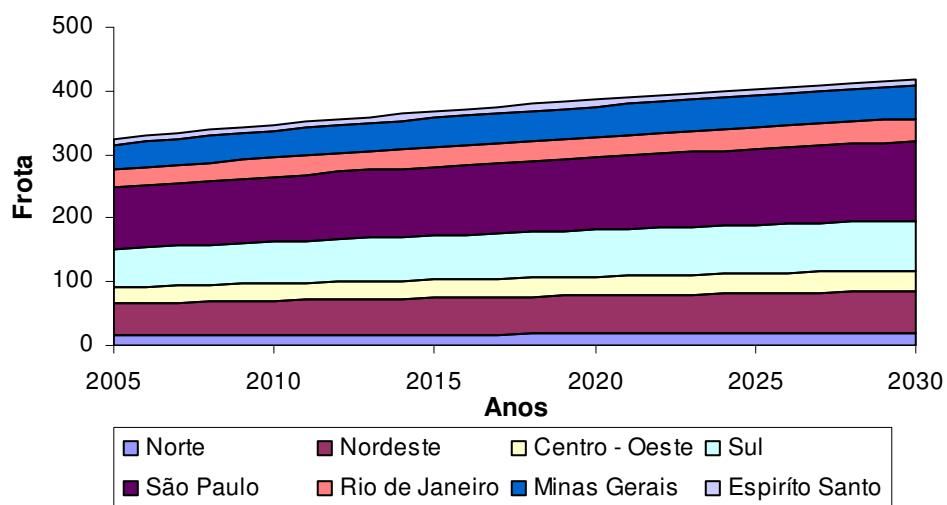


Gráfico 4-7 – Projeção da Frota de Ônibus por Região (Mil Veículos)

Fonte: Elaboração Própria

Por conseguinte, a frota de ônibus no país poderá crescer, em média, 1% ao ano, passando de 325 mil veículos, em 2005, para 420 mil veículos, em 2030.

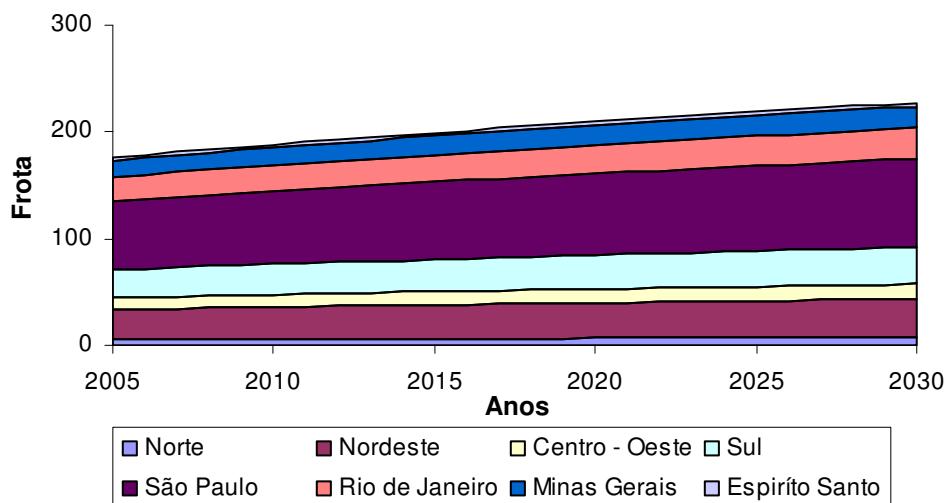


Gráfico 4-8 – Projeção da Frota de Microônibus por Região (Mil Veículos)

Fonte: Elaboração Própria

No caso dos microônibus, a frota possivelmente passará de 176 mil veículos, em 2005, para 227 mil, em 2030.

4.1.3.2 Premissas de Evolução da Quilometragem Média

A quilometragem média percorrida tanto pelos ônibus, como pelos microônibus, foi considerada constante neste cenário, mantendo-se os mesmos valores da Tabela 3-9.

4.1.3.3 Premissas de Evolução do Desempenho Energético

Com relação ao desempenho energético dos ônibus, no cenário referência foi considerado um aumento do congestionamento devido ao aumento da frota de veículos e da ausência de políticas de incentivo ao transporte coletivo, resultando em uma redução da velocidade média. De forma similar aos veículos leves, o desempenho energético dos ônibus está relacionado à variação da velocidade de acordo com a seguinte equação (IPEA e ANTP, 1998):

$$C = 0,44428 + 0,0008 \cdot V^2 - 0,00708 \cdot V + \frac{1,37911}{V} + 0,00107 \cdot \text{carr} \quad (\text{Eq. 4-4})$$

Onde “C” representa o consumo específico em l/km dos ônibus; e “V” é a velocidade em km/h; e “carr” é o carregamento dos ônibus (passageiros por veículo).

Assim, a partir dos valores de velocidade média apresentados na Tabela 4-10 e do fator de capacidade dos ônibus e microônibus, pode-se calcular o desempenho energético destes veículos até o ano de 2030.

Foi estipulado, também, que a partir de 2015 os novos modelos de ônibus serão de chassi com motor de gerenciamento eletrônico. A eletrônica embarcada nestes novos motores ciclo diesel tem grandes vantagens ambientais sendo capazes de atender aos padrões mais rigorosos de emissão. Porém, o gerenciamento eletrônico agregou enorme valor a estes veículos e os tornaram muito mais complexos que os seus antecessores, com injeção mecânica (CONCEIÇÃO, 2006). Por isso, estimou-se que os motores eletrônicos de ciclo diesel trazem consigo uma redução de 7% no desempenho energético dos veículos novos. O Gráfico 4-9 e o Gráfico 4-10 mostram a variação do desempenho energético dos ônibus e microônibus para o período de 2005 a 2030.

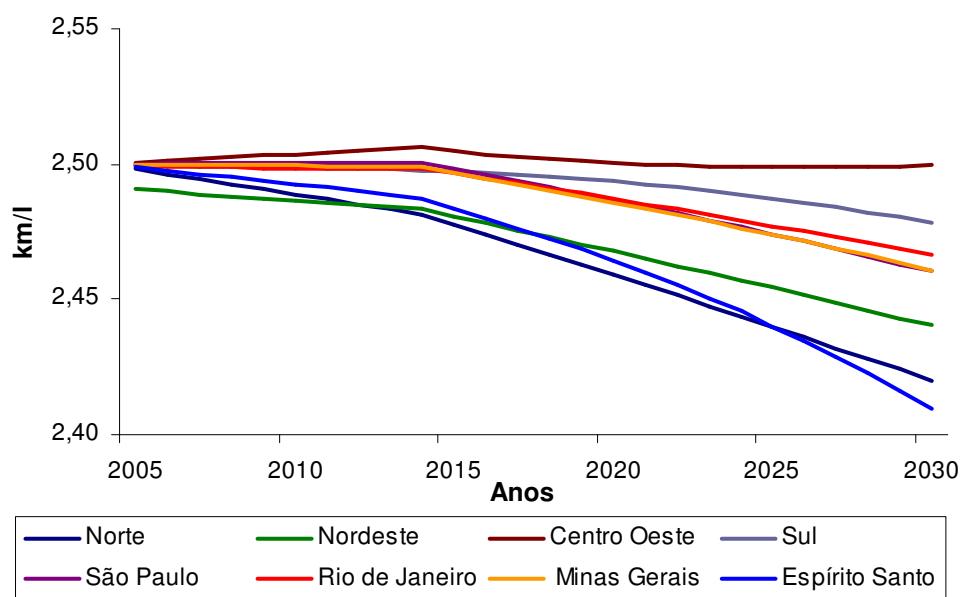


Gráfico 4-9 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Ônibus por Região

Fonte: Elaboração Própria

Como se pode observar, com exceção da região Centro-Oeste, todas as regiões podem ter o desempenho energético reduzido, em função, principalmente, dos congestionamentos. No entanto, esta redução ocorre de forma menos intensa que nos veículos leves, variando de 1 a 4%, com destaque para o Espírito Santo, e para as regiões Norte e Nordeste, que podem atingir valores inferiores a 2,45 km/l.

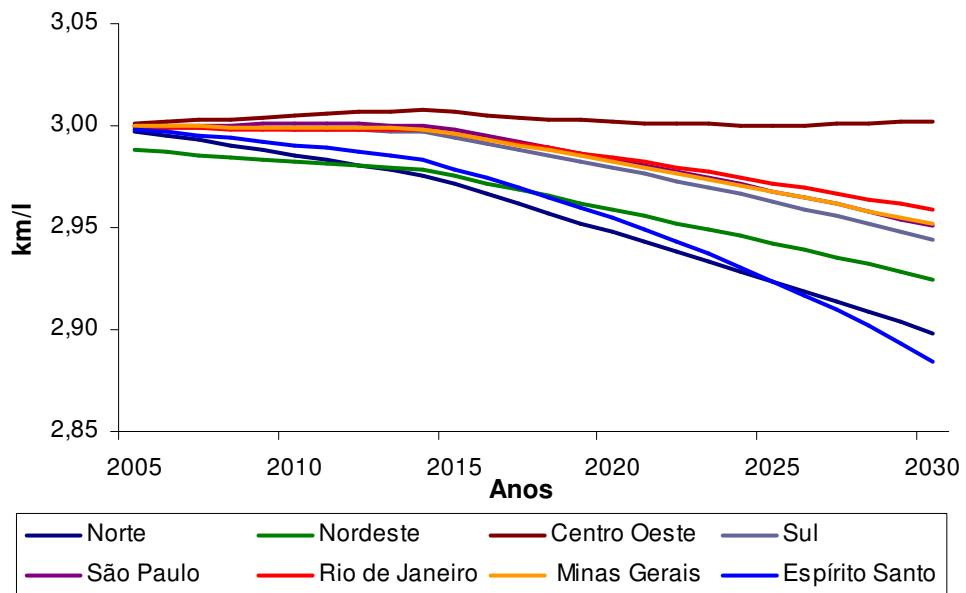


Gráfico 4-10 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Microônibus por Região

Fonte: Elaboração Própria

O caso do desempenho energético dos microônibus é similar ao do ônibus. Apenas a região Centro-Oeste, por possuir uma elevada velocidade dentro do trânsito em comparação com as outras regiões, não deve ter o seu desempenho energético reduzido.

4.1.3.4 *Premissas de Evolução do Fator de Capacidade*

O fator de capacidade dos ônibus, 40 passageiros por veículos, e dos microônibus, 25 passageiros por veículo, determinados para todas as regiões de simulação no ano base, foram mantidos constantes neste cenário.

4.2 TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA

A ausência de políticas agressivas, no cenário referência, que busquem aumentar a eficiência e a fiscalização do transporte de carga rodoviário, favorecerá a manutenção ou até a degradação do mesmo ao longo dos anos em virtude, principalmente, do envelhecimento da frota.

4.2.1 Caminhões

A seguir são apresentadas as premissas de crescimento da frota de caminhões, de quilometragem média percorrida pela frota, de desempenho energético médio da frota e de fator de capacidade médio dos veículos para os anos de 2005 a 2030, no cenário referência.

4.2.1.1 Premissas de Evolução da Frota

A estimativa da frota de caminhões, para o cenários referência, foi feita a partir das projeções de crescimento da produção total do setor, medida em Tonelada-Quilômetro-Útil – TKU que, por sua vez, foram estimadas a partir do crescimento macroeconômico de cada região, como mostrado na Tabela 4-1 e na Tabela 4-2. Assim, conhecendo-se o fator de capacidade dos caminhões e a quilometragem média percorrida pela frota, foi possível estimar o crescimento da frota de veículos, como apresentado no Gráfico 4-11. Nota-se que, por não serem consideradas mudanças estruturais no setor, as frotas de caminhões grandes e pequenos crescerão a taxas iguais.

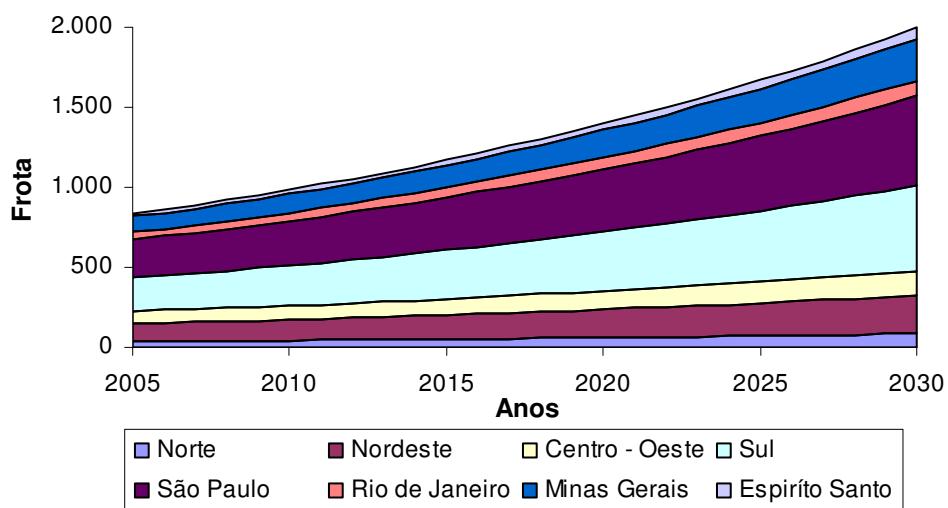


Gráfico 4-11 – Projeção da Frota de Caminhões Grandes por Região (Mil Veículos)

Fonte: Elaboração Própria

Em 2005, a frota de caminhões grandes no país era de 841 mil veículos, mesmo valor encontrado para a frota de caminhões pequenos. Para o ano de 2030, a projeção é de que ambas as frotas atinjam, aproximadamente, dois milhões de veículos.

4.2.1.2 Premissas de Evolução da Quilometragem Média

A quilometragem média percorrida pelos caminhões grandes e pequenos foi mantida constante no período de simulação em relação ao ano de 2004, como exibido na Tabela 3-10.

4.2.1.3 Premissas de Evolução do Desempenho Energético

No que diz respeito ao desempenho energético dos caminhões, adotou-se que não haverá alteração em relação ao ano base de simulação. Sendo assim, os valores de quatro quilômetros por litro e dois quilômetros por litro foram considerados até o ano de 2030 para os caminhões pequenos e grandes, respectivamente.

4.2.1.4 Premissas de Evolução do Fator de Capacidade

Por fim, o fator de capacidade dos caminhões foi estimado como o mesmo do ano base, ou seja, 11 toneladas por caminhão grande e seis toneladas por caminhão pequeno.

4.3 PROJEÇÕES DO SETOR RODOVIÁRIO

Nesta seção são apresentados os resultados da simulação para o cenário referência da evolução do efeito veicular de cada modo de transporte, das emissões de dióxido de carbono do setor e o consumo energético por tipo de combustível, sendo este subdividido também por região.

4.3.1 Efeito Atividade

O Gráfico 4-12 apresenta o efeito atividade de passageiros encontrado para o setor rodoviário no cenário referência até o ano de 2030.

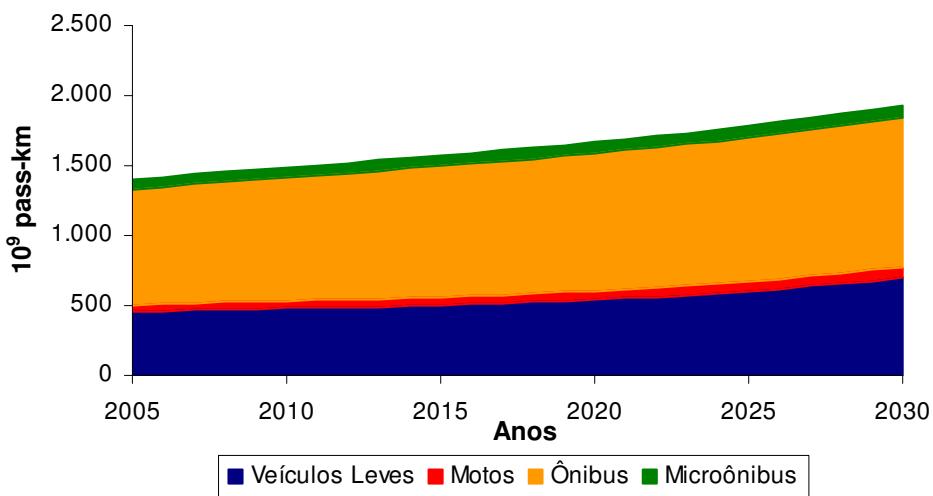


Gráfico 4-12 – Projeção da Atividade Veicular de Passageiros Nacional

Fonte: Elaboração Própria

Verifica-se que, em 2030, este cenário indica um aumento de 38% da relação passageiros-quilômetros percorridos no país em relação ao ano de 2005. Os veículos leves ainda deverão responder por cerca de 36% deste total, em 2030, ou seja, 700 bilhões de passageiros-quilômetros percorridos com veículos leves. O Gráfico 4-13 exibe a projeção do efeito atividade do transporte de carga no país.

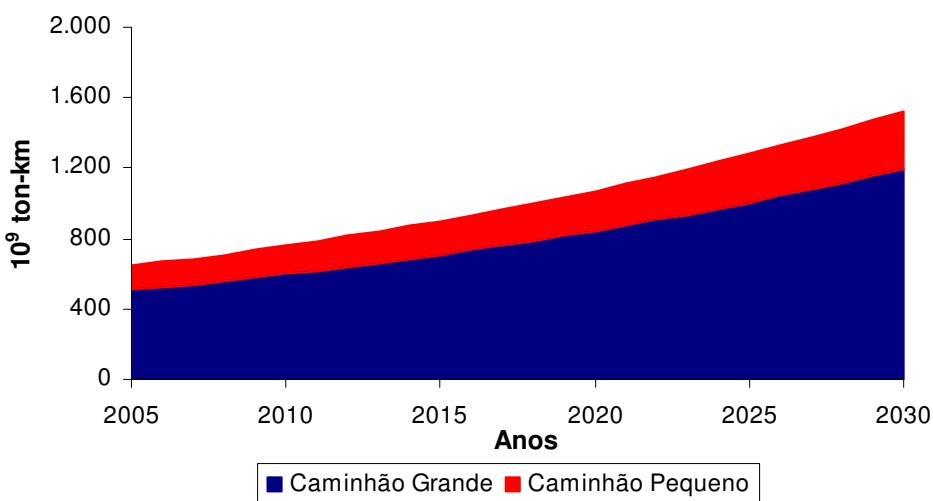


Gráfico 4-13 – Projeção da Atividade Veicular de Carga Nacional

Fonte: Elaboração Própria

O transporte de carga poderá experimentar um crescimento maior quando comparado com o transporte de passageiros, atingindo, em 2030, 1,5 trilhão de toneladas-quilômetro transportada, o que representa um crescimento médio anual de 3,5% ao ano.

4.3.2 Emissão de Dióxido de Carbono

O Gráfico 4-14 e o Gráfico 4-15 exibem a projeção das emissões totais de dióxido de carbono do setor automotivo no Brasil para o cenário referência, incluindo as emissões provenientes da cadeia produtiva de cada combustível. Cabe lembrar que não foram consideradas as emissões derivadas do álcool anidro, do álcool hidratado e do biodiesel.

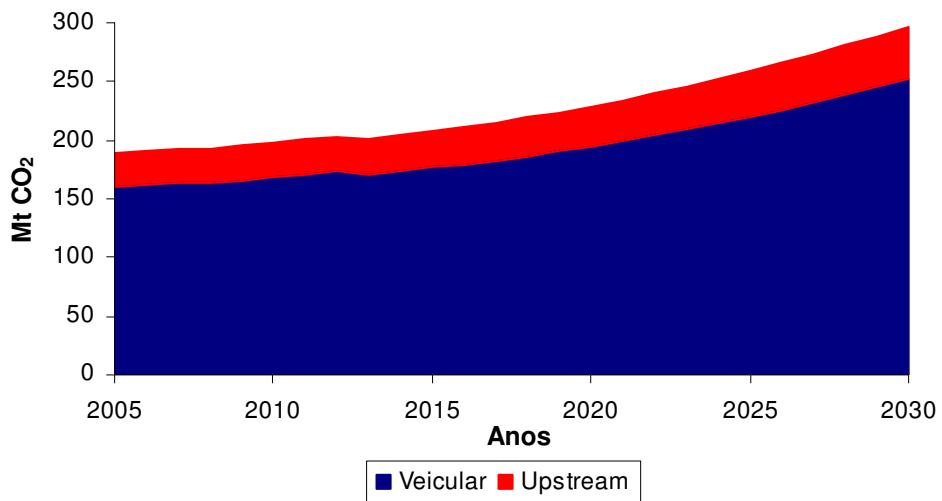


Gráfico 4-14 – Projeção das Emissões de CO₂ Nacional

Fonte: Elaboração Própria

Estima-se que as emissões totais do setor rodoviário no país ultrapassem 270 milhões de toneladas de CO₂ em 2030, dos quais 85% são devido à emissão veicular. Nota-se uma ligeira redução das emissões em 2013, como consequência da maior participação do biodiesel na matriz de transportes.

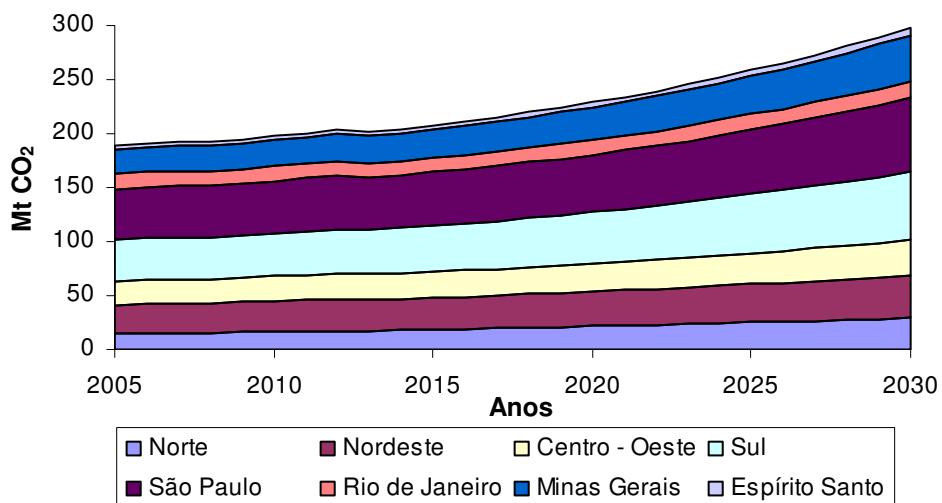


Gráfico 4-15 – Projeção das Emissões de CO₂ por Região

Fonte: Elaboração Própria

Como se pode verificar, a participação de cada região na emissão total de dióxido de carbono no país proveniente do setor automotivo não sofre alteração significativa neste cenário. Entretanto, enquanto o crescimento médio das emissões totais de CO₂ no país no período de 2005 a 2030 foi de 58%, algumas regiões como Norte, Sul, Minas Gerais e Espírito Santo apresentam um crescimento médio superior a 65% no mesmo período, como consequência do maior crescimento estimado da frota de veículos leves.

4.3.3 Consumo de Combustíveis

A Tabela 4-11 apresenta a evolução do consumo de combustíveis dos derivados de petróleo, gás natural, álcool e biodiesel no setor de transportes rodoviário brasileiro para o período de 2005 a 2030 no cenário referência.

Tabela 4-11 – Projeção do Consumo de Combustíveis no Brasil (Milhões de litros)

Ano	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gasolina C	22.642	19.119	15.257	12.507	11.312	11.410
Gasolina A	16.981	14.340	11.443	9.380	8.484	8.557
AEA	5.660	4.780	3.814	3.127	2.828	2.852
AEH	5.467	10.931	17.282	23.777	30.333	37.472
GNV	2.366	2.741	2.848	2.880	3.041	3.397
Diesel	40.177	44.998	50.276	58.289	67.749	78.955
Biodiesel	0	918	2.646	3.068	3.566	4.156

Fonte: Elaboração Própria

Verifica-se uma redução da demanda de gasolina de, aproximadamente, 50%, no período de 2005 a 2030, e um aumento do consumo do álcool hidratado superior a sete vezes no mesmo período, em virtude da entrada dos carros *flex-fuel*, e da redução das vendas dos veículos a gasolina⁴⁵. O consumo de GNV poderá superar três milhões de metros cúbicos, enquanto o diesel demandará valores próximos a 80 bilhões de litros em 2030. O biodiesel, por sua vez, entrará na matriz energética nacional a partir de 2008⁴⁶ podendo demandar quase 1 milhão de litros em 2010 e 4 milhões de litros em 2030. O Gráfico 4-16 permite avaliar o consumo energético do setor.

⁴⁵ O elevado consumo de álcool projetado neste cenário, decorrente da alta participação considerada dos veículos flexíveis, não foge a atual realidade nacional. Segundo NASTARI (2006), a projeção da demanda do mercado interno nacional de álcool para o ano de 2015 será de 27 bilhões de litros. Ademais, de acordo com UNICAMP (2005), a área com alto potencial para produção de cana no país varia de 8 a 38 milhões de hectares, dependendo da utilização ou não de técnicas de irrigação. Ou seja, considerando-se um rendimento agrícola de 80 toneladas por hectare e industrial de 80 litros de álcool por tonelada de cana, a produção de cana pode chegar a três bilhões de toneladas e a de álcool pode variar entre 120 e 240 bilhões de litros, dependendo do percentual de cana destinado à produção de álcool (50 a 100%).

⁴⁶ Neste trabalho foi considerada a adição de 2% de biodiesel ao óleo diesel a partir de 2008, e de 5% a partir de 2013, conforme a Lei 11.097 publicada em janeiro de 2005.

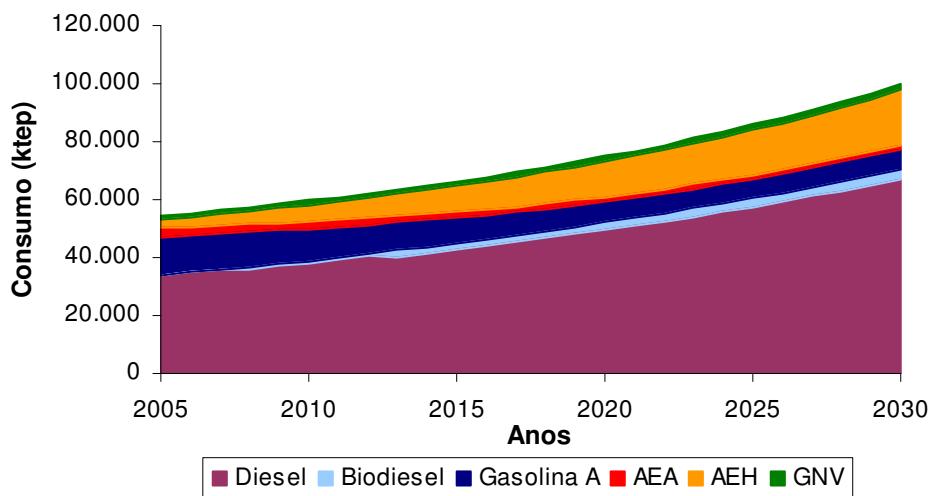


Gráfico 4-16 – Projeção do Consumo Energético Nacional

Fonte: Elaboração Própria

Este gráfico permite avaliar o crescimento, quase que linear até o ano de 2030, do consumo de energia pelo setor rodoviário estimado para o cenário referência⁴⁷, onde se verifica uma clara substituição da participação do álcool com a gasolina. Em 2030, a projeção é que o consumo energético total do setor atinja 100 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, com o diesel aumentando a sua participação de 63%, em 2005, para 71%, em 2030.

As perspectivas de consumo de energia no modal rodoviário no cenário referência deste trabalho encontram-se em consonância com as recentes projeções de crescimento energético do setor. O cenário referência projetado pela EPE (2007) prevê que a demanda de energia para o setor de transporte, incluindo todos os modais, para o ano de 2030 será de 139 Mtep. Já de acordo com o cenário referência desenvolvido por SCHAEFFER *et al.* (2004), o consumo energético do modal rodoviário para o ano de 2025 será de 78 Mtep. Ademais, IACCARINO (2006) apresenta a projeção do consumo de energia do setor automotivo para o ano de 2015, desenvolvido pela Petrobras, de 67 Mtep.

Os próximos itens apresentam o consumo energético projetado no cenário referência de cada região.

⁴⁷ Foi considerado o poder calorífico e a densidade do biodiesel obtido a partir do óleo de soja de acordo com D'AGOSTO (2004).

4.3.3.1 Região Norte

O Gráfico 4-17 apresenta o consumo energético projetado da região Norte para o período de 2005 a 2030 no cenário referência.

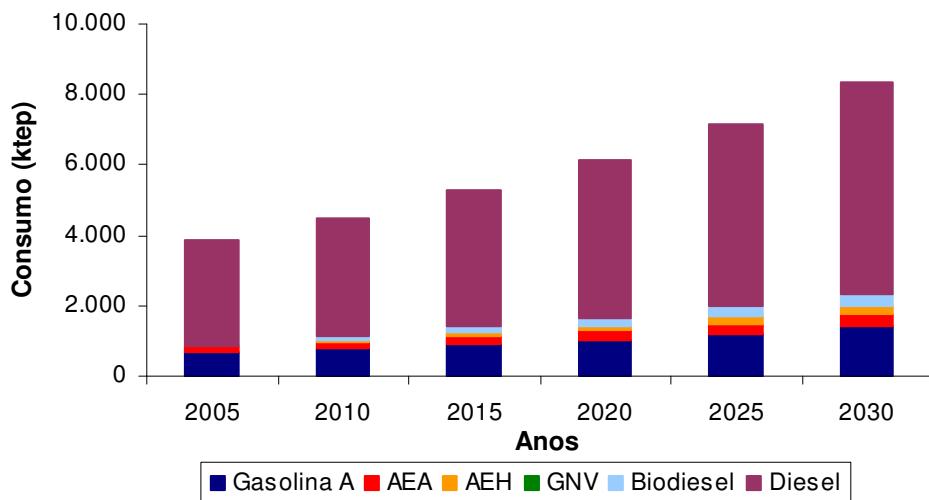


Gráfico 4-17 – Projeção do Consumo Energético – Região Norte

Fonte: Elaboração Própria

Verifica-se um aumento expressivo, superior a 100%, da demanda energética do setor automotivo na região, podendo chegar a mais de 8 mil ktep em 2030. A participação de cada combustível na demanda total possivelmente não sofrerá alterações significativas, sendo mantido o diesel e a gasolina como principais combustíveis na região. A demanda por álcool hidratado não deverá superar 500 milhões de litros em 2030 apesar da expressiva participação da frota flexível, pois se estima que o preço do álcool hidratado na região Norte não será competitivo frente à gasolina.

4.3.3.2 Região Nordeste

O Gráfico 4-18 exibe a demanda do setor automotivo projetada no cenário referência até o ano de 2030 para a região Nordeste.

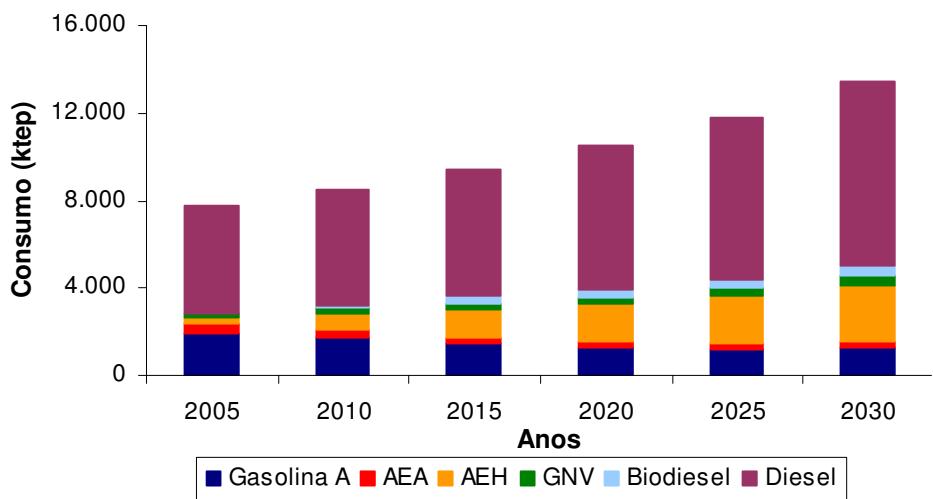


Gráfico 4-18 – Projeção do Consumo Energético – Região Nordeste

Fonte: Elaboração Própria

A projeção do consumo energético da região Nordeste para o ano de 2030 é superior a 13 mil ktep, o que representa um aumento superior a 70% em relação ao ano de 2005. Enquanto a demanda por gasolina cai 35% no período da simulação, em função da saída dos veículos a gasolina e da utilização quase que exclusiva de álcool nos carros *flex-fuel* (83% do tempo), a demanda por álcool hidratado aumenta em 10 vezes, passando para 5 bilhões de litros em 2030. As hipóteses consideradas neste cenário levam a crer que a participação do diesel e do GNV no consumo energético total não sofrerão alterações, permanecendo 63% e 3%, respectivamente.

4.3.3.3 Região Centro-Oeste

A projeção do consumo energético do modal rodoviário até o ano de 2030 para a região Centro-Oeste é apresentado no Gráfico 4-19

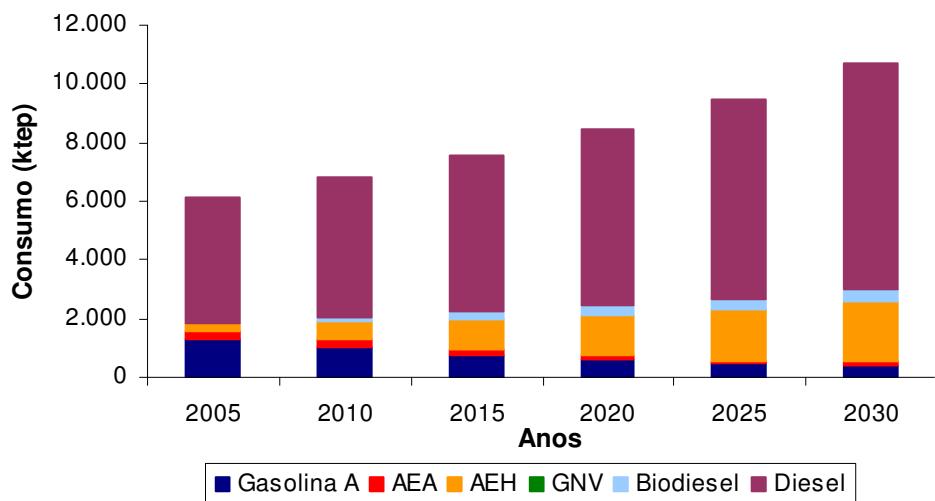


Gráfico 4-19 – Projeção do Consumo Energético – Região Centro-Oeste

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados obtidos sugerem que a demanda energética do modal rodoviário no Centro-Oeste supera 10 mil ktep em 2030. A demanda por diesel nesta região poderá se aproximar de 10 bilhões de litros, enquanto a de biodiesel ficará em torno de 500 milhões de litros. A demanda por gasolina C nos carros poderá ser inferior a 800 milhões de litros em 2030, representando uma redução de 63% no período, passando este combustível a ter uma participação de menos de 4% na matriz automotiva do Centro-Oeste. Esta região possui ainda uma inexpressiva participação do GNV em sua matriz energética rodoviária e, a menos de uma mudança estrutural brusca, esta situação deverá permanecer até 2030.

4.3.3.4 Região Sul

O Gráfico 4-20 permite avaliar a projeção da demanda por combustíveis automotivos na região Sul no período de 2005 a 2030 no cenário referência.

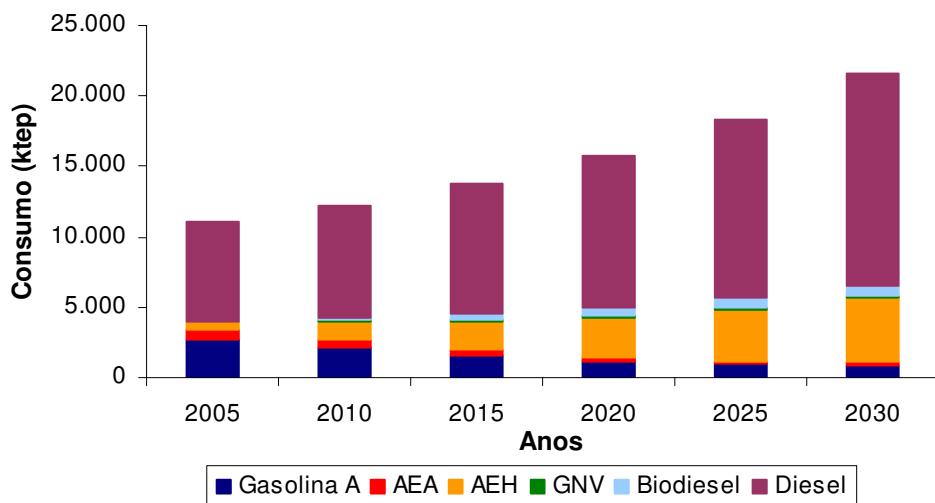


Gráfico 4-20 – Projeção do Consumo Energético – Região Sul

Fonte: Elaboração Própria

A região Sul, segunda maior consumidora de combustíveis automotivos no Brasil, atrás somente de São Paulo, possivelmente terá um expressivo crescimento de sua demanda, passando de 11 mil ktep, em 2005, para mais de 22 mil ktep, em 2030. Este aumento no cenário referência é consequência do grande aumento da frota de caminhões projetado, podendo demandar, em 2030, mais de 15 mil ktep de diesel. Neste cenário não foi considerado mudanças na participação do GNV, apresentando um consumo próximo a 300 milhões de m³ de GNV, em 2030. Devido à consideração de 100% de utilização de álcool nos carros flexíveis no Sul no período de simulação, a participação do álcool hidratado na matriz energética automotiva da região passará de 5% em 2005, para quase 21%, em 2030.

4.3.3.5 São Paulo

O Gráfico 4-21 exibe a projeção tendencial, até o ano de 2030, da demanda energética de modal rodoviário no estado de São Paulo.

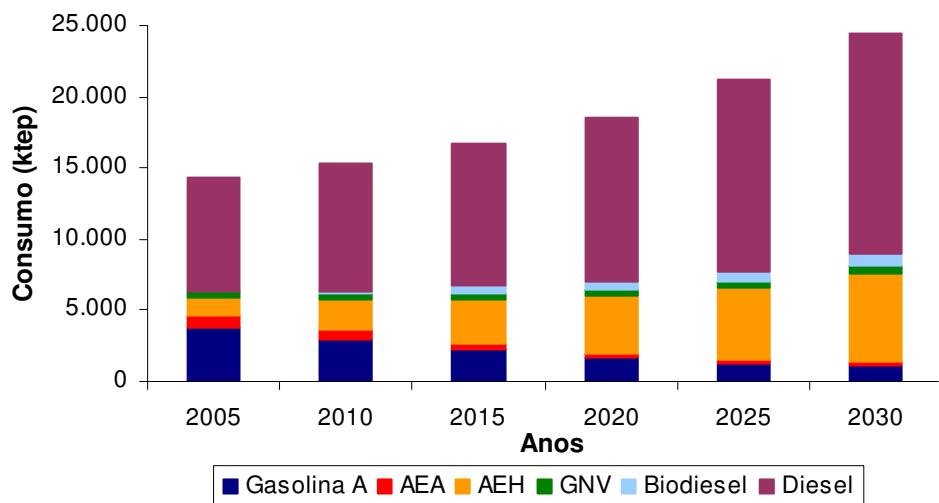


Gráfico 4-21 – Projeção do Consumo Energético – São Paulo

Fonte: Elaboração Própria

Como se pode observar, a tendência é de que o estado de São Paulo permaneça como a região de maior consumo energético do setor no país, superando 24 mil ktep em 2030. Este consumo é equivalente a metade do atual consumo do setor no país, e próximo ao consumo projetado para as regiões Nordeste e Centro-Oeste juntas. Com exceção da gasolina C, todos os combustíveis tendem a elevar substancialmente a sua demanda, com destaque para o álcool hidratado que, neste cenário, ganha uma participação superior a 25% na matriz automotiva de São Paulo.

4.3.3.6 Rio de Janeiro

A projeção do consumo energético do modal rodoviário no Rio de Janeiro para o período de 2005 a 2030 é apresentado abaixo no Gráfico 4-22.

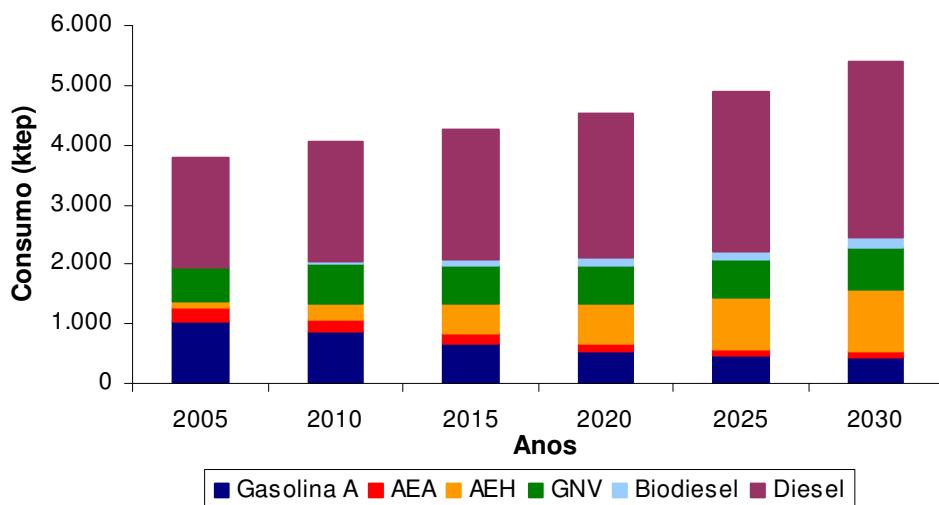


Gráfico 4-22 – Projeção do Consumo Energético – Rio de Janeiro

Fonte: Elaboração Própria

O consumo energético projetado para o estado do Rio de Janeiro até o ano de 2030 é o menor do país, em função do cenário macroeconômico considerado para a região. Estima-se que, em 2030, o consumo do setor ultrapasse 5 mil ktep, o que equivale a um aumento de 42% da demanda do setor em relação a 2005. A alta idade média da frota atual de veículos leves do estado acarreta em uma rápida redução da frota de automóveis a gasolina com o passar dos anos, não causando um impacto tão expressivo no consumo de gasolina em 2030, devido ao percentual estimado de utilização de álcool nos veículos flexíveis (83% do tempo). Tendencialmente, o Rio de Janeiro permanecerá como o maior estado consumidor de GNV, como consequência das políticas de incentivo para a conversão dos veículos leves para gás natural, podendo demandar 1,2 bilhões de m³ de GNV em 2030.

4.3.3.7 Minas Gerais

O Gráfico 4-23 mostra a consumo projetado do setor automotivo no cenário referência até o ano de 2030 para o estado de Minas Gerais.

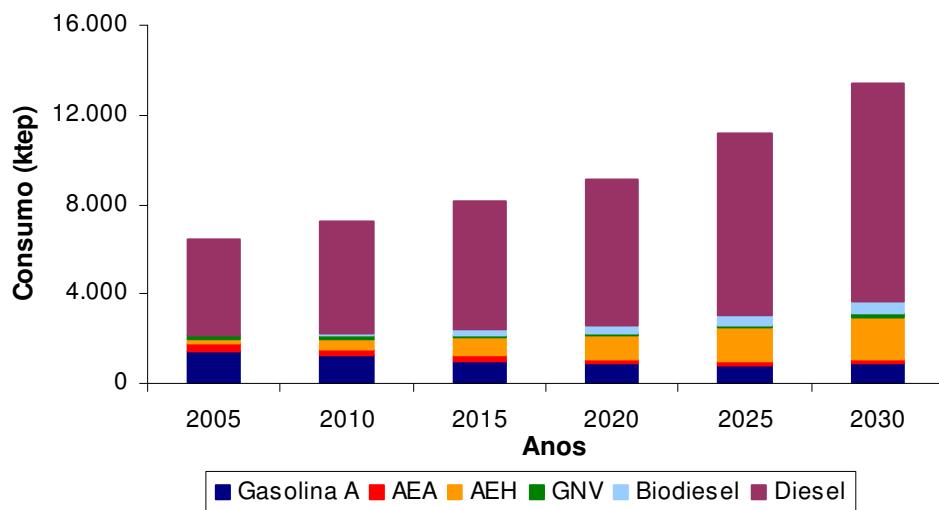


Gráfico 4-23 – Projeção do Consumo Energético – Minas Gerais

Fonte: Elaboração Própria

O estado de Minas Gerais apresenta um crescimento tendencial projetado do consumo energético do setor rodoviário superior a 100% no período de 2005 a 2030. Conseqüentemente, a demanda total do setor pode ser superior a 13 mil ktep em 2030, dos quais mais de 73% são de diesel, uma vez que o estado é caracterizado com um corredor de transportes, conectando as diferentes regiões do país e garantindo um fluxo de bens e mercadorias, e de passageiros. Foi estimada para 2030 uma redução de 79% da frota de veículos a gasolina no estado em comparação com 2005, o que representa uma redução de 40% no consumo de gasolina do estado. A demanda por álcool hidratado, por sua vez, tende a ser superior a 3,7 bilhões de litros em 2030.

4.3.3.8 Espírito Santo

A projeção do consumo energético do modal rodoviário até o ano de 2030 para o estado do Espírito Santo é exibida no Gráfico 4-24.

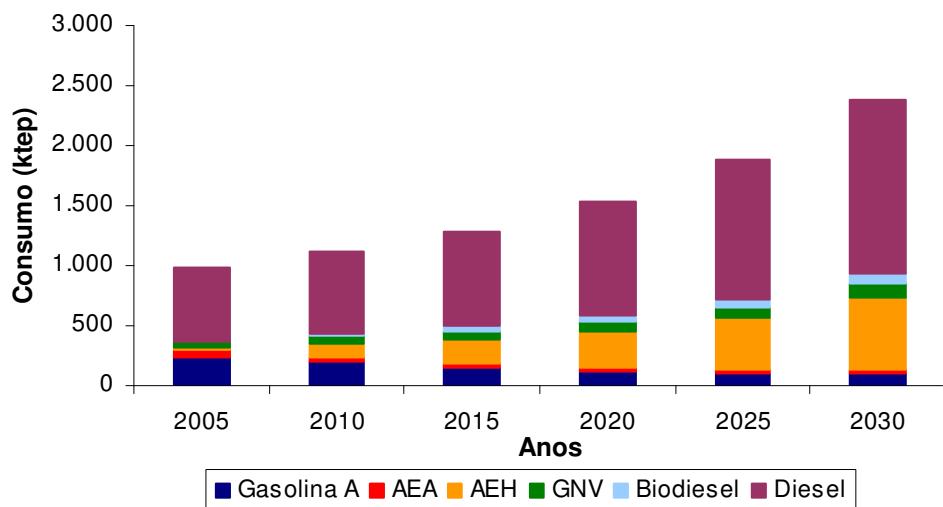


Gráfico 4-24 – Projeção do Consumo Energético – Espírito Santo

Fonte: Elaboração Própria

O cenário macroeconômico considerado para o estado do Espírito Santo leva a crer que o crescimento do consumo energético automotivo do estado será o maior do país. A estimativa para o cenário referência é de que, em 2030, a demanda do setor seja superior a 2 mil ktep, um crescimento de 138% em relação a 2005. O expressivo crescimento da frota de veículos leves considerado neste cenário, acarreta em um grande aumento do consumo de álcool hidratado na região, podendo superar a marca de um bilhão de litros em 2030. O GNV também terá um crescimento projetado expressivo, representando 5% do consumo do setor em 2030. Já para gasolina C, é estimada uma redução na sua demanda de 56%, passando para 180 milhões de litros em 2030.

CAPÍTULO 5 – CENÁRIO ALTERNATIVO DO CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RODOVIÁRIO

A elaboração do cenário alternativo para o setor de transporte rodoviário considerou a maior penetração de práticas/tecnologias de uso mais eficiente de energia, maior substituição inter-energéticas em favor de combustíveis menos poluentes (veículos híbridos), maior substituição intermodal e melhoria das rodovias. Como observação, é imprescindível destacar, conforme já afirmado antes, este cenário necessita ser revisto uma vez que existem poucos dados disponíveis sobre o setor automotivo no país.

Neste cenário, foram adotados políticas e programas que visem o aumento da participação do transporte coletivo de passageiros e a introdução de veículos mais eficientes, como a criação de vias exclusivas para ônibus, padronização de veículos novos, criação de pedágio urbano, fiscalização do transporte de carga, etc.

Cumpre mencionar que a projeção deste cenário não tem como objetivo avaliar o impacto de políticas específicas no modal rodoviário, mas sim desenvolver um cenário alternativo a tendência atual do setor, apresentada no capítulo 4, onde são feitas maiores alterações nas variáveis-chaves de simulação. Deste modo, este não é um cenário real, trata-se de uma sinalização do potencial que este modal tem de redução do consumo energético e das emissões de GEE no longo prazo.

Para evitar distorções na interpretação desta análise, o cenário alternativo considera o mesmo cenário macroeconômico e populacional (efeito atividade), apresentado no cenário referência. Uma vez que o objetivo do trabalho é identificar o potencial de redução do consumo e das emissões de GEE do setor automotivo pela redução do consumo específico dos veículos e pela substituição intermodal dentro do setor rodoviário (efeitos intensidade e estrutura), a não manutenção de um mesmo cenário macroeconômico e populacional faria com que os resultados não refletissem somente o objetivo proposto.

As premissas consideradas para a projeção serão apresentadas a seguir, separadamente por tipo de transporte. Cabe ressaltar que algumas das variáveis adotadas não foram alteradas em relação ao cenário referência, sendo destacadas no início de cada seção para melhor compreensão.

5.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PASSAGEIROS

O transporte rodoviário de passageiros, no cenário alternativo, tende a sofrer grande alteração em comparação com o cenário referência. As políticas de incentivo ao transporte público reduzem a participação dos veículos leves e, consequentemente, diminuem drasticamente o consumo energético do setor. Neste cenário, não foi considerada alteração no padrão de uso das motocicletas, apresentando o mesmo consumo de energia do cenário referência.

5.1.1 Veículos Leves

No cenário alternativo, adotou-se uma redução da utilização dos veículos leves, com a redução da quilometragem média diária percorrida pelos veículos e aumento do fator de capacidade dos automóveis, assim como se estimou um aumento do desempenho energético da frota. Entretanto, não foram consideradas alterações nas premissas de crescimento da frota em relação ao cenário referência.

5.1.1.1 Premissas de Evolução da Quilometragem Média

Considerou-se uma redução da quilometragem média percorrida por veículo leve (exceto os veículos a GNV) em função da melhoria do transporte público e do desestímulo ao transporte individual. Com isso, estimou-se uma redução gradativa no número médio de vezes na semana da utilização do transporte individual para o trajeto casa-trabalho de 5 para 4 vezes, em 2010 e 3 vezes, em 2020. Esta redução gradativa de dias da semana de utilização do transporte individual pode ser visto como se, na média, houvesse uma redução da distância diária percorrida por viagem, como observado na Tabela 5-1.

Tabela 5-1 – Projeção da Quilometragem Média Urbana dos Veículos Leves por Viagem**Exceto a GNV**

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
2005	12.687	9.603	9.898	7.516	7.316	7.717	8.149	8.385
2010	10.149	7.683	7.919	6.013	5.852	6.173	6.520	6.708
2015	10.149	7.683	7.919	6.013	5.852	6.173	6.520	6.708
2020	7.612	5.762	5.939	4.510	4.389	4.630	4.890	5.031
2025	7.612	5.762	5.939	4.510	4.389	4.630	4.890	5.031
2030	7.612	5.762	5.939	4.510	4.389	4.630	4.890	5.031

Fonte: Elaboração Própria

A redução da quilometragem média percorrida no cenário alternativo foi considerada como sendo resultado de políticas de incentivo ao uso do transporte coletivo, com a criação de vias exclusivas que aumentam a velocidade de circulação. Essas políticas tendem a desincentivar a utilização do transporte individual que, juntamente com pedágios urbanos e estacionamentos fora dos centros urbanos, reduzem o uso do automóvel particular, diminuindo, assim, a quilometragem média rodada por veículo. Desta forma, mantendo-se o deslocamento interurbano dos veículos leves constante ao longo do período de simulação, pode-se calcular a distância média percorrida pelos veículos, como apresentado na Tabela 5-2.

Tabela 5-2 – Projeção da Distância Média Percorrida pelos Veículos Leves Exceto a GNV
(km/ano)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
2005	16.596	12.622	11.779	9.231	8.405	8.747	9.950	10.380
2010	14.059	10.702	9.800	7.728	6.942	7.204	8.320	8.703
2015	14.059	10.702	9.800	7.728	6.942	7.204	8.320	8.703
2020	11.522	8.781	7.820	6.224	5.479	5.661	6.690	7.025
2025	11.522	8.781	7.820	6.224	5.479	5.661	6.690	7.025
2030	11.522	8.781	7.820	6.224	5.479	5.661	6.690	7.025

Fonte: Elaboração Própria

Verifica-se, a partir da hipótese considerada, uma redução em torno de 30% na quilometragem anual percorrida pela frota de veículos leves no ano de 2030, em comparação com o ano de 2005. Consequentemente, a expectativa é de que a frota passe a circular de 5 a 11 mil quilômetros por ano, dependendo da região. No caso dos veículos a GNV, por serem utilizados mais para fins comerciais, não se considerou alteração na distância média anual percorrida pela frota, mantendo-se o valor de 36 mil quilômetros por ano em cada região.

5.1.1.2 Premissas de Evolução do Desempenho Energético

A evolução do desempenho energético dos veículos leves, no cenário alternativo, foi feita a partir da projeção do desempenho energético dos veículos a gasolina, considerando-se a mesma variação de desempenho para os veículos movidos a outros combustíveis. Esta projeção baseou-se no impacto dos congestionamentos, assim como na adoção de uma política de padronização dos veículos leves novos e na entrada de carros híbridos.

O impacto dos congestionamentos foi calculado a partir da curva de consumo específico de combustível, elaborada por IPEA e ANTP (1998), que relaciona o consumo específico de combustível com a velocidade do veículo, como apresentado na Eq. 4-1. Assim, considerando-se a velocidade e a quilometragem média percorrida no trânsito e fora do trânsito, no ano de 2004, apresentado na Tabela 4-8 e na Tabela 4-9, projetou-se a velocidade média dos veículos para o período de simulação, de acordo com a equação 4-3.

No entanto, neste cenário, assumiu-se que somente a velocidade fora do trânsito não será alterada ao longo do período da simulação. A distância média percorrida por viagem pela frota reduzirá de acordo com a Tabela 5-1, reduzindo também, de forma proporcional, a distância por viagem em trânsito. A Tabela 5-3 exibe a projeção da velocidade média urbana calculada para o cenário alternativo.

Tabela 5-3 – Projeção da Velocidade Média Urbana dos Veículos Leves

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
2005	52,1	53,1	53,4	54,2	55,4	55,2	54,6	53,7
2010	50,4	52,2	53,0	54,0	55,5	55,0	54,4	52,6
2015	52,1	52,9	54,5	54,4	55,6	55,0	54,7	53,7
2020	54,2	53,8	56,7	55,1	55,9	55,2	55,5	55,3
2025	56,8	55,1	59,9	56,4	56,6	55,6	57,0	58,0
2030	60,2	56,9	64,6	58,3	57,7	56,4	59,5	62,7

Fonte: Elaboração Própria

Como se pode verificar, estima-se um ligeiro aumento da velocidade média urbana no cenário alternativo. A região Centro-Oeste deve possuir a maior elevação de velocidade média, superando 64 km/h. Em contrapartida, o Rio de Janeiro pode apresentar um pequeno aumento da sua velocidade média, passando para 56 km/h. Por conseguinte, aplicando os valores de velocidade média urbana na Eq. 4-1 e, considerando que o desempenho interurbano de cada região não será alterado no período da simulação, encontrou-se o desempenho energético médio da frota de veículos leves.

Adicionalmente, considerou-se, neste cenário, uma política de padronização dos veículos leves novos, elevando o desempenho energético dos veículos novos para 12 km/l, em 2015, 15 km/l, em 2020 e 18 km/l, em 2025. Para a determinação destes valores, buscou-se seguir, de maneira conservadora, as características do programa americano de padronização dos veículos. Segundo DOT (2005), em 10 anos (de 1975 a 1985) o programa dobrou o desempenho energético médio dos veículos leves⁴⁸.

⁴⁸ Nesta simulação projetou-se elevar o desempenho energético médio dos veículos leves em 80% no período de 10 anos.

Estimou-se, também, a entrada dos carros híbridos nas vendas de veículos leves a partir de 2015. Devido à dificuldade de se projetar a participação destes veículos nas vendas totais, em virtude da ausência de um histórico, optou-se por uma participação conservadora, considerando que, a partir de 2015, apenas 2% da frota poderá ser de veículos híbridos⁴⁹. O Gráfico 5-1 apresenta o desempenho energético da frota de veículos leves encontrada para cada região até o ano de 2030.

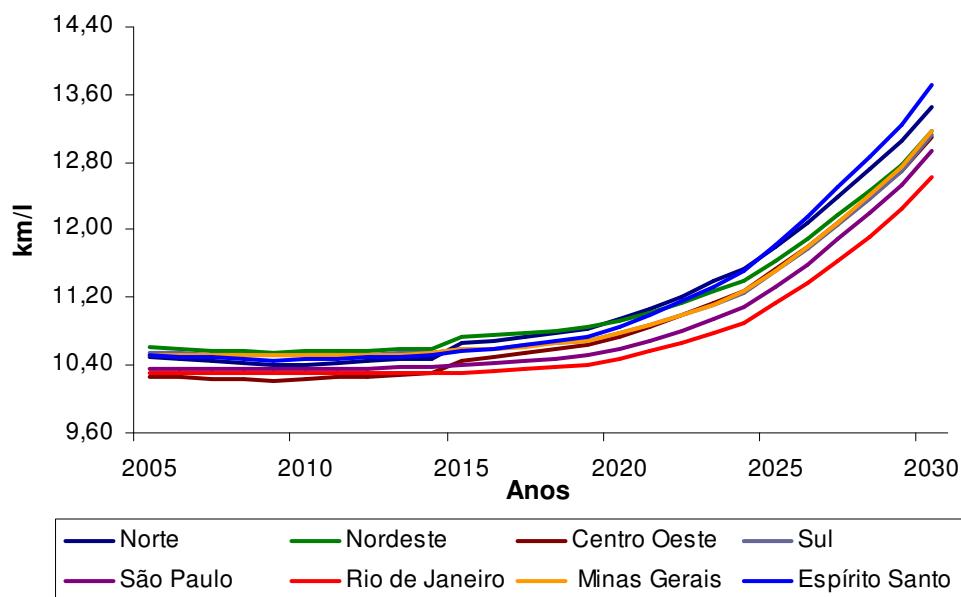


Gráfico 5-1 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Veículos Leves a Gasolina

Fonte: Elaboração Própria

O desempenho energético da frota de veículos leves se mantém, praticamente, constante até o ano de 2015, devido ao problema de congestionamento, e depois apresenta um crescimento, ultrapassando, em 2030, a marca de 12,5 km/l em todas as regiões, com destaque para o Espírito Santo, cuja frota pode atingir 13,7 km/l. Estes valores refletem, em boa medida, as estimativas de crescimento do desempenho energético de MACHADO *et al.* (2006) que considera que, em 2023, o desempenho energético da frota de veículos leves ficará em torno de 15 km/l.

5.1.1.3 Premissas de Evolução do Fator de Capacidade

As políticas e os programas de desincentivo à utilização do transporte individual previsto no cenário alternativo tendem a reduzir o uso do automóvel particular,

⁴⁹ Considerou-se como desempenho energético dos veículos híbridos, o desempenho do Toyota Prius, primeiro carro híbrido lançado no Japão em 1997, de 25 km/l (GRIECCO, 2007).

diminuindo, não só, a quilometragem média rodada por veículo, como também aumentando o fator de capacidade dos veículos leves. Esse aumento foi considerado como sendo de 0,5% ao ano, a partir de 2015, passando de 1,5 passageiros por veículo, em 2005, para 1,62 passageiros por veículo em 2030, em todas as regiões.

Esta estimativa foi baseada nos diferentes fatores de capacidade do automóvel de acordo com utilização do veículo. Segundo EEA (2002), a média ocupacional de um veículo para viagens a trabalho é entre 1,1 e 1,2 passageiro por veículo. No caso de pequenos trajetos em família, este valor passa a oscilar entre 1,4 e 1,7. Para viagens maiores, este valor passa a variar entre 1,6 e 2,0 pessoas por veículo. Deste modo, ao reduzir a utilização diária do automóvel no trajeto casa-trabalho com as políticas propostas, cria-se uma expectativa de que o veículo passe a ser utilizado mais em viagens, aumentando o fator de capacidade médio da frota.

5.1.2 Ônibus

Para evitar disparidades entre os cenários, todo o efeito atividade dos veículos leves, medido em passageiros-quilômetros, minimizado com as políticas adotadas, será transposto para o transporte coletivo de passageiros. Neste cenário, não são consideradas alterações na quilometragem média percorrida e no fator de capacidade dos ônibus em relação ao cenário referência. Consequentemente projetou-se um aumento da frota de ônibus e microônibus para atender esta demanda excedente.

5.1.2.1 *Premissas de Evolução da Frota*

A frota de ônibus foi projetada de forma a atender toda a demanda reduzida do transporte de passageiros leves, com os programas de desincentivo ao transporte individual. Para este cálculo, foi considerado que 90% da redução do efeito atividade dos veículos leves seria atendido pelos ônibus, enquanto o restante pelos microônibus. A Tabela 5-4 e a Tabela 5-5 mostram a projeção da frota de ônibus e microônibus, no cenário alternativo, até o ano de 2030.

Tabela 5-4 – Projeção da Frota de Ônibus (Mil Veículos)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
2005	14,8	50,7	25,6	61,1	96,3	27,7	39,5	9,2	324,8
2010	16,6	57,0	29,9	69,6	110,2	30,8	44,5	10,1	368,8
2015	17,8	60,3	32,1	74,6	117,7	32,8	47,6	10,8	393,7
2020	19,9	66,4	37,0	84,1	132,3	35,7	53,0	11,9	440,3
2025	20,9	69,3	38,6	88,1	138,4	37,1	55,5	12,5	460,5
2030	21,8	72,0	40,2	92,2	144,5	38,4	58,1	13,2	480,5

Fonte: Elaboração Própria

Como se pode verificar, a frota total de ônibus no país poderá passar para 480 mil veículos, o que representa uma média anual de crescimento de 1,6%. De acordo com as estimativas, o estado de São Paulo deverá permanecer com a maior frota do país, com 30% dos veículos.

Tabela 5-5 – Projeção da Frota de Microônibus (Mil Veículos)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
2005	5,6	27,9	11,0	26,6	64,2	22,5	15,5	2,8	176,2
2010	6,5	31,9	13,6	31,7	74,1	25,0	18,3	3,2	204,3
2015	7,0	33,8	14,7	34,2	79,2	26,6	19,7	3,5	218,7
2020	8,3	37,8	17,9	40,1	89,6	28,9	22,9	4,1	249,6
2025	8,7	39,4	18,6	42,1	93,7	30,0	24,1	4,3	261,0
2030	9,2	40,9	19,4	44,3	97,9	31,1	25,4	4,6	272,8

Fonte: Elaboração Própria

O crescimento dos microônibus no país tende a ser um pouco mais expressivo que o dos ônibus, passando de 176 mil veículos, em 2005, para 272 mil veículos, em 2030, o que equivale a um crescimento médio de 1,8% ao ano.

5.1.2.2 Premissas de Evolução do Desempenho Energético

No cenário alternativo foi considerada a criação de vias exclusivas para ônibus e microônibus, o que tende a minimizar o impacto dos congestionamentos no consumo específico destes veículos. Por isto, considerou-se neste cenário que a velocidade média

dos ônibus e microônibus permanecerá constante em relação ao ano de 2004. Foi considerada também a entrada dos ônibus com motor diesel eletrônico a partir de 2010, que, conforme já mencionado, apresentam redução de 7% no desempenho energético.

Somado a isto, foi considerada a entrada de ônibus híbridos nas frotas municipais das capitais, a partir de 2020, com ganhos energéticos estimados em 30%⁵⁰. Cabe ressaltar que, apesar dos ônibus híbridos apresentarem um melhor desempenho energético, estes foram considerados somente em um número reduzido de veículos. Os resultados do desempenho energético dos ônibus e microônibus podem ser vistos na Tabela 5-6 e na Tabela 5-7.

Tabela 5-6 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Ônibus (km/l)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
2005	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
2010	2,49	2,49	2,48	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49
2015	2,48	2,48	2,47	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
2020	2,46	2,47	2,45	2,46	2,46	2,47	2,46	2,47
2025	2,46	2,46	2,45	2,45	2,45	2,46	2,46	2,46
2030	2,45	2,45	2,44	2,45	2,45	2,46	2,45	2,45

Fonte: Elaboração Própria

A variação do desempenho energético da frota de ônibus em cada região provavelmente será pouco significativo, passando de 2,5 km/l, em 2005, para 2,45 km/l, em 2030. Esta ligeira redução se deve a entrada dos ônibus com motores a diesel eletrônico que reduzem o desempenho energético do veículo.

⁵⁰ Este valor foi baseado no ônibus fabricado pela DaimlerChrysler (Orion VII Hybrid Bus) que apresenta um aumento no desempenho energético de aproximadamente 30% (NREL, 2006) quando comparado com o ônibus a diesel convencional. Estes veículos vêm sendo utilizados na cidade de Nova Iorque que atualmente possui uma frota aproximada de 550 ônibus híbridos (MTA, 2007).

Tabela 5-7 – Projeção do Desempenho Energético da Frota de Microônibus (km/l)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES
2005	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
2010	2,98	2,98	2,97	2,98	2,98	2,99	2,98	2,98
2015	2,97	2,97	2,96	2,96	2,97	2,98	2,96	2,97
2020	2,94	2,95	2,93	2,94	2,95	2,96	2,94	2,94
2025	2,93	2,95	2,92	2,93	2,94	2,96	2,93	2,93
2030	2,92	2,94	2,92	2,92	2,94	2,95	2,93	2,92

Fonte: Elaboração Própria

No caso do microônibus, a alteração do desempenho energético também é reduzida, saindo de 3km/l, em 2005, para 2,93 km/l, em 2030, na média das regiões.

5.2 TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA

Com relação ao transporte de carga, a projeção foi feita de forma que não houvesse alteração na produção total do setor, medida em TKU, em relação ao cenário referência.

5.2.1 Caminhões

Para os caminhões, neste cenário, considerou-se uma maior fiscalização e regulamentação do setor, impactando em melhorias no desempenho energético da frota. Estimou-se, também, ligeiro aumento do fator de capacidade dos veículos, e que a quilometragem média percorrida, tanto pelos caminhões grandes como pelos caminhões pequenos, se manteria constante ao longo da simulação em comparação com o ano de 2004, como exibido na Tabela 3-10.

5.2.1.1 *Premissas de Evolução da Frota*

A estimativa da frota de caminhões foi feita a partir das projeções de crescimento do efeito atividade do setor. Assim, conhecendo-se o fator de capacidade dos veículos, pode-se obter a frota de caminhões grandes e pequenos, como mostrado na Tabela 5-8 e na Tabela 5-9.

Tabela 5-8 – Projeção da Frota de Caminhão Grande (Mil Veículos)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
2005	36,6	114,3	75,6	213,6	236,8	45,7	97,5	20,7	840,9
2010	43,3	129,4	87,5	252,9	277,3	52,8	116,3	25,6	985,1
2015	51,1	150,7	100,4	304,7	330,5	62,2	139,5	31,5	1.170,6
2020	51,1	149,0	98,0	311,1	333,1	60,8	144,6	34,5	1.182,3
2025	60,4	173,9	112,1	376,0	396,6	70,4	178,2	45,0	1.412,6
2030	71,3	203,0	128,2	454,4	472,2	81,6	219,7	58,7	1.689,0

Fonte: Elaboração Própria

A frota total de caminhões grandes deverá crescer 100%, neste cenário, ultrapassando 1,6 milhão de veículos, em 2030. A frota de Minas Gerais poderá apresentar o maior crescimento do país, aumentando 180% até 2030. Este fato garantirá a região como a terceira maior frota de caminhões grandes do país, com 220 mil veículos, atrás da frota do Sul e São Paulo.

Tabela 5-9 – Projeção da Frota de Caminhão Pequeno (Mil Veículos)

Ano	N	NE	CO	S	SP	RJ	MG	ES	Brasil
2005	36,6	114,3	75,6	213,6	236,8	45,7	97,5	20,7	840,9
2010	43,3	129,4	87,5	252,9	277,3	52,8	116,3	25,6	985,1
2015	51,1	150,7	100,4	304,7	330,5	62,2	139,5	31,5	1.170,6
2020	54,9	160,1	105,3	334,3	357,9	65,3	155,4	37,0	1.270,2
2025	64,9	186,9	120,4	403,9	426,1	75,7	191,5	48,3	1.517,7
2030	76,6	218,1	137,7	488,2	507,3	87,6	236,0	63,1	1.814,6

Fonte: Elaboração Própria

No caso dos caminhões pequenos, o crescimento deve ser superior, quando comparado com os veículos grandes, aumentando 115% até o ano de 2030. Ou seja, a frota de caminhões que antes era composta por 50% de veículos grandes e 50% de pequenos, sofrerá uma pequena alteração para 48% e 52%, respectivamente. Esta alteração condiz com as políticas de incentivo à intermodalidade, tendo os caminhões pequenos maior facilidade na entrega dos produtos porta-a-porta.

5.2.1.2 Premissas de Evolução do Desempenho Energético

No cenário alternativo, foi considerado um incremento de 0,3% ao ano a partir de 2015 do desempenho energético, tanto para os caminhões grandes como para os pequenos, em decorrência da retirada de circulação dos veículos mais velhos em virtude do aumento da fiscalização e regulamentação do setor. Desta forma, em 2030, o rendimento dos caminhões grandes passa para 2,1 km/l e os caminhões pequenos, 4,2 km/l.

5.2.1.3 Premissas de Evolução do Fator de Capacidade

Além do menor crescimento da frota no cenário alternativo, foi considerado também que, a partir de 2020, o fator de capacidade dos caminhões grandes passa de 11 para 13 toneladas por veículo, e de 6 para 6,6 toneladas por veículo, nos caminhões pequenos, de acordo com CESAR (2007).

5.3 PROJEÇÕES DO SETOR RODOVIÁRIO

A seguir são apresentadas as projeções do efeito atividade e do consumo energético e das emissões de CO₂ do setor de transporte rodoviário do país para o cenário alternativo. Para melhor compreensão, inicialmente serão apresentadas as projeções nacionais, e após as projeções regionais.

5.3.1 Efeito Atividade

O Gráfico 5-2 exibe o efeito atividade do transporte de passageiro do país para o cenário alternativo.

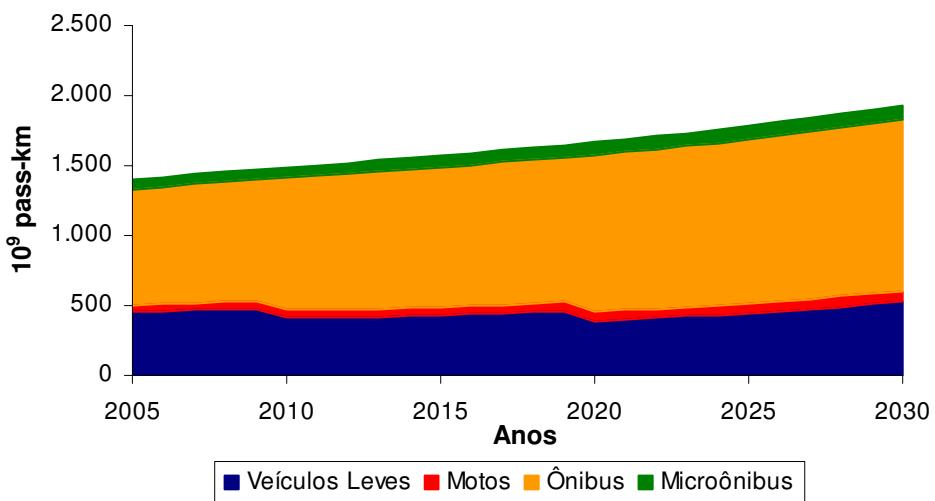


Gráfico 5-2 – Projeção da Atividade Veicular de Passageiros Nacional

Fonte: Elaboração Própria

Nota: As saliências formadas no gráfico são decorrentes das políticas projetadas, sendo mais evidentes nos anos de 2010 e 2020.

A quantidade de passageiros-quilômetros transportados, neste cenário, é igual ao cenário referência, havendo, somente, substituição intermodal em favor do transporte de coletivo. Neste caso, os ônibus e microônibus elevam a sua participação na atividade veicular do setor, passando de 64%, em 2005, para 69%, em 2030. O Gráfico 5-3, por sua vez, ilustra o efeito atividade do transporte de carga no país.

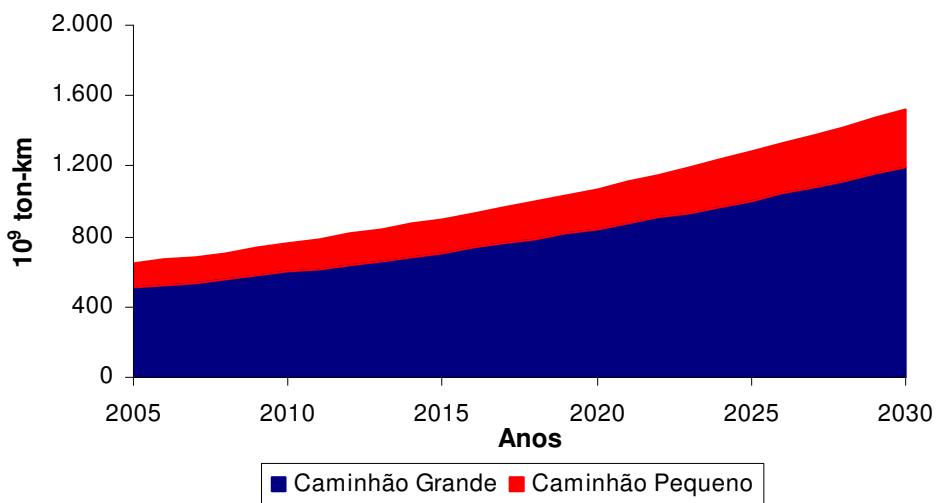


Gráfico 5-3 – Projeção da Atividade Veicular de Carga Nacional

Fonte: Elaboração Própria

De forma similar ao transporte de passageiros, a produção total do país, no cenário alternativo, não sofre variação em relação ao cenário referência. Estima-se que a atividade veicular total de carga no país seja superior a 1,5 trilhão de toneladas-quilômetro, em 2030.

5.3.2 Emissão de Dióxido de Carbono

O Gráfico 5-4 apresenta a projeção das emissões de dióxido de carbono pelo setor automotivo para o cenário alternativo até o ano de 2030.

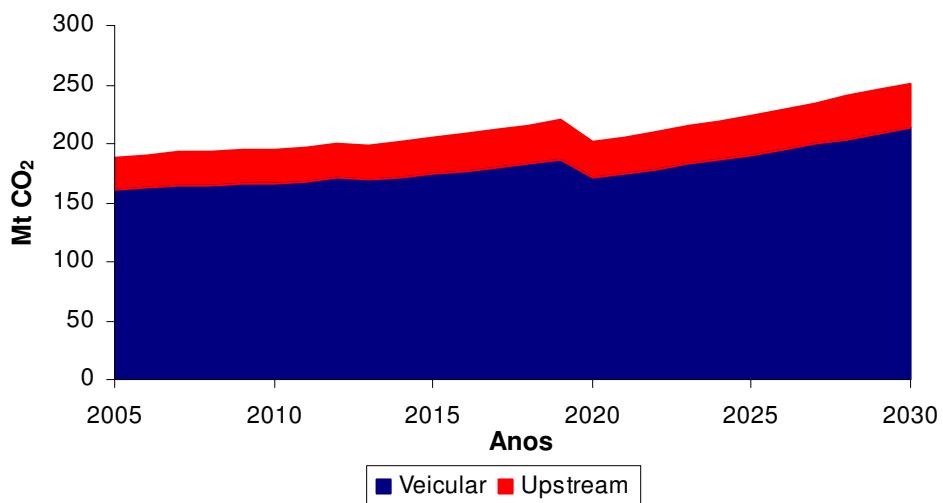


Gráfico 5-4 – Projeção das Emissões de CO₂ Nacional

Fonte: Elaboração Própria

Como se pode verificar, estima-se que a participação de programas de redução do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa no setor rodoviário acarretem em um crescimento bem menos expressivo das emissões de CO₂ comparativamente com o cenário referência. A expectativa é de que, em 2030, as emissões de dióxido de carbono no cenário alternativo fiquem em torno de 230 MtCO₂, representando um crescimento de 33% em relação ao ano de 2005. O Gráfico 5-5 exibe esta projeção de forma regionalizada.

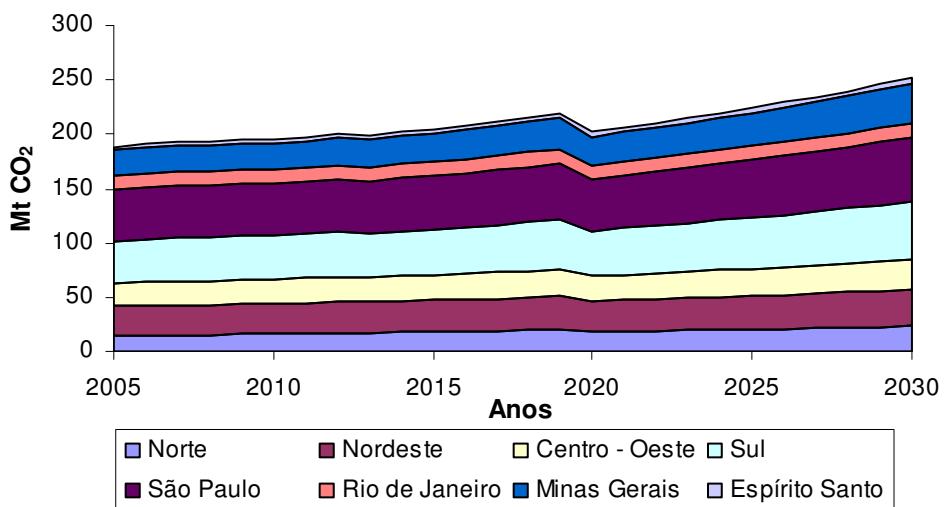


Gráfico 5-5 – Projeção das Emissões de CO₂ por Região

Fonte: Elaboração Própria

De forma similar ao cenário referência, a participação de cada região da simulação nas emissões totais de dióxido de carbono do setor automotivo não deverá sofrer alterações, mantendo-se, em 2030, o estado de São Paulo e a região Sul como maiores emissores.

5.3.3 Consumo de Combustíveis

A Tabela 5-10 apresenta a evolução do consumo de combustíveis dos derivados de petróleo, gás natural, álcool e biodiesel no setor de transportes rodoviário brasileiro para o cenário alternativo.

Tabela 5-10 – Projeção do Consumo de Combustíveis no Brasil (Milhões de litros)

Ano	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gasolina C	22.642	17.000	12.972	8.979	7.893	7.394
Gasolina A	16.981	12.750	9.729	6.734	5.919	5.545
AEA	5.660	4.250	3.243	2.245	1.973	1.848
AEH	5.467	9.101	14.235	15.298	18.101	19.384
GNV	2.366	2.739	2.824	2.794	2.743	2.661
Diesel	40.169	45.548	50.840	52.508	59.866	68.390
Biodiesel	0	930	2.676	2.764	3.151	3.599

Fonte: Elaboração Própria

Verifica-se uma redução no consumo de gasolina e de álcool anidro no país em função da diminuição do uso dos veículos leves. A demanda por gás natural veicular se mantém, praticamente, constante no período de 2005 a 2030. O consumo de álcool hidratado, por sua vez, triplica, passando para 19 bilhões de litros, em 2030. Com relação ao diesel, seu consumo aumenta de 40 bilhões de litros, em 2005, para 68 bilhões de litros, em 2030. O Gráfico 5-6 permite avaliar o consumo energético do setor.

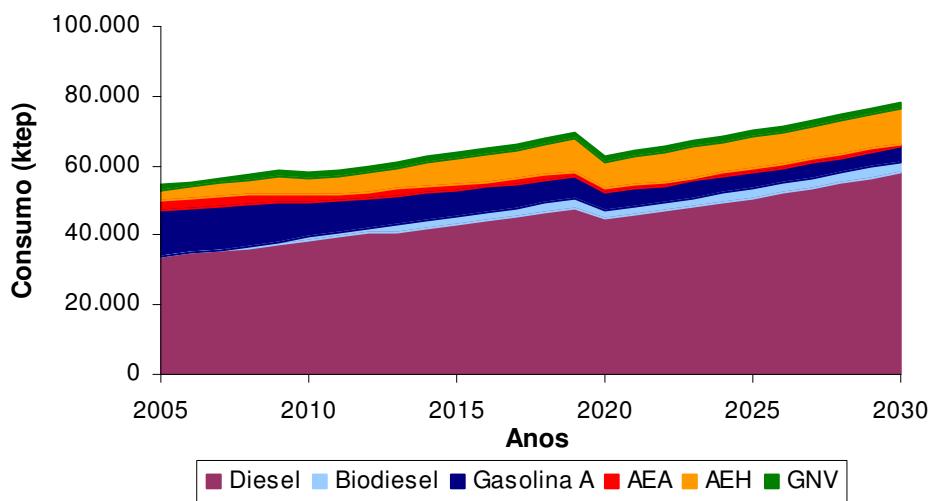


Gráfico 5-6 – Projeção do Consumo Energético Nacional

Fonte: Elaboração Própria

Nota: As saliências formadas no gráfico são decorrentes das políticas projetadas, sendo mais evidentes nos anos de 2010 e 2020.

O consumo energético total do segmento rodoviário no país, neste cenário, deverá superar 77 Mtep, o que representa um crescimento médio de 43% em relação a 2005. O diesel, devido ao aumento considerado da participação do transporte coletivo, permanece como a maior fonte energética do setor de transportes automotivos, atingindo uma participação de 75%, em 2030.

Os próximos itens apresentam o consumo energético projetado no cenário alternativo de cada região.

5.3.3.1 Região Norte

O Gráfico 5-7 exibe a projeção do consumo energético do setor automotivo na região Norte no período de 2005 a 2030 no cenário alternativo.

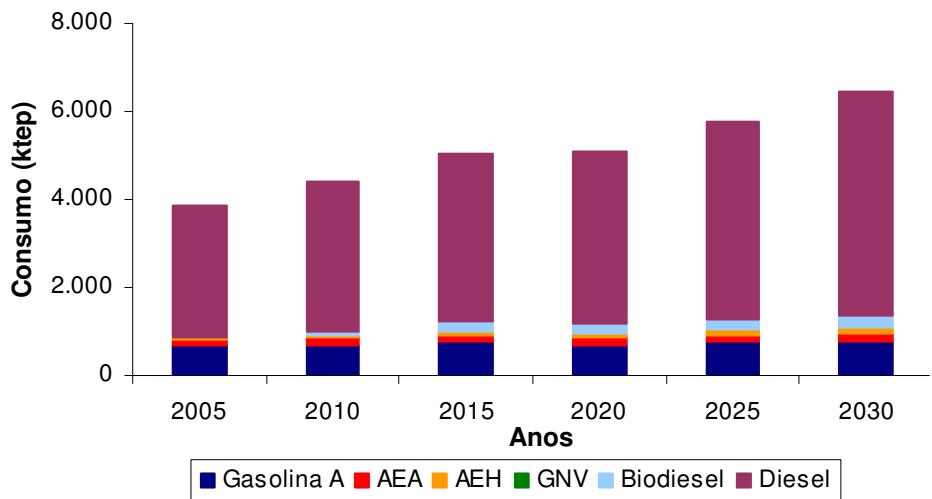


Gráfico 5-7 – Projeção do Consumo Energético – Região Norte

Fonte: Elaboração Própria

Como se pode verificar, na região Norte, em função da redução das vendas de veículos a gasolina e da baixa utilização considerada de álcool nos veículos flexíveis, estima-se que, com exceção do diesel, todos os outros combustíveis permaneçam, praticamente, constantes ao longo do período de simulação. O diesel, por sua vez, poderá demandar 6 bilhões de litros com o crescimento do transporte público no setor, passando a representar quase 80% da matriz energética do segmento. A estimativa é de que, neste cenário, o consumo total do setor fique próximo a 6,5 mil ktep, um aumento de 68% em relação a 2005.

5.3.3.2 Região Nordeste

A projeção da demanda de energia pelo modal rodoviário na região Nordeste até o ano de 2030 no cenário alternativo é apresentada no Gráfico 5-8.

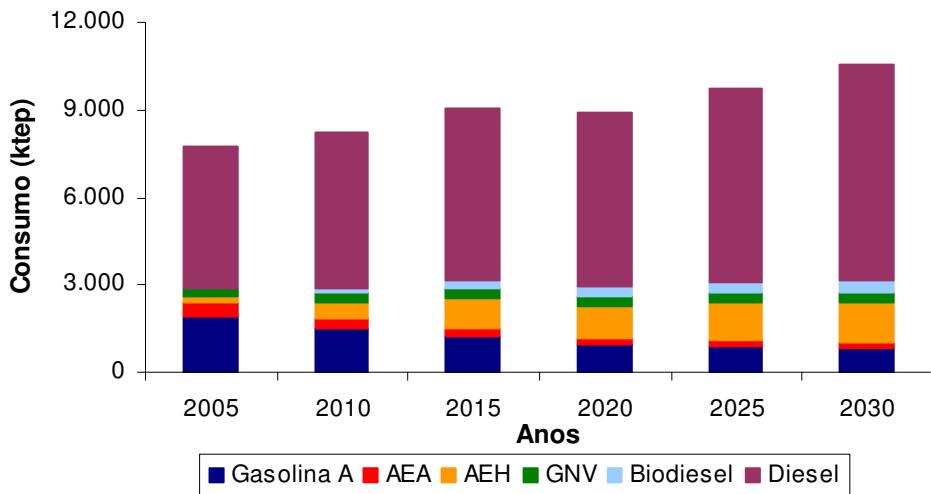


Gráfico 5-8 – Projeção do Consumo Energético – Região Nordeste

Fonte: Elaboração Própria

As políticas propostas neste cenário levam a crer que o consumo energético total dos veículos leves na região Nordeste no período de 2005 a 2030 não cresça substancialmente. Entretanto, projeta-se uma substituição da gasolina pelo álcool hidratado com a entrada dos veículos *flex-fuel*. A estimativa é de que a demanda por gasolina C caia a metade em 2030, ficando abaixo de 1,5 bilhões de litros, enquanto o consumo de diesel no mesmo ano fique próximo de 9 bilhões de litros. Com isso, a participação do diesel no consumo total do setor deverá passar de 63%, em 2005, para 70%, em 2030.

5.3.3.3 Região Centro-Oeste

O Gráfico 5-9 mostra a demanda de energia do setor de transporte rodoviário na região Centro-Oeste projetada para o período de 2005 a 2030 no cenário alternativo.

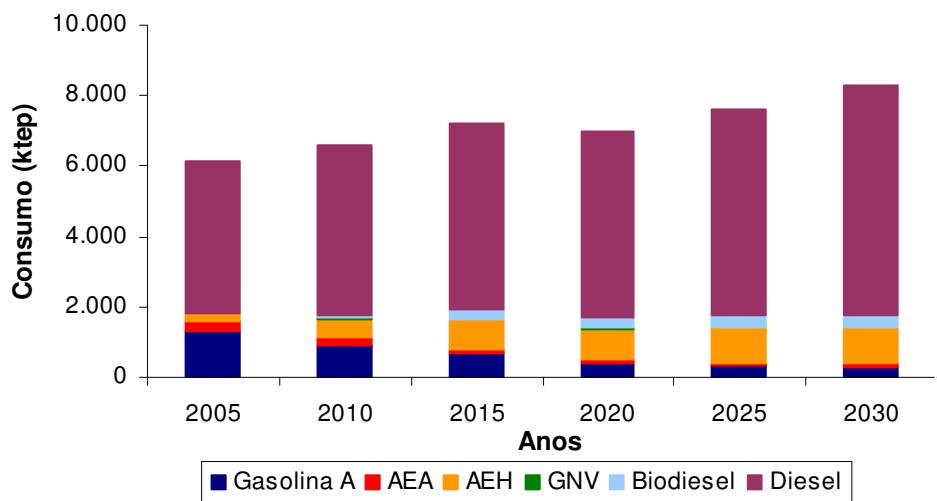


Gráfico 5-9 – Projeção do Consumo Energético – Região Centro-Oeste

Fonte: Elaboração Própria

A projeção para o cenário alternativo é de que em 2030 a demanda total do setor automotivo na região Centro-Oeste seja de 8,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, um crescimento de 36% no período simulado. Devido ao desestímulo ao transporte individual e a estimativa de preços favoráveis à utilização de álcool nos veículos flexíveis, projeta-se que a gasolina passa a representar menos de 4% da matriz energética de transporte rodoviário em 2030. A maior utilização considera neste cenário do transporte coletivo, eleva o consumo de diesel na região de 5 bilhões de litros em 2005, para 7,7 bilhões, em 2030.

5.3.3.4 Região Sul

O Gráfico 5-10 mostra a projeção do consumo energético do setor automotivo da região Sul no período de 2005 a 2030 no cenário alternativo.

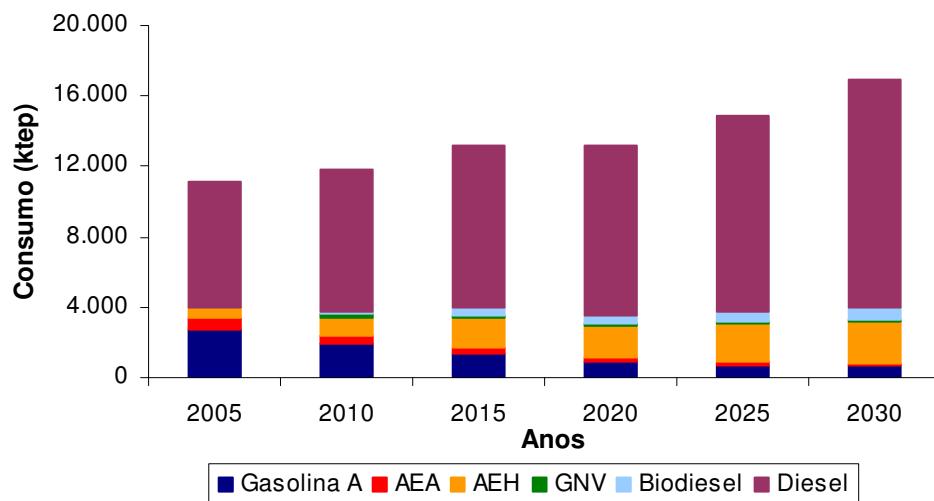


Gráfico 5-10 – Projeção do Consumo Energético – Região Sul

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados obtidos neste cenário sugerem que a demanda energética do modal rodoviário na região Sul supera 16 mil ktep em 2030. A demanda por diesel nesta região poderá se aproximar de 15 bilhões de litros, enquanto a de biodiesel ficará em torno de 800 milhões de litros. A demanda por gasolina C nos carros poderá ser inferior a 1,2 milhões de litros em 2030, representando uma redução de 77% no período, passando este combustível a ter uma participação de menos de 4% na matriz automotiva da região Sul.

5.3.3.5 São Paulo

A projeção do consumo energético do segmento rodoviário no estado de São Paulo é apresentado no Gráfico 5-11.

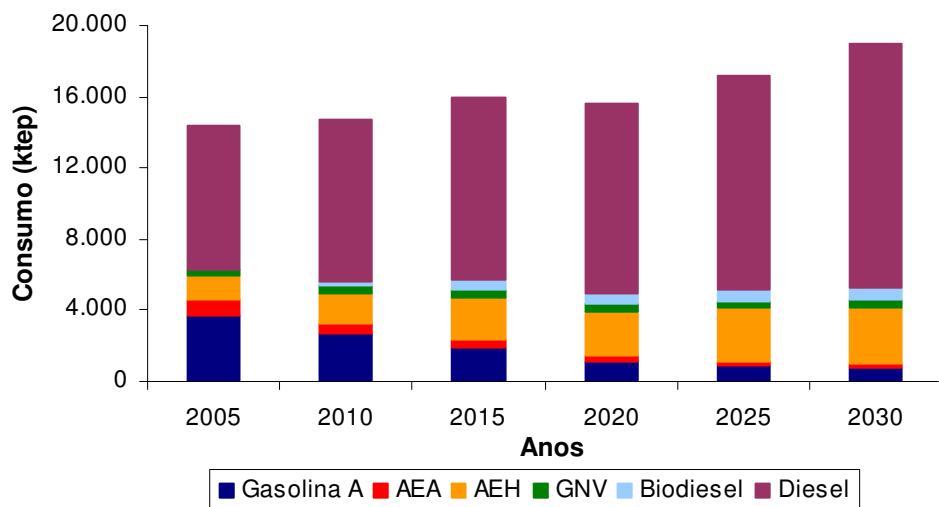


Gráfico 5-11 – Projeção do Consumo Energético – São Paulo

Fonte: Elaboração Própria

Mesmo no cenário alternativo, a expectativa é de que o estado de São Paulo permanece como o maior consumidor de energia do país, podendo demandar 19 mil ktep, em 2030. Este elevado consumo é função da expressiva frota de veículos leves na região, projetada para ser superior a 14 milhões de veículos em 2030, como também por ser o estado que mais utiliza diesel no país, mais de 16 bilhões de litros de 2030. O álcool hidratado, devido o potencial de produção de cana-de-açúcar da região, possivelmente será utilizado 100% do tempo nos carros flexíveis, aumentando o consumo deste combustível no estado para 6 bilhões de litros em 2030, representando uma participação no consumo energético total do segmento na região de 17%.

5.3.3.6 Rio de Janeiro

A projeção da demanda de energia pelo modal rodoviário no estado do Rio de Janeiro até o ano de 2030 no cenário alternativo é exibida no Gráfico 5-12.

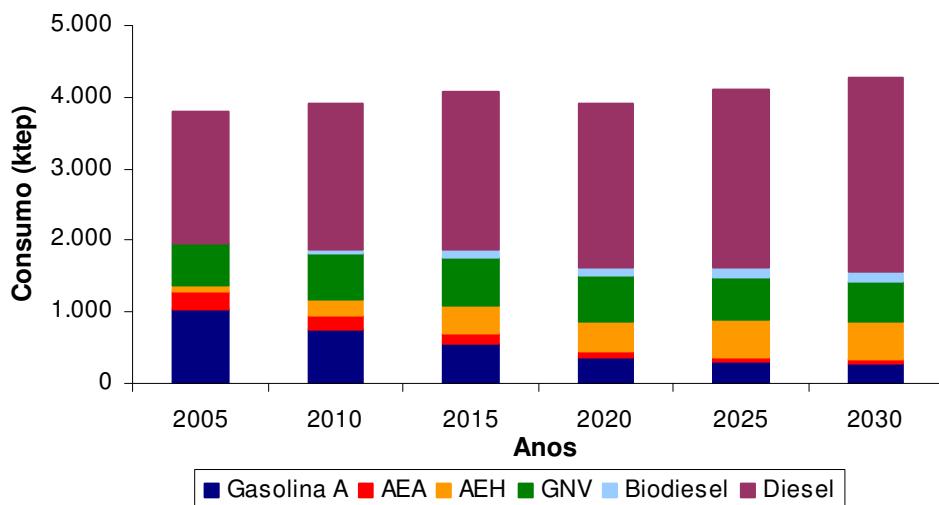


Gráfico 5-12 – Projeção do Consumo Energético – Rio de Janeiro

Fonte: Elaboração Própria

O consumo energético projetado para o estado do Rio de Janeiro até o ano de 2030 neste cenário é o menor do país, em função do cenário macroeconômico considerado para a região. Estima-se que, em 2030, o consumo do setor na região ultrapasse 4 mil ktep, o que equivale a um aumento de 13% em relação a 2005. Verifica-se na região uma redução do consumo de gasolina C, podendo chegar a menos de 500 milhões de litros, em 2030. O álcool hidratado, neste cenário, terá um crescimento de quase cinco vezes no período da simulação, podendo demandar mais de 1 bilhão de litros em 2030, passando a representar 13% do consumo total do setor. Tendencialmente, o Rio de Janeiro permanecerá como o maior estado consumidor de GNV, como consequência das políticas de incentivo para a conversão dos veículos leves para gás natural, demandando, neste cenário, 900 milhões de m³ de GNV em 2030.

5.3.3.7 Minas Gerais

O Gráfico 5-13 mostra a demanda de energia do setor de transporte rodoviário no estado de Minas Gerais projetada para o período de 2005 a 2030 no cenário alternativo.

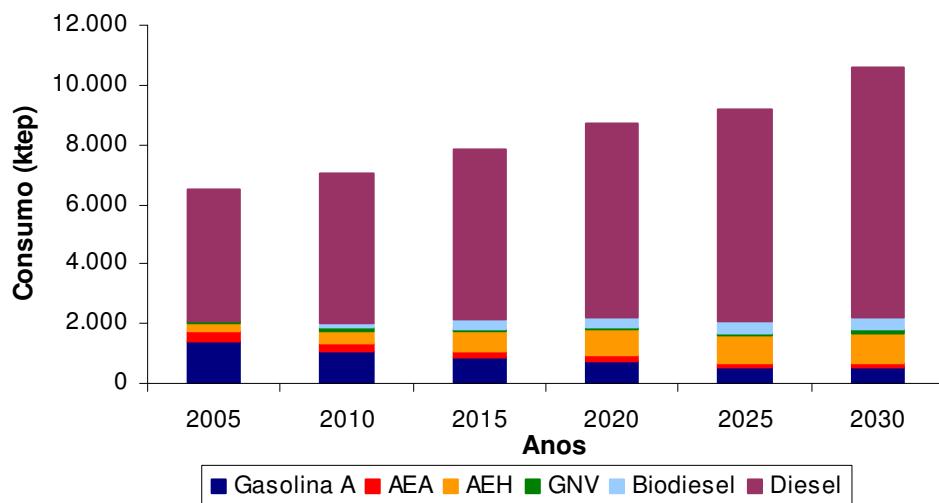


Gráfico 5-13 – Projeção do Consumo Energético – Minas Gerais

Fonte: Elaboração Própria

Em Minas Gerais, a projeção é de que, neste cenário, o consumo energético do segmento rodoviário ultrapasse 10 milhões de toneladas equivalentes de petróleo. O álcool hidratado poderá ter um aumento de participação na matriz energética do setor, passando de 4%, em 2005, para 9%, em 2030, devido ao aumento da frota de veículos *flex-fuel* na região, podendo chegar a quase 4 milhões de veículos em 2030, os quais se projetou que utilizarão álcool em 83% do tempo. O diesel, em decorrência do aumento da frota de ônibus e microônibus no período de 2005 a 2030 próximo a 50%, pode demandar quase 10 bilhões de litros em 2030, um participação em torno de 80% no consumo total do setor.

5.3.3.8 Espírito Santo

A projeção do consumo energético do segmento rodoviário no estado do Espírito Santo é exibido no Gráfico 5-14.

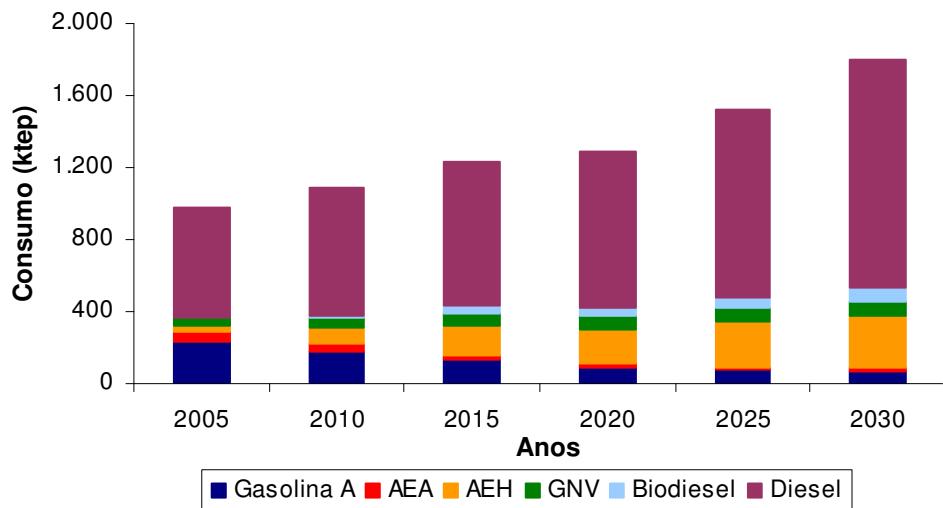


Gráfico 5-14 – Projeção do Consumo Energético – Espírito Santo

Fonte: Elaboração Própria

O cenário macroeconômico considerado para o estado do Espírito Santo leva a crer que o crescimento do consumo energético automotivo do estado será o maior do país. A estimativa para o cenário alternativo é de que, em 2030, a demanda do setor seja superior a 1,7 mil ktep, um crescimento de 83% em relação a 2005. A relação de preços considerada vantajosa para o álcool neste cenário, acarreta em um grande aumento do consumo de álcool hidratado na região, podendo superar a marca de 500 milhões de litros em 2030. Já para gasolina C, é estimada uma redução na sua demanda de 70%, passando para 120 milhões de litros em 2030.

5.4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção do trabalho será apresentada uma comparação entre os dois cenários de projeção do consumo energético e das emissões de dióxido de carbono para o setor automotivo no Brasil realizado de forma regionalizada para o período de 2005 a 2030. Contudo, frente à ausência de dados oficiais sobre o setor, a construção deste cenários não foi o foco principal do trabalho, necessitando ser revista em trabalhos futuros. Estes resultados serão apresentados apenas como exemplificação da capacidade do modelo desenvolvido.

O primeiro cenário (referência) estimou o consumo tendencial considerando a manutenção, ou pouca variação, da atual conjuntura rodoviária do país, enquanto o

segundo cenário (alternativo) projetou a demanda energética admitindo modificações no efeito intensidade e estrutura do modal rodoviário.

O cenário referência desenvolvido levou em conta a atual conjuntura do setor automobilístico do país e a maneira como se deu a evolução do setor até o momento, levando a crer que no futuro a situação do modal rodoviário no país tende a repercutir negativamente para a qualidade de vida da população e para desenvolvimento econômico.

Assim, de acordo com as projeções realizadas neste estudo, estima-se que o aumento dos congestionamentos nas grandes cidades do país possa reduzir consideravelmente a velocidade média de cada região que, por sua vez, podem reduzir o desempenho energético médio da frota de veículos leves, em 2030, de 2 a 8%, comparativamente com 2005, dependendo da região analisada. Ressalva-se ainda, que na simulação não foi considerado o atual estágio do congestionamento nas cidades. Consequentemente, na prática, a redução do desempenho energético médio da frota de veículos leves será mais expressiva, principalmente em cidades como São Paulo e Rio de Janeiro. Este ponto também merece aprofundamentos futuros.

Cria-se assim uma possível questão de contraprodutividade do uso de veículos leves nas grandes cidades brasileiras, visto que apenas a eficientização da frota, normalmente o foco das políticas adotadas nos países em desenvolvimento, não é suficiente para reduzir o consumo energético do setor, pois esta acaba sendo anulada pelo aumento dos congestionamentos nas cidades.

O cenário alternativo desenvolvido não teve como foco avaliar nenhuma política *per se*, mas tentar mensurar o potencial de redução do consumo energético e das emissões de GEE do setor com alterações no seu efeito intensidade e estrutura. Os resultados encontrados para os dois cenários da projeção do consumo energético do modal rodoviário no Brasil até o ano de 2030 são exibidos no Gráfico 5-15. Pode-se perceber que nos anos de 2010 e 2020 no cenário alternativo é considerada a entrada de políticas e programas para desenvolver mudanças no setor.

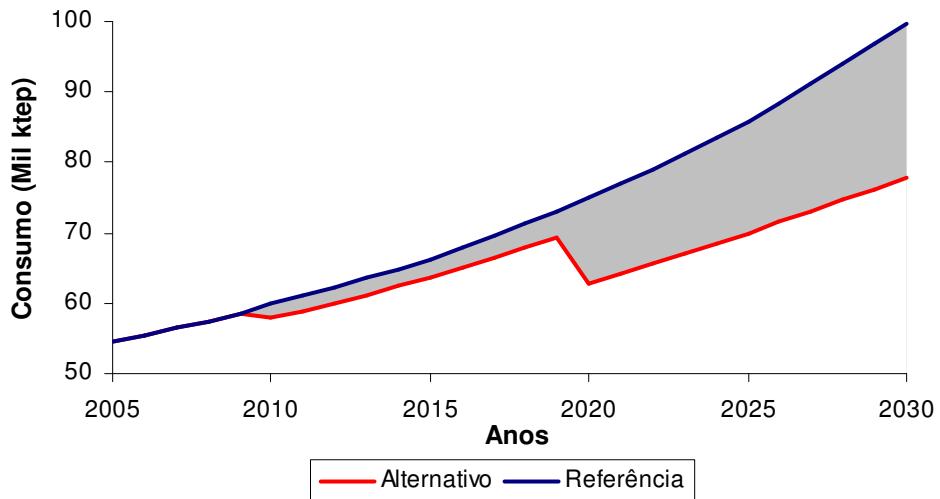


Gráfico 5-15 – Projeção do Consumo Energético no Brasil

Fonte: Elaboração Própria

A avaliação dos resultados permite identificar um aumento tendencial do consumo final energético do modal rodoviário no período de 2005 a 2030 de, aproximadamente, 2,5% ao ano, sendo equivalente a 100 mil toneladas equivalentes de petróleo em 2030. Por outro lado, a implantação de um leque de opções para controlar o crescimento esperado do setor automobilístico no país, pode proporcionar uma redução de 22% na demanda total do setor, em relação ao cenário referência, o equivalente a 22 mil tep, até o ano de 2030.

Uma análise mais objetiva do Gráfico 5-15 permite estimar, com certo grau de certeza, que o consumo energético do setor rodoviário no país evoluirá (área hachurada) de forma que, em 2030, ficará entre 78 e 100 mil tep, de acordo com o processo evolutivo. Em suma, dependendo, sobretudo, das políticas públicas adotadas para influenciar o uso de energia nos próximos anos (como definição de padrões mínimos de eficiência da frota, criação de pedágios urbanos, tributação diferenciada para veículos ambientalmente menos danosos etc.) pode-se avançar mais, ou menos, na direção de qual será a demanda energética do setor. Lembrando-se, ainda, que neste quadro não são consideradas possíveis modificações macroeconômicas e alterações nos outros modais.

Este resultado permite avaliar a importância que deve ser dada ao setor rodoviário no país, não somente com a concretização de programas já existentes, como o PAC e o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, mas também com o

desenvolvimento de novos programas, políticas e medidas governamentais para garantir a sustentabilidade econômica e ambiental.

A projeção dos cenários de emissões de dióxido de carbono para a atmosfera, principal fonte de alteração climática, do setor automotivo no período de 2005 a 2030 é apresentado no Gráfico 5-16.

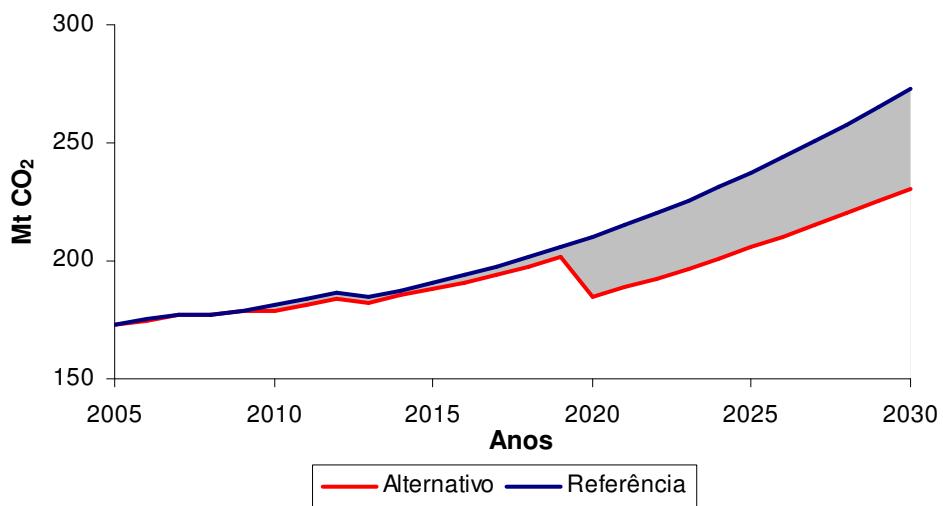


Gráfico 5-16 – Projeção das Emissões de CO₂ no Brasil

Fonte: Elaboração Própria

Como se verifica, a estimativa é de que as emissões de CO₂ no país em 2030 fiquem em torno de 275 MtCO₂, o que representa um crescimento médio anual de 1,8% em relação a 2005. Contudo, investimentos realizados no setor rodoviário podem reduzir esta expectativa em 15%, uma redução de 45 MtCO₂.

Deste modo, uma análise similar à feita anteriormente permite estimar, com razoável certeza, que a emissão total de CO₂ proveniente do transporte rodoviário no país em 2030 ficará entre 230 e 275 MtCO₂ (área hachurada).

Nota-se que, diferentemente de outros países do mundo, no caso brasileiro há uma diferença entre o potencial de redução do consumo energético e das emissões de dióxido de carbono. Tal fato se deve a expressiva participação dos biocombustíveis na matriz de transportes do país e que não são levados em conta no cálculo das emissões totais.

Este resultado deixa claro que a substituição por biocombustíveis não é a solução final. Para se alcançar o desenvolvimento energético sustentável, uma maior atenção precisa

ser dada ao setor e uma variedade de mudanças na estrutura atual devem ser implantadas o mais rápido possível, não só por parte dos governos (como a produção de estatísticas confiáveis, criação de programas e políticas para minimizar as externalidades negativas do setor, etc.), como também por parte da sociedade, com mudanças em seus hábitos e culturas.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Esta dissertação teve como objetivo desenvolver um modelo de projeção do consumo final energético do setor automobilístico capaz de trabalhar com as peculiaridades de cada região do país. Este modelo baseou-se no módulo de transportes do modelo de projeção de consumo de combustível da Agência Internacional de Energia.

Este modelo permite a construção de dois cenários de projeção de longo prazo do consumo energético e das emissões de dióxido de carbono para o setor automotivo no Brasil de forma regionalizada. As regiões consideradas no modelo são as regiões Norte, Nordeste, Sul, Centro-Oeste e os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo.

É importante destacar que no modelo desenvolvido somente são consideradas modificações estruturais dentro do modal rodoviário, desconsiderando a participação dos outros modais do setor de transporte, como ferroviário, aerooviário etc. Assim, o resultado final fornecido pelo modelo permite identificar a capacidade de redução do consumo energético e das emissões de CO₂ do setor automotivo admitindo-se apenas alterações internas no setor.

Para melhor adaptar o modelo para o Brasil e suas regiões, muitas foram as dificuldades encontradas. A começar pela escassez de informações a respeito do setor automobilístico nacional. Não existem estimativas confiáveis das principais variáveis necessárias para a projeção da demanda energética do setor, como a distância média percorrida pela frota, o desempenho energético médio ou o fator de ocupação médio dos veículos. Dentre os dados estatísticos existentes, encontra-se, por exemplo, a venda e a frota de veículos no país. Entretanto, este último apresenta discrepância da ordem de 25% de instituição para instituição.

Portanto, um enorme esforço foi necessário para determinar as variáveis-chaves de simulação do modelo. Tiveram que ser feitas algumas considerações e/ou simplificações para se obter as variáveis do modelo e assim realizar as projeções apresentadas nesse trabalho. Como exemplo, optou-se por trabalhar com os dados de frota fornecidos pelo Departamento Nacional de Trânsito que, possivelmente, são superestimados. Com isso, é possível que o dado de distância média percorrida pela frota de veículos leves

encontrado para cada região, variável de ajuste do modelo, esteja abaixo do real. Não obstante, pôde-se desenvolver uma ferramenta robusta capaz de estimar a tendência do setor, assim como criar possíveis cenários para a evolução da demanda energética do setor automotivo no país.

Impende notar que a complexidade e o ineditismo do tema levaram a construção de um modelo embasado em algumas premissas e hipóteses imprecisas, cujo aperfeiçoamento deve ser perseguido em trabalhos futuros. Assim, este trabalho não esgota o tema da elaboração de estudos regionais de consumo de combustíveis automotivos. Ao contrário, abre uma ampla agenda de pesquisa para aprofundamentos (aperfeiçoamento de estimativas e premissas) e detalhamentos (desagregação em mais regiões) que podem e devem ser desenvolvidos.

Os resultados encontrados na simulação da evolução do consumo energético e das emissões de CO₂ do setor automotivo do país em um horizonte de 25 anos (2005 – 2030), como já mencionado, podem estar imprecisos, uma vez que existem poucos dados oficiais sobre o setor, o que dificulta a construção das premissas. De acordo com as estimativas feitas, o consumo energético do setor rodoviário no país poderá oscilar em 2030 entre 78 e 100 mil tep, enquanto que as emissões de CO₂ poderão ficar entre 230 e 275 MtCO₂.

Este resultado evidencia a importância que deve ser dada ao modal rodoviário do país com a implantação de mudanças estruturais, como a produção de estatísticas confiáveis e a criação de programas e políticas para minimizar as externalidades negativas do setor na busca do desenvolvimento energético sustentável.

Estas mudanças, em particular a criação de estatísticas consolidadas sobre o setor, permitiriam a criação de projeções mais precisas, servindo como insumo relevante para estudos de logística de distribuição de combustíveis e mesmo de expansão do parque de refino atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRACICLO, 2004. Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares, Balanço 2004. Brasil.
- ALMEIDA, A. F. S., 2006. A Importância dos Biocombustíveis na Matriz Energética de Transporte Rodoviário do Brasil, Tese de M.Sc., PET/COPPE/UFRJ. Brasil.
- ALZUGUIR, C. G., 2006. O Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural. Palestra Proferida por Representante do CONPET/Petrobras na COPPE.
- ANFAVEA, 2006. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira. Brasil.
- ANFAVEA, 2008. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, Carta da Anfavea - Número 261: Resultados de Janeiro de 2008. Brasil.
- ANP, 2004a. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Levantamento de Preços. Brasil.
- ANP, 2004b. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Vendas, pelas Distribuidoras, dos Derivados Combustíveis de Petróleo (metros cúbicos). Brasil.
- ANTT, 2006. Agência Nacional de Transportes Terrestres, Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres. Brasil.
- ARAÚJO, J. L. R. H., 1988. Modelos de Energia para Planejamento, Tese preparada para o Concurso de Professor Titular, Área Interdisciplinar de Energia, Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Brasil.
- AZUAGA, D., 2000. Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil. Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.
- BAJAY, S. V., 2004. Modelos de Planejamento da Expansão de Sistemas Energéticos, X Congresso Brasileiro de Energia – CBE. Brasil.

BRASIL. Lei nº 11.097 de 13 de Janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e dá outras providências, Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasil.

CESAR, R. V., 2007. Cenários de Transporte de Carga Elaborados por PELT-MG em reunião na CEMIG no dia 16 de março de 2007.

CETSP, 2007. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, Rodízio. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/>. Acesso em: 25 de Outubro de 2007.

CETURB-GV, 2007. Companhia de Transportes Urbanos da Grande Vitória, Dados Operacionais. Disponível em: <http://www.ceturb.gov.br/>. Acesso em: 16 de Abril de 2007.

CIMA, F. M., 2006. Utilização de Indicadores Energéticos no Planejamento Energético Integrado, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

CNT, 2002. Confederação Nacional dos Transportes, Avaliação da Operação dos Corredores de Transporte Urbano por Ônibus no Brasil, Relatório Analítico. Brasil.

CNT, 2006. Confederação Nacional dos Transportes, Pesquisa Rodoviária, Relatório Gerencial. Brasil.

CONCEIÇÃO, G. W., 2006. A Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Inserção do Gás Natural Veicular em Frotas do Transporte Coletivo Urbano de Passageiros, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

CORREIA, E. L., 1996. Efeitos Técnico-Econômicos Sobre a Demanda de Carburantes no Brasil, VII Congresso Brasileiro de Energia – CBE. Brasil.

COSTA, R. C., 2001. Do Model Structures Affect Findings? Two Energy Consumption and CO₂ Emission Scenarios for Brazil in 2010. Energy Policy 29: 777-785.

D'AGOSTO, M. A., 2004. Análise da eficiência da cadeia energética para as principais fontes de energia utilizadas em veículos rodoviários no Brasil. Tese de D.Sc., PET/COPPE/UFRJ. Brasil.

DE NEGRI, J. A., 1998. Elasticidade-Renda e Elasticidade-Preço da Demanda de Automóveis no Brasil, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Texto de discussão No. 558. Brasil.

DENATRAN, 2000. Departamento Nacional de Trânsito, Frota de Veículos. Brasil.

DENATRAN, 2004. Departamento Nacional de Trânsito, Frota de Veículos. Brasil.

DOT, 2005. U.S. Department of Transportation, Study of Feasibility and Effects of Reducing Use of Fuel for Automobiles. Estados Unidos.

EEA, 2002. European Environment Agency, TERM 2002 29 EU — Occupancy Rates of Passenger Vehicles. França.

EIA, 2003. Energy Information Administration, The National Energy Model System: An Overview 2003. Estados Unidos.

EIA, 2007. Energy Information Administration, Transportation Sector Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation 2007. Estados Unidos.

EMTU, 2005. Empresa Municipal de Transportes Urbanos, Anuário 2005 – Transportes Urbanos de Manaus. Brasil.

EPE, 2007. Empresa de Planejamento Energético, Plano Nacional de Energia 2030. Brasil.

FLEURY, P. F., 2006. Notas Sobre o Setor de Transporte de Carga no Brasil, Notas de Aula de Gestão de Transportes e de Provedor de Serviços Logísticos do Curso de Mestrado em Administração da COPPEAD/UFRJ. Brasil.

FULTON, L. e EADS, G., 2004. IEA/SMP Model Documentation and Reference Case Projection, International Energy Agency. França.

GEIPOT, 2001. Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes, Anuário Estatístico dos Transportes. Brasil.

GIPA, 2006. Grupo Interprofissional de Produtos e Serviços Automobilísticos. Apresentação Gipa do Brasil – Conteúdo dos Estudos. Brasil.

GRANDE, P. C., 2006. Números Flexíveis. Os Bicombustíveis Consomem Mais? Por que os Antigos Carros a Álcool Eram Mais Econômicos? A Diferença de Consumo É Igual em Todos os Carros? Disponível em: http://quatrorodas.abril.com.br/reportagens/conteudo_141385.shtml. Acesso em: 16 de Outubro de 2007.

GREENE D. L. e SCHAFER A., 2003. Reducing Greenhouse Gas Emissions from U.S Transportation, Pew Center on Global Climate Change. Estados Unidos.

GRIECCO, A., 2007. Com a Corda Toda: O Toyota Prius Faz Sucesso ao Ser o Primeiro Híbrido a Andar como um Carro de Verdade. Disponível em: http://quatrorodas.abril.com.br/carros/impressoes/conteudo_142483.shtml. Acesso em: 27 de Abril de 2007.

HADDAD, C. L. S., 2005. Reexaminando o Pedágio Urbano. Publicado em 22/04/2005 no Valor Econômico.

IACCARINO, F. A., 2006. Situação de Abastecimento do Gás Natural, Seminário Matriz Energética x Custos e Benefícios do Usuário, Petrobras. Brasil.

IBGE, 2002. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo demográfico 2000. Brasil.

IBGE, 2004a. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Contas Regionais 2004. Brasil.

IBGE, 2004b. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Estimativas Anuais da População do Brasil por Grandes Regiões e Unidades da Federação – Revisão 2004. Brasil.

IBGE, 2004c. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade para o Período 1980-2050 - Revisão 2004. Brasil.

IBGE, 2006. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Indicadores Sociodemográficos - Prospectivos para o Brasil 1991-2030. Brasil.

IBGE, 2007a. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Contagem da População 2007. Brasil.

- IBGE, 2007b. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Contas Nacionais Trimestrais, Indicadores de Volume e Valores Correntes. Brasil.
- IBP, 2007. Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, Estatística de veículos à GNV. Brasil.
- IEA, 2004a. International Energy Agency, 30 Year of Energy Use in IEA Countries. França.
- IEA, 2004b. International Energy Agency, Transport Spreadsheet Model. França.
- IEA, 2006a. International Energy Agency, World Energy Model – Methodology and Assumptions. França.
- IEA, 2006b. International Energy Agency, World Energy Outlook. França.
- IFP, 2004. Institute Française du Pétrole, Energy Consumption in the Transport Sector. França.
- IMF, 2005. International Monetary Fund, World Economic Outlook. Estados Unidos.
- IPCC, 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 – Energy. França.
- IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report, Working Group III, Transportation and Its Infrastructure. França.
- IPEA, 2007. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Produção industrial da indústria geral. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 04 de setembro de 2007.
- IPEA e ANTP, 1998. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada e Associação Nacional de Transporte Público, Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público. Brasil.
- JANNUZZI, G. M. e SWISHER, J. N. P., 1997. Planejamento Integrado dos Recursos Energéticos, Editora Autores Associados. Brasil.

JEBARAJ, S. e INIYAN, S., 2006. A Review of Energy Models. *Energy Policy* 10: 281-311.

LOURO, R., 2006. Hora de Usar Gasolina: No Corsa 1.8, Usar Álcool Saí Mais Caro. Caderno CarroETC. P.3 25 de Janeiro de 2006. O Globo.

MACEDO, I. C., LEAL, M. R. L. V., SILVA, J. E. A. R., 2004. Balanço das Emissões de Gases do Efeito Estufa na Produção e no Uso do Etanol no Brasil. Brasil.

MACHADO, G., SZKLO, A. S., SCHAFFER, R., 2006. Cenário de Uso Final por Veículos Leves no Brasil nos Próximos 20 Anos: Implicações para uma Estratégia de Desenvolvimento Energético Sustentável, XI Congresso Brasileiro de Energia – CBE. Brasil.

MATTOS, J. A. B. e CORREIA, E. L., 1996. Uma Nova Estimativa da Frota de Veículos Automotivos no Brasil, VII Congresso Brasileiro de Energia – CBE. Brasil.

MDIC, 2007. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Programa de Aceleração do Crescimento. Brasil.

MENDES, F. E., 2004. Avaliação de Programas de Controle de Poluição Atmosférica por Veículos Leves no Brasil, Tese de D.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

MEYER, C. R., 2001. Implicações Energético-Ambientais de Esquemas de Sucateamento de Automóveis no Brasil, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

MME, 2006. Ministério de Minas e Energia, Balanço Energético Nacional 2006. Brasil.

MONTEIRO, A. G., 1998. Estratégia de Redução de Emissões de Poluentes no Setor de Transportes por Meio de Substituição Modal na Região Metropolitana de São Paulo, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

MORAES, N.G., 2005. Avaliação das Tendências da Demanda de Energia no Setor de Transportes no Brasil, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

MT, 2007. Ministério dos Transportes, Plano Nacional de Logística e Transporte, Relatório Executivo. Brasil.

MTA, 2007. Metropolitan Transportation Authority, New York City Transit and the Environment: The Clean Fuel Bus Program. Disponível em: <http://www.mta.info/nyct/facts/ffenvironment.htm>. Acesso em: 01 de Agosto de 2007.

MURGEL, E. M., 1990. Veículos Automotores. O Proálcool e a Qualidade do Ar, CNI, COASE. Brasil.

NASTARI, P.M., 2006. O Setor Brasileiro de Cana-de-açúcar Perspectivas de Crescimento, Datagro. Brasil.

NETO, J. S., 2008. Frota na Capital de São Paulo Atinge Marca Recorde de 6 milhões de Veículos. Caderno País. P.6 07 de Fevereiro de 2008. O Globo.

NREL, 2006. National Renewable Energy Laboratory, New York City Transit (NYCT) Hybrid (125 Order) and CNG Transit Buses: Final Evaluation Results. Estados Unidos.

NTU, 2004. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Anuário 2004/2005. Brasil.

NTU, 2005. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Estatísticas do Transporte Urbano. Disponível em: http://www.ntu.org.br/frame_banco.htm. Acesso em: 30 de abril de 2007.

NTU, 2006. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Pesquisa Mobilidade da População Urbana. Brasil.

ORNL, 2006. Oak Ridge National Laboratory, Transportation Energy Data Book: Edition 25. U.S. Department of Transportation. Estados Unidos.

QUATRO RODAS, 2007. Revista Quatro Rodas, Testes e Comparativos de Todas as Revistas no Período de 1990 a 2004. Levantamento a partir das Revistas, CD e do Site: <http://quatrorodas.abril.com.br/>.

REAL, M. V. e BALASSIANO, R., 2001. Identificação de Prioridade para Adoção de Estratégias de Gerenciamento de Mobilidade: O Caso da Cidade do Rio de Janeiro. Brasil.

RIBEIRO, S. K., 2000. Transporte e Mudanças Climáticas, Mauad Editora. Brasil.

RIBEIRO, S. K., 2001. Transporte Sustentável – Alternativas para Ônibus Urbanos, Centro Clima. Brasil.

RIBEIRO, S. K., 2002. Barreiras na Implantação de Alternativas Energéticas para o Transporte Rodoviário no Brasil, Centro Clima. Brasil.

RODRIGUES, A. P., 2007. Perspectivas do Mercado Sucroalcooleiro, Seminário BM&F: Perspectivas para o Agribusiness em 2007 e 2008, União da Indústria de Cana-de Açúcar. Brasil.

SCHAEFFER, R., SZKLO, A., MACHADO, G., 2004. Matriz Energética Brasileira 2003-2023, Relatório Técnico, PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

SCHAFFER, A. e VICTOR, D., 2000. The future mobility of the world population, Energy Policy 34: 171 – 205.

SCHIPPER, L., MARIE-LILLIU, C., GORHAM, R., 2000. Flexing the Link between Transport and Greenhouse Gas Emissions: a Path for the World Bank, International Energy Agency. França.

SINDIPEÇAS, 2006. Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores, Desempenho do Setor de Autopeças 2006. Brasil.

SOUZA, R. R., 2006. Panorama, Oportunidades e Desafios para o Mercado Mundial de Álcool Automotivo, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

SZKLO, A. e SCHAEFFER, R., 2006. Alternative energy sources or integrated alternative energy systems? Oil as a modern lance of Peleus for the energy transition, Energy Policy 31: 2177 – 2186.

TRUK, 2004. Produto nacional do transporte rodoviário de cargas – PTRC – o modelo TRUK de cálculo.

UNICAMP, 2005. Universidade Estadual de Campinas, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo, Relatório Final. Brasil.

UNPD, 2006. United Nations Population Division, World Population Prospects: The 2006 Revision. Disponível em: <http://esa.un.org/unpp/>. Acesso em: 21 de dezembro de 2007.

URIA, L.A.B., 1996. Emissão de Gases de Efeito Estufa no Setor de Transportes e seu Potencial de Aquecimento Indireto: O caso dos Automóveis e Veículos Comerciais Leves no Brasil, Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

VARIAN, H.R., 2006. Microeconomia – Princípios Básicos, Editora Elsevier. Brasil.

WBCSD, 2004. World Business Council for Sustainable Development, Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability, Final report of the WBCSD's Sustainable Mobility project. Estados Unidos.