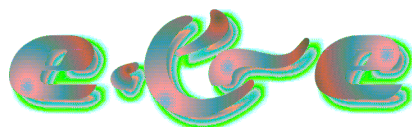


**SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO TRANSPORTE
RODOVIÁRIO**



Economia e Energia - OSCIP

Ministério da Ciência e Tecnologia
2010

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
LUÍS INACIO LULA DA SILVA

VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA
JOSÉ DE ALENCAR GOMES DA SILVA

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SERGIO MACHADO REZENDE

SECRETÁRIO EXECUTIVO
LUÍZ ANTONIO RODRIGUES ELIAS

SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
LUÍZ ANTONIO BARRETO DE CASTRO

EXECUÇÃO

COORDENADOR GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA
JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ

COORDENADOR TÉCNICO DO INVENTÁRIO
NEWTON PACIORNIK

**SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO TRANSPORTE
RODOVIÁRIO**

Elaborado por:

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público Economia e Energia - OSCIP e&e

Autores:

Omar Campos Ferreira
Carlos A. Feu Alvim da Silva
Olga Y. Mafra Guidicini
Frida Eidelman
Rafael Lemos de Macedo
Lothario Deppe

Apoio:

Ministério de Minas e Energia

Ministério da Ciência e Tecnologia
2010

Publicação do Ministério da Ciência e Tecnologia

Para obter cópias adicionais deste documento ou maiores informações, entre em contato com:

Ministério da Ciência e Tecnologia
Secretaria de Políticas e Programas de Ciência e Tecnologia
Departamento de Políticas e Programas Temáticos
Coordenação Geral de Mudanças Globais
Esplanada dos Ministérios Bloco E 2º Andar Sala 268
70067-900 - Brasília - DF
Telefone: 61 3317-7923 e 3317-7523
Fax: 61 3317-7657
e-mail: cpmg@mct.gov.br
<http://www.mct.gov.br/clima>

Revisão:

Ana Carolina Avzaradel
Newton Paciornik
Mayra Braga Rocha
Danielly Godiva

Revisão de Editoração:

Márcia dos Santos Pimenta

A realização deste trabalho só foi possível com o apoio financeiro e administrativo do:

Fundo Global para o Meio Ambiente - GEF

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

Projeto BRA/05/G31

EQSW 103/104 lote 1 bloco D Setor Sudoeste.

70670-350 - Brasília - DF

Telefone: 61 3038-9065

Fax: 613038-9009

e-mail: registry@undp.org.br

<http://www.undp.org.br>

Agradecimentos:

Expressamos nossa mais profunda gratidão, pelos constantes incentivos e apoio em todos os momentos aos trabalhos realizados, ao Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, Dr. Sérgio Rezende, e ao Secretário Executivo, Dr. Luis Elias. Estendemos nossos agradecimentos ao Dr. Eduardo Campos, que ocupou a pasta de 2004 a 2005 e ao Dr. Luiz Fernandes, que representou a Secretaria Executiva de 2004 a 2007.

Agradecemos também ao Ministério de Minas e Energia - MME, cuja equipe participou em várias etapas na elaboração deste documento dando suporte técnico e financeiro na execução dos trabalhos que possibilitaram esta publicação.

Agradecemos às equipes do GEF, do PNUD e da ABC/MRE por meio dos dirigentes dessas instituições: Sra. Monique Barbut, Dr. Jorge Chediek e Ministro Marco Farani, respectivamente, e, em particular, algumas pessoas muito especiais sem as quais a realização desse trabalho não teria sido possível: Robert Dixon, Diego Massera e Oliver Page, do GEF; Rebeca Grynstan, do PNUD/Latino América e Caribe; Kim Bolduc, Eduardo Gutierrez, Carlos Castro, Rose Diegues, Luciana Brant, do PNUD-Brasil, bem como Márcio Corrêa e Alessandra Ambrosio, da ABC/MRE. Agradecemos, igualmente, à equipe da ASCAP/MCT, por meio de sua dirigente, Dra. Ione Egler. Agradecemos, por fim, à equipe da Unidade de Supervisão Técnica e Orientação Jurídica do PNUD-Brasil. A todas essas pessoas, por seu apoio e liderança neste processo, nosso mais sincero agradecimento.

Índice

	Página
Apresentação _____	8
Sumário Executivo _____	9
1. Introdução _____	11
2. Metodologia _____	12
2.1 <i>Cálculo da frota circulante</i> _____	12
2.2 <i>Distribuição do Consumo de Combustíveis por categoria de veículo</i> _____	14
2.3 <i>Fatores de emissão</i> _____	18
2.4 <i>Detalhamento dos modelos de cálculo</i> _____	20
3. Dados _____	23
3.1 <i>Frota circulante</i> _____	23
3.2 <i>Consumo de combustíveis</i> _____	26
3.3 <i>Fatores de emissão</i> _____	29
3.3.1 <i>Fatores de Emissão para Veículos Flex Fuel</i> _____	36
4. Resultados _____	39
4.1 <i>Emissões detalhadas</i> _____	39
4.2 <i>Diferenças em relação ao Inventário Inicial</i> _____	42
5. Referências Bibliográficas _____	44

Lista de Tabelas

	Página
<i>Tabela 1 - Parâmetros aplicados na determinação do fator de sucateamento, por tipo de veículo</i>	13
<i>Tabela 2 - Relação de Consumo anual médio por veículo</i>	15
<i>Tabela 3 – Distribuição do consumo de gasolina</i>	16
<i>Tabela 4 – Distribuição do consumo de álcool hidratado</i>	16
<i>Tabela 5 – Distribuição do consumo de óleo diesel</i>	17
<i>Tabela 6 – Fator de conversão de g/km para kg/TJ</i>	19
<i>Tabela 7 - Fator de correção de g/kWh para kg/TJ</i>	19
<i>Tabela 8 – Veículos licenciados</i>	23
<i>Tabela 9 – Frota circulante de veículos 1990-2005</i>	26
<i>Tabela 10 – Consumo de combustível por tipo de combustível, em mil tep</i>	27
<i>Tabela 11 – Distribuição do consumo de gasolina por categoria de veículo</i>	28
<i>Tabela 12 – Distribuição do consumo de álcool hidratado por categoria de veículo</i>	28
<i>Tabela 13 – Distribuição do consumo de óleo diesel por categoria de veículo</i>	29
<i>Tabela 14 – Fatores médios de emissão de veículos leves novos</i>	29
<i>Tabela 15 – Fatores médios de emissão de automóveis a gasolina</i>	31
<i>Tabela 16 – Fatores médios de emissão de automóveis a álcool</i>	31
<i>Tabela 17 – Fatores médios de emissão de automóveis a óleo diesel</i>	32
<i>Tabela 18 – Fatores médios de emissão de comerciais leves a gasolina</i>	32
<i>Tabela 19 – Fatores médios de emissão de comerciais leves a óleo diesel</i>	33
<i>Tabela 20 – Fatores médios de emissão de comerciais leves a álcool</i>	33
<i>Tabela 21 – Fatores médios de emissão de caminhões a gasolina</i>	34
<i>Tabela 22 – Fatores médios de emissão de caminhões a diesel</i>	34
<i>Tabela 23 – Fatores médios de emissão de caminhões a álcool</i>	35
<i>Tabela 24 – Fatores médios de emissão de ônibus a gasolina</i>	35
<i>Tabela 25 – Fatores médios de emissão de ônibus a diesel</i>	36
<i>Tabela 26– Fatores de emissão de veículos flex fuel comparados aos de veículos da tecnologia anterior</i>	37
<i>Tabela 27 – Emissões para diferentes tratamentos da frota a álcool hidratado</i>	39
<i>Tabela 28– Emissões de CO₂</i>	39
<i>Tabela 29– Emissões de NO_x</i>	41
<i>Tabela 30– Emissões de N₂O</i>	41
<i>Tabela 31– Emissões de NMVOC</i>	42

Lista de Figuras

	Página
<i>Figura 1 – Curvas de Sucateamento por tipo de veículo</i> _____	14
<i>Figura 2 - Evolução do mercado de combustíveis automotivos</i> _____	21
<i>Figura 3 – Fatores de emissão de veículos novos</i> _____	21
<i>Figura 4 – Idade média das frotas circulantes</i> _____	22
<i>Figura 5 – Frota circulante de veículos a gasolina</i> _____	24
<i>Figura 6 – Frota circulante de veículos a álcool</i> _____	25
<i>Figura 7 - Frota circulante de veículos a óleo diesel</i> _____	25
<i>Figura 8 – Consumo de combustíveis após a entrada dos veículos flex fuel</i> _____	36
<i>Figura 9 - Extrapolação do consumo de álcool hidratado pela frota convencional remanescente</i> _____	38
<i>Figura 10 – Curvas de sobrevivência da frota de veículos</i> _____	43

Apresentação

O Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal (Inventário) é parte integrante da Comunicação Nacional à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Convenção de Mudança do Clima). A Comunicação Nacional é um dos principais compromissos de todos os países signatários da Convenção de Mudança do Clima.

A responsabilidade da elaboração da Comunicação Nacional é do Ministério da Ciência e Tecnologia, ministério responsável pela coordenação da implementação da Convenção de Mudança do Clima no Brasil, conforme divisão de trabalho no governo que foi estabelecida em 1992. A Segunda Comunicação Nacional Brasileira foi elaborada de acordo com as Diretrizes para Elaboração das Comunicações Nacionais dos Países não Listados no Anexo I da Convenção (países em desenvolvimento) (Decisão 17/CP.8 da Convenção) e as diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC).

Em atenção a essas Diretrizes, o presente Inventário é apresentado para o ano base de 2000. Adicionalmente são apresentados os valores referentes aos outros anos do período de 1990 a 2005. Em relação aos anos de 1990 a 1994, o presente Inventário atualiza as informações apresentadas no Primeiro Inventário.

Como diretriz técnica básica, foram utilizados os documentos elaborados pelo Painel Intergovernamental de Mudança Global do Clima (IPCC) “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” publicado em 1997, o documento “*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*”, publicado em 2000, e o documento “*Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*”, publicado em 2003. Algumas das estimativas já levam em conta informações publicadas no documento “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, publicado em 2006.

De acordo com as diretrizes, o Inventário deve ser completo, acurado, transparente, comparável, consistente e ser submetido a processo de controle de qualidade.

A elaboração do Inventário contou com a participação ampla de entidades governamentais e não-governamentais, incluindo ministérios, institutos, universidades, centros de pesquisa e entidades setoriais da indústria. Os estudos elaborados resultaram em um conjunto de Relatórios de Referência, do qual este relatório faz parte, contendo as informações utilizadas, descrição da metodologia empregada e critérios adotados.

Todos os Relatórios de Referência foram submetidos a uma consulta ampla de especialistas que não participaram na elaboração do Inventário diretamente, como parte do processo de controle e garantia de qualidade. Esse processo foi essencial para assegurar a qualidade e a correção da informação que constitui a informação oficial do governo brasileiro submetida à Convenção de Mudança do Clima.

Sumário Executivo

Este relatório apresenta as estimativas de emissões de gases de efeito estufa ocorridas no subsetor de Transporte Rodoviário no período de 1990 a 2005. Os gases considerados são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), classificados como agentes diretos, e os gases precursores ou agentes indiretos do efeito estufa, como o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (designados genericamente como NO_x), hidrocarbonetos (HC) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (do inglês, *Non Methane Volatile Organic Compounds - NMVOC*).

O trabalho realizado segue as recomendações contidas no *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Guidelines 1996)*. As emissões de CO₂ têm como base os dados de consumo de combustíveis do Balanço Energético Nacional (BEN) e fatores de emissão específicos, retirados dos *Guidelines 1996*, para gasolina automotiva e óleo diesel. No caso da gasolina C¹ e álcool hidratado, os fatores foram calculados a partir dos respectivos teores de carbono e poderes caloríficos inferiores.

No período de 1990 a 2005, o consumo total de combustíveis do transporte rodoviário cresceu de 29.574 para 48.073 mil tep² (62,6%), observando-se algum grau de competição entre a gasolina C e o álcool hidratado. São também fatos marcantes a rápida queda dos fatores de emissão no caso dos gases não-CO₂ e a entrada de veículos de tecnologia nova (*flex fuel*) que induziu a recuperação do consumo de álcool hidratado a partir de 2003. A Tabela I apresenta o consumo final energético do subsetor de transporte rodoviário por combustível para os anos de 1990, 1994, 2000 e 2005 em mil tep. Não são observadas grandes alterações no perfil de consumo de combustíveis deste subsetor. O óleo diesel mantém sua participação no consumo total em torno de 62%, tendo apresentado um crescimento de 59,3% no período de 1990 a 2005.

Tabela I - Consumo final energético do subsetor de transporte rodoviário, por combustível

Combustível	1990	1994	2000	2005	Part. em 1990	Part. em 2005
	(mil tep)				%	%
Diesel	15.983	18.106	23.410	25.804	54,0	53,7
Gasolina	7.436	9.235	13.261	13.595	25,1	28,3
Álcool Etílico	5.855	6.643	5.820	6.963	19,8	14,5
Gás Natural Veicular	2	40	275	1.711	0,0	3,6
Outros energéticos de petróleo	298	335	-	-	1,0	-
Total	29.574	34.359	42.766	48.073	100	100

¹ A gasolina tipo C é a gasolina comum que se encontra disponível no mercado, sendo comercializada nos postos revendedores. Essa gasolina é preparada pelas companhias distribuidoras que adicionam álcool anidro à gasolina tipo A.

² Tonelada equivalente de petróleo.

A Tabela II apresenta as emissões estimadas de CO₂ por combustível. Tendo em vista a importância do consumo de diesel no subsetor, observa-se a predominância das emissões de CO₂ derivadas do consumo desse combustível (64,5% de participação nas emissões totais de CO₂ do subsetor em 2005).

Tabela II - Emissões de CO₂ por combustível

Combustível	1990	1994	2000	2005
	Gg			
Diesel	49.067	55.585	71.868	79.217
Gasolina	21.361	26.526	38.092	39.052
Gás Natural Veicular	5	106	723	4.496
Outros energéticos de petróleo	906	1.018	0	0
Total Fóssil	71.339	83.236	110.684	122.765
Álcool	16.729	18.982	16.630	20.915
Total Biomassa ⁽¹⁾	16.729	18.982	16.630	20.915

⁽¹⁾ As emissões de CO₂ estimadas para os combustíveis de biomassa devem ser informadas, porém não são contabilizadas no total de emissões do setor de Energia.

O comportamento das emissões dos chamados gases não-CO₂, a saber: monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), óxido nitroso (NO_x), óxido de nitrogênio (N₂O) e os compostos voláteis não metânicos (NMVOC), é apresentado na Tabela III para o período de 1990 a 2005.

Tabela III - Emissões de gases não - CO₂

Gases não -CO ₂	NMVOC	N ₂ O	NO _x	CH ₄	CO
	Gg				
1990	354	1,51	1.066	10,2	7.783
1994	387	1,78	1.206	11,4	7.967
2000	326	2,22	1.283	11,1	5.303
2005	270	2,67	1.203	9,8	3.202

1. Introdução

O problema causado pelas emissões veiculares foi alvo de uma das primeiras manifestações públicas no país sobre cuidados com o meio ambiente. Na década de setenta, a fumaça preta emitida pelos veículos a óleo diesel (caminhões e ônibus urbanos) apareceu como problema ambiental devido à implantação da indústria automobilística, atrelada à rápida urbanização. A criação do Programa Nacional do Álcool, motivada pela crise de suprimento internacional do petróleo, foi saudada em âmbito internacional como iniciativa pioneira a favor da qualidade do ar em grandes centros urbanos. Em 1989, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) editou a Portaria nº 10, estabelecendo níveis de emissão para veículos novos. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), vinculada ao Governo do Estado de São Paulo, ficou encarregada do desenvolvimento do Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE), principal eixo de atuação do Governo Federal na questão.

Nas três últimas décadas puderam-se observar várias mudanças no cenário automotivo nacional, incluindo a consolidação do Pro-Álcool, a dedicação quase exclusiva do óleo diesel ao transporte coletivo urbano e ao rodoviário de carga, a introdução do catalisador nos veículos de ciclo Otto e sucessivas Portarias do CONAMA visando à redução dos níveis de emissão. Com isso, deu-se início à medição de emissões e a divulgação dos respectivos fatores.

O presente relatório apresenta as estimativas das emissões de gases de efeito estufa devido ao subsetor de Transporte Rodoviário. O cálculo das emissões foi feito para veículos movidos a álcool, gasolina, gás natural veicular, e diesel para o período de 1990 a 2005 e por tipo de veículo³.

O número de veículos licenciados a cada ano foi extraído do Anuário da Associação Nacional dos Veículos Automotores (ANFAVEA, 2009). O consumo de combustíveis do Balanço Energético Nacional (BEN) foi distribuído por categoria de veículo (automóvel, veículo comercial leve, caminhão e ônibus) mediante o emprego de relações de consumo deduzidas do ajuste das frotas ao consumo.

O carbono contido nos gases não-CO₂ foi subtraído do carbono total (*Top-down*), de forma a permitir o cálculo das emissões líquidas de CO₂ para o qual o IPCC não divulga fatores *Bottom-up*. Para os demais gases, foram usados os fatores de emissão editados pela CETESB (Relatório PROCONVE de 2006), convertidos da unidade original (g/km) para a unidade usual da metodologia *Bottom-up* do IPCC (kg/TJ). Os fatores foram ponderados para o ano de cálculo, segundo a composição da frota circulante, por ano de licenciamento.

³ No período inicial do Inventário se observa no subsetor de transporte rodoviário o consumo de outros energéticos de petróleo, como metanol e MTBE, os quais também foram contemplados neste estudo.

2. Metodologia

Os veículos contemplados nesse trabalho são classificados em automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus. Os gases de efeito estufa para os quais são calculadas as emissões são o dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O), dióxido de nitrogênio (NO_x), metano (CH₄), e compostos orgânicos voláteis não metânicos (sigla em inglês NMVOC).

Para efeito de cálculo são considerados o crescimento e o sucateamento da frota a cada ano, o consumo médio de cada tipo de veículo, a variação do consumo de combustível em função da idade dos veículos, a deterioração das emissões em função da quilometragem e os índices de emissão relativos ao ano de fabricação.

Os procedimentos adotados nos cálculos da frota circulante, na conversão dos fatores de emissão para veículos novos em fatores ponderados para toda a frota e na distribuição do consumo de cada combustível são apresentados a seguir.

2.1 Cálculo da frota circulante

O cálculo é, em essência, um exercício de balanço entre a entrada de veículos novos e o sucateamento em função da idade/rodagem dos veículos de cada categoria, que procura sanar a carência de dados do Cadastro Nacional de Veículos. A entrada de veículos novos deriva do Anuário da ANFAVEA, que informa sobre o licenciamento verificado no ano, incluindo os veículos importados. Com base nos dados de vendas de veículos, aplicou-se uma função logística para o sucateamento, obtendo-se assim a contribuição de cada tipo de veículo para a frota circulante em um ano específico⁴.

No que se refere à importação de anos anteriores a 1957 (data do início das atividades da indústria automobilística nacional) foram adotados dados fornecidos por BARROS e SOARES (1992), disponibilizados para o período que se inicia em 1937. A frota inicial existente em 1936 tem como base dados do Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes - GEIPOT (IBGE, 1987).

Os dados iniciais mostraram ter pouca influência na apuração dos dados de frota a partir de 1970 e nenhuma, a partir de 1990, de acordo com os critérios de sucateamento adotados. As informações sobre o período de 1980 a 1990 não são completas, mas sabe-se que as importações foram mínimas, em virtude das restrições vigentes na época.

O número de veículos que permanecem em circulação é estimado através da função logística de sucateamento. A fórmula utilizada para o cálculo do fator de sucateamento é:

⁴ A curva de sucateamento foi calibrada para reproduzir aproximadamente os dados da frota e a idade média dos veículos em 1997 de acordo com o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN).

$$SUCAT(t) = 1 / (1 + \exp(a \times (t - 1 - x_0)))$$

Onde:

$SUCAT(t)$ = fração de veículos sucateada na idade t

(t) = idade do veículo, determinada pela diferença entre o ano de referência e o ano de fabricação.

x_0 = ponto de inflexão da curva em S (valor remanescente igual à metade do inicial⁵).

A Tabela 1 registra as constantes utilizadas no ajuste da curva aos dados do Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN/1997, vendo-se a boa concordância obtida (Economia e Energia, 1999).

Tabela 1 - Parâmetros aplicados na determinação do fator de sucateamento, por tipo de veículo

Veículo	x_0	a	Frota estimada	Idade estimada	Frota DENATRAN	Idade DENATRAN
Automóveis	21	0,19	161.187	9,90	162.480	9,9
Comerciais Leves	15,3	0,17	2.416	8,15	2.340	8,21
Caminhões	21	0,10	1.096	14,45	1.078	14,5
Ônibus	19,1	0,16	220	10,09	220	10,1

O número de veículos licenciados no ano i que permanecem em atividade no ano t é calculado pela equação:

$$N_i(t) = V_i / [1 + \exp(a \times (t - i - t_0))]$$

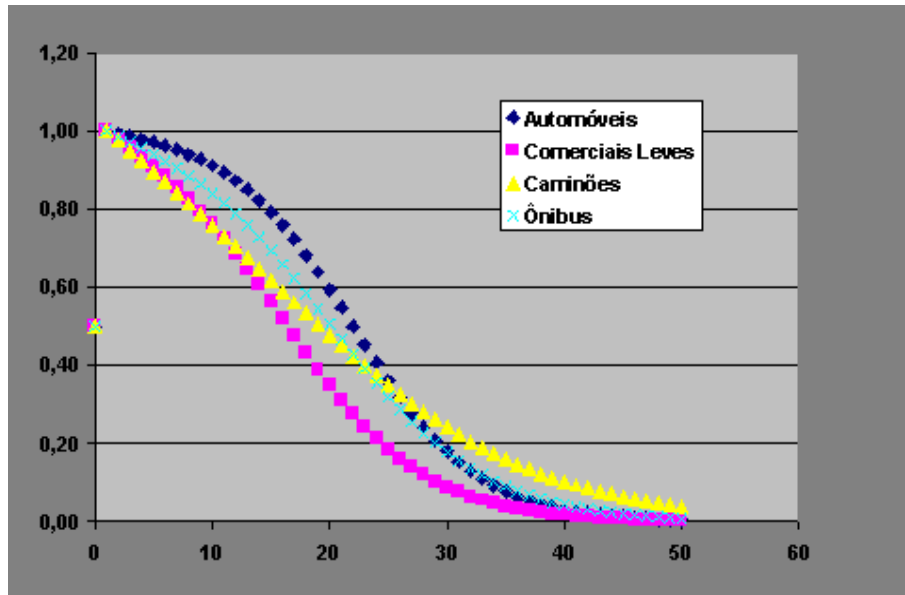
A frota circulante no ano t é dada pelo somatório dos veículos de todos os anos anteriores:

$$F(t) = \sum_i V_i / [1 + \exp(a \times (t - i - t_0))]$$

As curvas de sucateamento adotadas neste relatório são apresentadas na Figura 1 para cada tipo de veículo, considerando a vida máxima para cada veículo de 50 anos.

⁵ Para anos anteriores aos do cálculo, assume-se uma redução de 50% da frota circulante do ano para correlacionar com os dados anuais de consumo apurados no último dia do ano. No cálculo dos anos seguintes, a frota do ano t é considerada integralmente.

Figura 1 - Curvas de Sucateamento por tipo de veículo



2.2 Distribuição do Consumo de Combustíveis por categoria de veículo

Foi calculado, a partir dos dados de consumo do BEN e do consumo por tipo de veículo, o consumo ano a ano de cada combustível por cada tipo de veículo.

O consumo anual por tipo de veículo foi determinado a partir da equação:

$$C_i = F_i \times U \times Rel_{ij} \times 1000$$

Onde:

C_i = Consumo anual para cada tipo de veículo i (mil tep), sendo i = automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus;

F_i = Frota circulante de cada tipo de veículo i (unidade);

U = Unidade de consumo;

Rel_{ij} = Relação de consumo do combustível j pelo veículo i , sendo j = diesel, gasolina e álcool hidratado (mil tep).

A unidade de consumo, por sua vez, é dada pela fórmula:

$$U = \text{Cons}_j / \sum (F_i \times Rel_{ij})$$

Onde:

$Cons_j$ = Consumo do combustível j de acordo com o BEN⁶ (mil tep);

F_i e Rel_{ij} foram definidos na equação anterior.

A relação de consumo (Rel_{ij}) é apresentada na Tabela 2, por combustível, para cada tipo de veículo.

Tabela 2 - Relação de Consumo anual médio por veículo

Combustível	Tipo de Veículo			
	Automóvel	Comercial Leve	Caminhão	Ônibus
Gasolina	1	2	5	0
Álcool	1	1,5	5	0
Diesel	0	1,5	5	6

Finalmente é feita a conversão do consumo calculado em tep para terajoule (TJ), mediante a equivalência de 41,868 TJ para 1000 tep.

O consumo em TJ foi então distribuído pelas categorias de veículos utilizando as relações de consumo (Economia e Energia, 2000), revistas para a aplicação no período de 1990 a 2005, sob o critério de reprodução do consumo registrado no BEN para o período em análise. Essa abordagem permite avaliar *a posteriori* a incerteza da avaliação do consumo anual médio por veículo de cada categoria. As Tabelas 3 a 5 apresentam os resultados da análise de dispersão do consumo unitário (TJ/veículo) por tipo de combustível.

⁶⁶ Os dados de consumo do BEN são apresentados na seção 3 deste relatório.

Tabela 3 - Distribuição do consumo de gasolina

Ano	Frota a gasolina	Consumo mil TJ	Consumo /veículo
1990	8.114.464	339	0,0417
1991	8.307.558	374	0,0450
1992	8.459.025	386	0,0456
1993	8.702.574	407	0,0468
1994	9.237.932	456	0,0494
1995	10.146.131	538	0,0530
1996	11.275.743	633	0,0561
1997	12.509.578	705	0,0563
1998	13.609.813	738	0,0542
1999	14.368.384	711	0,0495
2000	15.086.617	683	0,0452
2001	15.938.757	678	0,0426
2002	16.769.414	682	0,0407
2003	17.466.419	711	0,0407
2004	18.054.476	734	0,0407
2005	18.406.156	740	0,0402
Média:			0,0467
Desvio Padrão Absoluto:			0,0057

Tabela 4 - Distribuição do consumo de álcool hidratado

Ano	Frota a Álcool hidratado	Consumo mil TJ	Consumo /veículo
1990	4.348.783	218	0,0501
1991	4.421.028	219	0,0495
1992	4.540.733	200	0,0441
1993	4.706.915	206	0,0439
1994	4.834.431	208	0,0431
1995	4.841.359	212	0,0438
1996	4.771.312	209	0,0438
1997	4.669.325	177	0,0379
1998	4.550.497	165	0,0362
1999	4.422.155	150	0,0340
2000	4.283.347	116	0,0271
2001	4.133.465	91	0,0220
2002	3.991.790	93	0,0232
2003	3.868.816	80	0,0208
2004	3.894.600	103	0,0265
2005	4.282.559	121	0,0282
Média:			0,0359
Desvio Padrão Absoluto:			0,0100

Tabela 5 - Distribuição do consumo de óleo diesel

Ano	Frota a Diesel	Consumo mil TJ	Consumo /veículo
1990	1.329.747	669	0,5031
1991	1.377.888	694	0,5039
1992	1.413.998	707	0,4998
1993	1.453.977	725	0,4988
1994	1.516.866	758	0,4997
1995	1.588.510	807	0,5081
1996	1.644.062	844	0,5134
1997	1.704.330	897	0,5262
1998	1.780.338	940	0,5279
1999	1.844.411	950	0,5153
2000	1.918.366	980	0,5108
2001	2.008.894	1008	0,5016
2002	2.085.095	1050	0,5036
2003	2.144.487	1015	0,4734
2004	2.211.717	1086	0,4909
2005	2.289.527	1080	0,4718
Média:			0,5030
Desvio Padrão Absoluto:			0,0154

No caso da frota a álcool, houve forte variação do consumo devido em parte à conversão de veículos para consumir gás natural. Não há dados sobre o número de veículos convertidos e também não há fatores de emissão oficiais para esses veículos. Foi realizada uma tentativa de incorporação do gás natural como complemento ao álcool, mas os resultados não foram consistentes. Assim, a distribuição do consumo de álcool só mostrou coerência até o ano de 1996; para os anos seguintes, foram usadas as mesmas relações apresentadas para o período que se encerra em 1996. Observa-se que o consumo médio de gasolina por veículo apresentou incerteza de 9,8%, o de álcool apresentou 6,6% e o de óleo diesel mostrou 4,2% de dispersão. No caso do óleo diesel, a incerteza provém somente da flutuação da economia, posto que esse combustível praticamente não tem concorrência com outros combustíveis. Para as frotas a gasolina e álcool hidratado, a incerteza engloba também os efeitos da política de preços dos combustíveis e dos hábitos de consumo condicionados pela renda.

2.3 Fatores de emissão

Uma vez feita a distribuição do consumo pelas categorias de veículos, foram calculados os fatores de emissão médios para cada ano, para cada tipo de veículo. O perfil dos combustíveis utilizados no subsetor de Transporte Rodoviário difere substancialmente daquele observado em outros países devido ao uso do álcool anidro em mistura com a gasolina e do álcool hidratado. Assim, a utilização de fatores de emissão divulgados por organismos internacionais (IPCC, CORINAIR, EPA, etc.) deve se apoiar na análise das características do consumo no Brasil.

A legislação brasileira, apesar de ser mais recente do que a de países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE, que lhe serviram de modelo, não exige a medição das emissões de CH₄ e de N₂O, mas inclui a de hidrocarbonetos (HC), que corresponde à parte do NMVOC, e de aldeídos, que não figura nos dados internacionais.

Os dados utilizados neste trabalho são do PROCONVE, para o período de 1980 a 2001, sendo apresentados em grama do gás por quilômetro de percurso (g/km). A conversão para kg/TJ, como usado pelo *International Panel on Climate Change* - IPCC, para misturas de dois combustíveis, como a gasolina C (gasolina A + álcool anidro), passa pelas equações:

$$\rho_{\text{mistura}} = (\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2) / (v_1 + v_2)$$

$$PCI_{\text{mist}} = (\rho_1 v_1 PCI_1 + \rho_2 v_2 PCI_2) / (\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2)$$

onde ρ é densidade, v é a fração do componente na mistura (em volume) e PCI (poder calorífico inferior). Para a gasolina C, a proporção é de 78% de gasolina A em volume e 22% de álcool anidro. Com dados do BEN tem-se:

$$\rho_{\text{gas C}} = (0,742 \times 0,78 + 0,791 \times 0,22) / 1 = 0,753 \text{ kg/l}$$

$$PCI_{\text{gas C}} = (0,742 \times 0,78 \times 10.550 + 0,791 \times 0,22 \times 6.750) = 7.281 \text{ kcal/kg}$$

O poder calorífico por unidade de volume da mistura, calculado para facilitar a conversão do fator de emissão, é de 5.482 kcal/l. A conversão de g/km para kg/TJ também considera o consumo por quilômetro ou consumo por kWh (para motor Diesel), informado pelas montadoras. A autonomia dos veículos a gasolina C e a álcool hidratado foi calculada, em km/litro, a partir de (i) dados de consumo de gasolina automotiva (A), álcool anidro e álcool hidratado pelo subsetor em 1994, (ii) a distribuição das respectivas frotas por idade nesse mesmo ano (Economia e Energia, 1999) e (iii) o percurso médio por faixas de idade (MCT, 2006). O percurso médio por litro de gasolina C foi calculado como 9,3 km/l; para o álcool hidratado, encontrou-se o resultado 7,7 km/l. A Tabela 6 apresenta a conversão dos fatores de correção de g/km (CETESB) para kg/TJ (IPCC), por etapa de cálculo.

Tabela 6 - Fator de conversão de g/km para kg/TJ

	De	Para	Fator
Gasolina C	g/km	g/l	10,3
	g/l	g/kcal	$1/5.482 = 182 \times 10^{-6}$
	g/kcal	g/J	$1/4.186 = 239 \times 10^{-6}$
	g/J	kg/TJ	10^9
	Resultado		421
Álcool Hidratado	g/km	g/l	7,7
	g/l	g/kcal	$1/(0,791 \times 7.281) = 174 \times 10^{-6}$
	g/kcal	g/J	$1/4.186 = 239 \times 10^{-6}$
	g/J	kg/TJ	10^9
	Resultado		413

Para motores a diesel não há fatores medidos, mas apenas limites de emissão e fatores médios⁷ para os anos de 1994, 1996, 1998 e 2000, dos quais se deduzem fatores anuais por interpolação linear. Da mesma forma que para veículos de Ciclo Otto, esses fatores devem ser ponderados pelo número de veículos de cada ano de licenciamento em circulação no ano para o qual se calculam as emissões, obtendo-se os fatores efetivos para representar o estado de emissão da frota. Observa-se que, embora os fatores para veículos novos de cada ano possam ser iguais para as frotas de um mesmo combustível, os fatores para os veículos em circulação são diferenciados pela composição da frota circulante.

A conversão do fator de g/kWh para kg/TJ tem por base a eficiência do motor ou, de forma equivalente, o consumo de óleo diesel por kWh de energia motriz no eixo do motor. Das curvas de desempenho por tipo de veículo (caminhão leve, caminhão semipesado, caminhão extrapesado e ônibus) e da participação de cada tipo de veículo na produção total resultou o consumo médio de 207 g/kWh. Em termos de Poder Calorífico Inferior do BEN, a eficiência média correspondente é de 40%. Na Tabela 7 podem ser observados os fatores utilizados para a conversão de g/kWh para kg/TJ para o óleo diesel.

Tabela 7 - Fator de correção de g/kWh para kg/TJ

	De	Para	Fator
Diesel	g/kWh	g/PCI	1/0,027
	g/PCI	g/kJ	$1/0,207 \times 10.350 \times 4,186 = 1,12 \times 10^{-4}$
	g/kJ	kg/TJ	10^9
	Resultado		112

Da mesma forma como para os veículos do ciclo Otto (gasolina e álcool), não se dispõe de dados de emissão de CH₄ e N₂O. Os fatores para o metano podem ser obtidos dos dados do CORINAIR,

⁷ Média aritmética dos valores obtidos nos processos de homologação (Relatório de Qualidade do Ar, CETESB).

como foi feito para os veículos do ciclo Otto. Para o N₂O foram adotados os fatores *default* do IPCC.

Para veículos usados, que representam a maior parte da frota, é necessário introduzir correções que tenham em conta a degradação das emissões, decorrente do desgaste do veículo. Para o gás CO emitido pela frota do Ciclo Otto, foi aplicado o fator de deterioração de emissões recomendado pela *Environmental Protection Agency* - EPA. Não foi encontrado estudo sobre deterioração de emissões para o motor Diesel.

O controle de emissões começou a ser praticado no Brasil com a edição da Resolução nº 010/1989 do CONAMA que estabeleceu limites a vigorar a partir de janeiro de 1992. Apenas 20% da frota a gasolina (automóveis e comerciais leves) foram fabricados entre 1992 e 1994. Assim, a fração CH₄ / VOC estaria entre 2% (emissões não controladas) e 1,3% (controle por catalisador de oxidação). Foi adotado, neste trabalho, o valor médio, ou seja, 1,65. À falta de termo de comparação para a emissão de CH₄ pela frota a álcool hidratado, foi adotada a mesma fração (1,65%).

Os fatores de emissão efetivos, que multiplicados pelo consumo de combustível no ano *t* fornecem as emissões nesse ano, são calculados para cada tipo de combustível e categoria de veículos pela equação:

$$FE_{ef}(t) = \sum_i FE_i \times F(i,t) / \sum_i F(i,t)$$

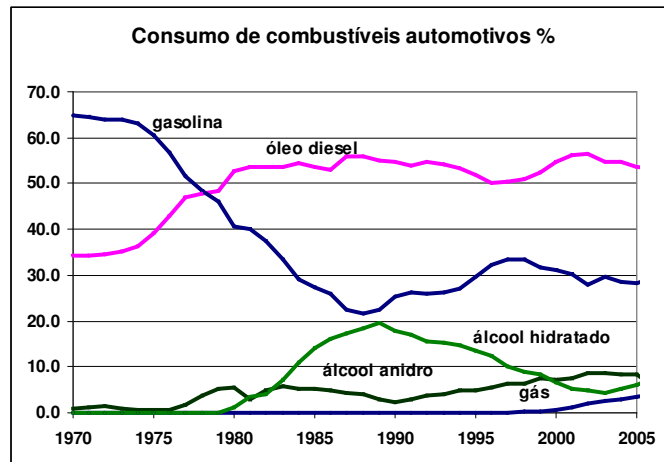
sendo FE_i o fator de emissão do veículo novo licenciado no ano *i* e $F(i,t)$ a frota de veículos do ano *i* sobrevivente no ano *t*.

As tabelas de fatores de emissão efetivos para os anos do intervalo 1990-2005 são apresentadas na seção 3. Os fatores para veículos *flex fuel*, divulgados pela CETESB em 2010 são apresentados na mesma seção em confronto com os fatores para veículos convencionais dos mesmos anos. Por falta de dados específicos sobre a razão entre álcool e gasolina utilizados por veículos equipados com motores *flex*, as emissões associadas a esses veículos foram atribuídas exclusivamente ao consumo de álcool.

2.4 Detalhamento dos modelos de cálculo

O parque nacional de veículos automotores experimentou importantes modificações iniciadas com a introdução do álcool combustível na matriz energética do subsetor, em resposta à crise de suprimento de petróleo ocorrida em meados da década de setenta. O álcool anidro (misturado à gasolina) e o álcool hidratado substituíram a gasolina automotiva (gasolina A, pura) em veículos leves do Ciclo Otto. O óleo diesel foi destinado prioritariamente ao transporte de carga e ao transporte coletivo de passageiros. A Figura 2 mostra a intensa movimentação do mercado de combustíveis que gerou mudanças nas características operacionais dos veículos.

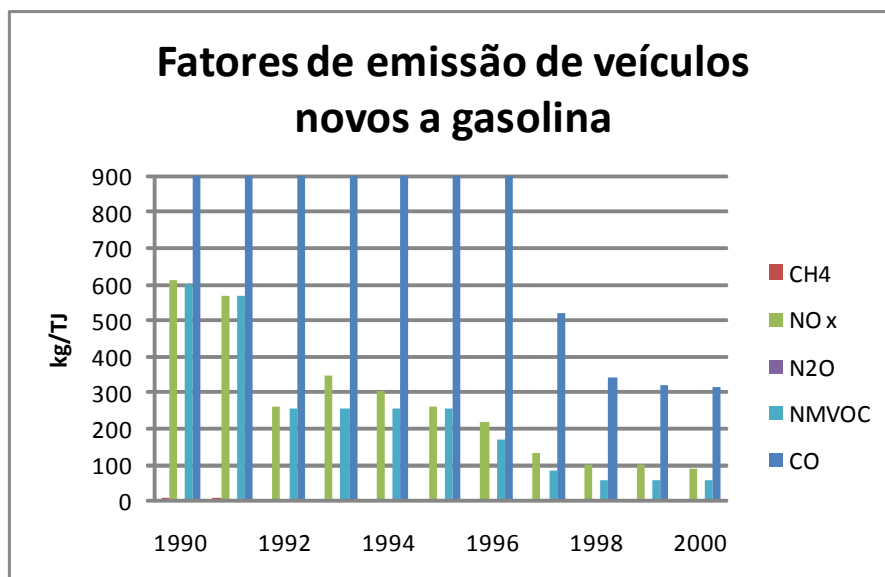
Figura 2 - Evolução do mercado de combustíveis automotivos



Fonte: BEN, 2007

A partir da década de oitenta, foram introduzidos sucessivamente o controle eletrônico de ignição, controle catalítico de emissões e motores de combustível flexível (*flex fuel*), com ganhos na eficiência e redução drástica dos fatores de emissão, como mostra a **Figura 3** (para motores novos a gasolina, a título de exemplo).

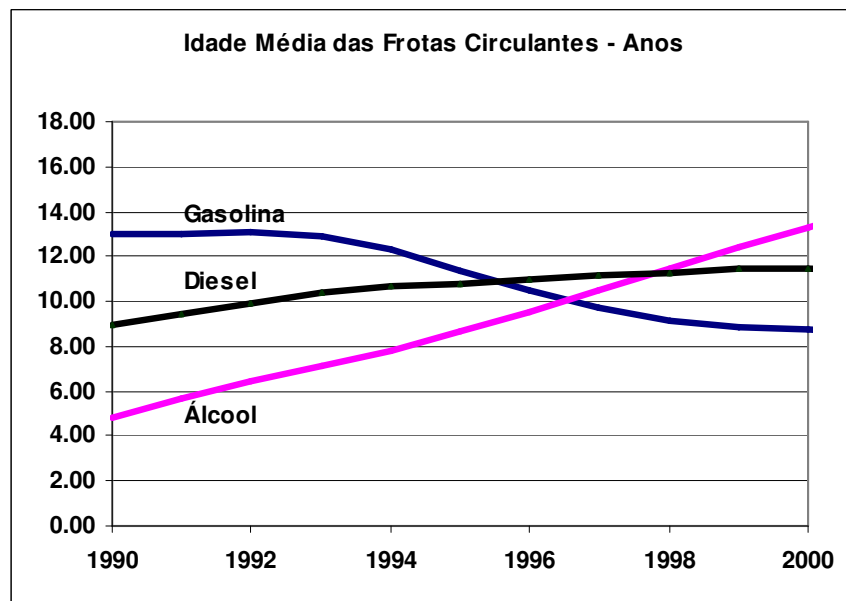
Figura 3 - Fatores de emissão de veículos novos



Fonte: CETESB, 2006

As mudanças tecnológicas decorrentes da evolução sócio-econômica do período em análise provocaram alterações no ritmo de renovação da frota (**Figura 4**, para veículos leves).

Figura 4 - Idade média das frotas circulantes



3. Dados

Nesta seção são apresentados dados relativos à frota de veículos, consumo de combustíveis e fatores de emissão. No caso da frota são apresentados os dados de veículos licenciados que foram utilizados como base para a construção das curvas de sucateamento. Em relação ao consumo de combustíveis, apresentam-se os dados do BEN para o período de 1990 a 2005 bem como a distribuição do consumo de cada combustível pelas diferentes categorias de veículos. Finalmente, o item final traz os fatores médios de emissão calculados para cada tipo de veículo, para cada combustível.

3.1 Frota circulante

O número de veículos licenciados de cada categoria, incluídos os veículos *flex-fuel*, é aquele informado pela ANFAVEA. Os dados são apresentados para o período de 1990 a 2005 na Tabela 8.

Tabela 8 - Veículos licenciados

Veículo		Ano							
Comb.	Tipo	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Álcool	Automóveis	70.250	129.139	164.840	227.289	119.203	32.808	6.333	924
Álcool	Comerciais leves	11.746	21.843	30.663	36.946	22.631	7.898	1.314	196
Álcool	Caminhões	5	3	7	0	1	1	0	0
Álcool	Ônibus	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	Automóveis	71	291	489	1.136	1.008	0	0	0
Diesel	Comerciais Leves	36.415	34.913	29.732	51.417	60.132	53.898	43.521	70.857
Diesel	Caminhões	41.186	41.338	25.594	38.317	52.326	58.725	42.134	54.931
Diesel	Ônibus	10.091	16.865	13.706	11.396	12.595	17.368	15.518	14.862
Gasolina	Automóveis	462.585	468.462	431.635	675.403	1.007.462	1.374.265	1.399.212	1.568.803
Gasolina	Comerciais Leves	80.270	77.796	67.292	89.195	120.023	183.409	222.756	232.885
Gasolina	Caminhões (Peso 8)	122	123	58	66	22	8	0	0
Gasolina	Ônibus (Peso 8)	0	0	0	0	0	0	0	0
Flex	Automóveis	0	0	0	0	0	0	0	0
Flex	Comerciais leves	0	0	0	0	0	0	0	0
Flex	Caminhões	0	0	0	0	0	0	0	0
Flex	Ônibus	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 8 - Veículos licenciados (cont.)

Veículo		Ano							
Comb.	Tipo	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Álcool	Automóveis	981	9.851	9.610	14.979	47.366	33.034	49.801	30.904
Álcool	Comerciais leves	243	1.096	682	3.356	8.595	3.346	1.149	1.453
Álcool	Caminhões	0	0	0	0	0	0	0	0
Álcool	Ônibus	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	Automóveis	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	Comerciais Leves	76.465	62.433	83.062	80.432	64.341	54.729	66.247	77.453
Diesel	Caminhões	52.768	50.665	69.092	73.517	66.484	68.121	85.729	80.334
Diesel	Ônibus	15.761	10.679	16.439	16.578	16.790	17.413	16.982	15.363
Gasolina	Automóveis	1.210.904	1.001.996	1.167.164	1.280.117	1.181.780	1.046.474	967.235	609.903
Gasolina	Comerciais Leves	177.830	120.233	143.315	132.303	102.183	105.989	110.710	87.130
Gasolina	Caminhões (Peso 8)	0	0	117	0	0	0	0	0
Gasolina	Ônibus (Peso 8)	0	0	0	0	0	0	0	0
Flex	Automóveis	0	0	0	0	0	39.095	278.764	728.375
Flex	Comerciais leves	0	0	0	0	0	9.083	49.615	83.729
Flex	Caminhões	0	0	0	0	0	0	0	0
Flex	Ônibus	0	0	0	0	0	0	0	0

A partir desses dados, calcula-se a frota circulante do ano de interesse mediante a aplicação da função logística de sucateamento, com parâmetros que fornecem a melhor aproximação ao contorno das estatísticas do Cadastro Único de Veículos do DENATRAN (Economia e Energia, 1999). A Tabela 9 e a Figura 5, juntamente com a Figura 6 e a Figura 7, mostram a composição da frota circulante por tipo de combustível.

Figura 5 - Frota circulante de veículos a gasolina

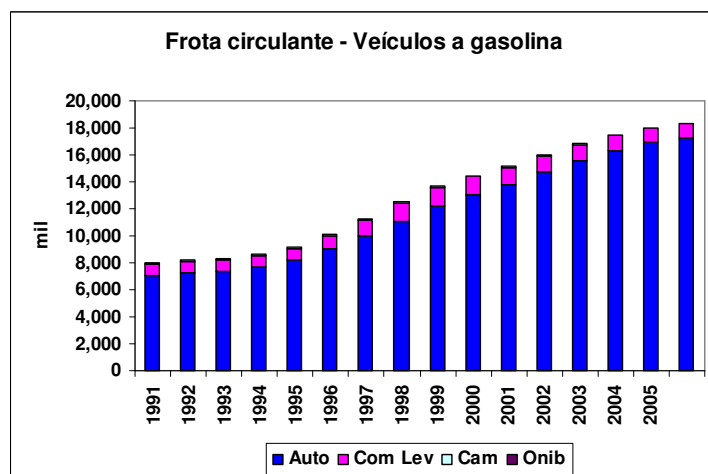


Figura 6 - Frota circulante de veículos a álcool

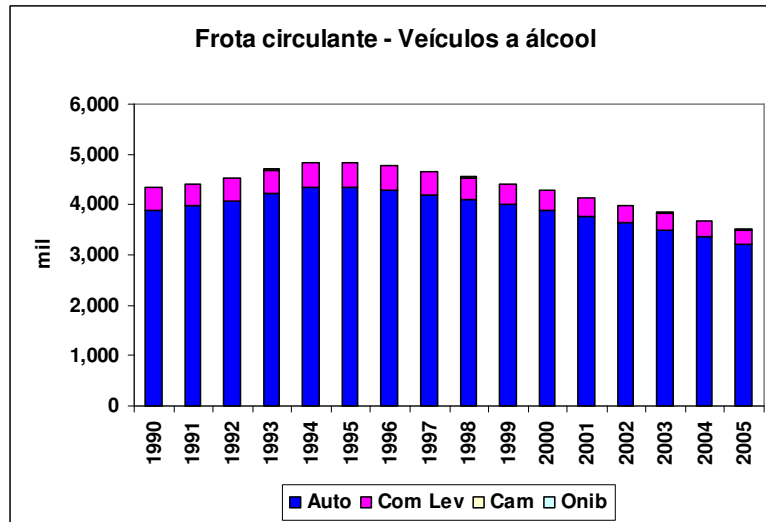


Figura 7 - Frota circulante de veículos a óleo diesel

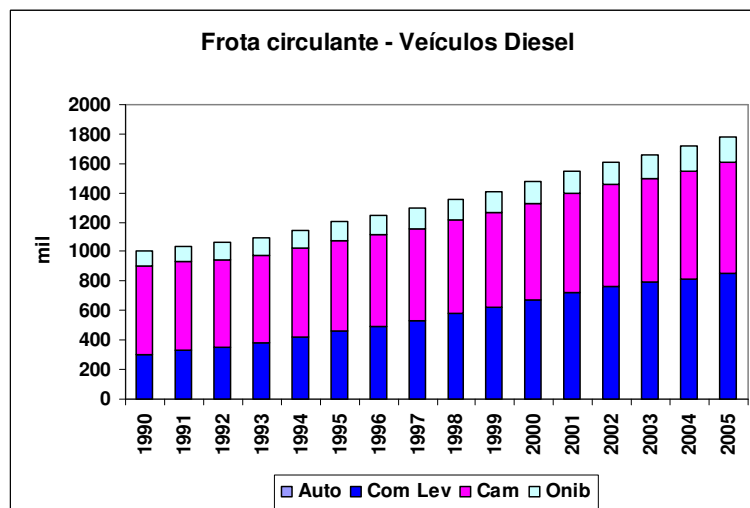


Tabela 9 - Frota circulante de veículos 1990-2005

Frota Circulante (Mil Unidades)											
Ano	Gasolina				Diesel				Álcool		
	Auto	Com Lev	Cam	Onib	Auto	Com Lev	Cam	Onib	Auto	Com Lev	Cam
1990	7.064	797	253	0,7	0,0	306	866	157	3.902	438	8,9
1991	7.253	815	239	0,6	0,2	332	881	165	3.968	445	8,8
1992	7.407	827	225	0,6	0,6	352	887	174	4.073	459	8,6
1993	7.645	845	211	0,5	1,4	380	893	180	4.220	478	8,5
1994	8.150	889	199	0,5	2,4	421	909	185	4.334	492	8,3
1995	8.981	979	186	0,4	2,9	460	933	193	4.343	490	8,1
1996	9.986	1.116	174	0,4	2,9	490	949	201	4.287	477	7,9
1997	11.072	1.274	162	0,3	2,9	528	965	209	4.203	459	7,7
1998	12.049	1.409	151	0,3	2,9	578	983	216	4.104	439	7,4
1999	12.738	1.489	141	0,2	2,9	622	998	221	3.997	418	7,2
2000	13.401	1.554	131	0,2	2,8	669	1.021	226	3.880	396	7,0
2001	14.195	1.622	122	0,2	2,8	721	1.052	233	3.752	375	6,7
2002	14.988	1.669	113	0,2	2,8	761	1.080	240	3.629	356	6,5
2003	15.661	1.702	104	0,1	2,7	788	1.106	248	3.521	342	6,2
2004	16.222	1.736	96	0,1	2,7	815	1.139	255	3.541	348	5,9
2005	16.560	1.757	89	0,1	2,6	850	1.176	261	3.889	388	5,7

Observações: veículos *flex fuel* incluídos na frota a álcool

O consumo de gasolina C e de álcool hidratado se concentra em veículos leves (automóveis e comerciais leves), enquanto que o óleo diesel supre as frotas de caminhões, ônibus e comerciais leves. Este fato permite agregar os ônibus e caminhões a gasolina e a álcool e usar os fatores de emissão de veículos leves para todas as categorias. Este tratamento é conservador, visto que, para o mesmo combustível e a mesma tecnologia, motores de maior potência emitem menor massa de gases por unidade de energia convertida.

3.2 Consumo de combustíveis

Segundo dados do BEN (2007), o consumo energético do subsetor de transporte rodoviário apresentou um aumento de 62,6% no período de 1990 a 2005. O óleo diesel se destaca como o combustível mais utilizado, seguido pela gasolina e álcool, conforme Tabela 11 a seguir.

Ressalta-se, a retomada do crescimento do consumo de álcool e, a partir de 2003, a entrada de veículos de Ciclo Otto com tecnologia *flex-fuel* movidos a álcool hidratado, gasolina ou qualquer mistura dos dois combustíveis, comprovando a importância desse energético na matriz energética do subsetor de transportes nos últimos anos.

Box: Biodiesel

Além do avanço da utilização do álcool, tem-se no biodiesel a inserção de mais um componente renovável na matriz energética brasileira, devido a ações de incentivo do governo brasileiro e ao lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) em 2004. O Programa estabelece a obrigatoriedade de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor nos percentuais de 2% a partir de 1º de janeiro de 2008 e 5% a partir do ano de 2013, sendo o período de 2006 a 2008 de caráter voluntário. Em março de 2008, foi promulgada uma resolução antecipando as metas do programa, de modo que a obrigatoriedade da adoção de 3% de biodiesel passou a valer a partir de 1º julho de 2008, sendo elevada para 5%, a partir de janeiro de 2010.

Apesar do potencial de evolução do biodiesel no subsetor de transporte rodoviário, os dados de consumo de biodiesel ainda não estão contemplados no BEN e o seu consumo só se torna crescente a partir de 2005 (ANP, 2010). Sendo assim, as emissões referentes ao uso de biodiesel não foram consideradas nesse Relatório. No entanto, estimativas futuras devem incorporar o uso do biocombustível.

Dito isso, a Tabela 10 apresenta os dados de consumo de combustível para o período de 1990 a 2005 para cada tipo de combustível, em mil tep.

Tabela 10 - Consumo de combustível por tipo de combustível, em mil tep

Ano	Diesel	Gasolina	Gás Natural	Outros Energéticos de Petróleo	Álcool Anidro	Álcool Hidratado
1990	15.983	7.436	2	298	650	5.205
1991	16.587	8.059	2	301	879	5.225
1992	16.882	8.023	0	323	1.189	4.784
1993	17.325	8.436	22	261	1.297	4.931
1994	18.106	9.235	40	335	1.669	4.974
1995	19.280	11.057	43	377	1.800	5.069
1996	20.165	12.946	32	0	2.165	4.987
1997	21.422	14.156	41	0	2.677	4.233
1998	22.453	14.772	116	0	2.850	3.933
1999	22.704	13.770	140	0	3.205	3.594
2000	23.410	13.261	275	0	3.046	2.774
2001	24.071	12.995	503	0	3.208	2.170
2002	25.086	12.426	862	0	3.871	2.214
2003	24.252	13.115	1.169	0	3.875	1.919
2004	25.939	13.560	1.390	0	3.979	2.466
2005	25.804	13.595	1.711	0	4.079	2.885

Fonte: BEN, 2007

O consumo de cada combustível (BEN, 2007) foi convertido de 1000 tep para TJ mediante o emprego da relação: 1000 tep = 41,868 TJ. O consumo em TJ foi então distribuído pelas categorias de veículos utilizando relações de consumo (Economia e Energia, 2000) revistas para a aplicação no período de 1990 a 2005, sob o critério de reprodução do consumo registrado no BEN para o período em análise. Essa abordagem permite avaliar *a posteriori* a incerteza média na avaliação do consumo por categoria de veículos. As Tabelas 11 a 13 mostram os resultados dos melhores ajustes obtidos.

Tabela 11 - Distribuição do consumo de gasolina por categoria de veículo

Distribuição do Consumo de Gasolina C - mil TJ				
Ano	Automóveis	Com. Leve	Caminhões	Total
1990	219	49	70	339
1991	246	55	73	374
1992	258	58	70	386
1993	277	61	69	407
1994	318	69	70	456
1995	383	84	71	538
1996	458	102	72	633
1997	517	119	68	705
1998	548	128	62	738
1999	533	125	53	711
2000	517	120	45	683
2001	519	119	40	678
2002	529	118	36	682
2003	557	121	33	711
2004	579	124	31	734
2005	587	125	28	740

Tabela 12 - Distribuição do consumo de álcool hidratado por categoria de veículo

Distribuição do Consumo de Álcool Hidratado - mil TJ				
Ano	Automóveis	Com. Leve	Caminhões	Total
1990	185	31	2	218
1991	185	31	2	219
1992	170	29	2	200
1993	175	30	2	206
1994	177	30	2	208
1995	180	30	2	212
1996	178	30	2	209
1997	151	25	1	177
1998	141	23	1	165
1999	129	20	1	150
2000	100	15	1	116
2001	78	12	1	91
2002	80	12	1	93
2003	70	10	1	80
2004	89	13	1	103
2005	104	16	1	121

Tabela 13 - Distribuição do consumo de óleo diesel por categoria de veículo

Ano	Distribuição do Consumo de Óleo Diesel mil TJ				
	Automóveis	Com. Leve	Caminhões	Ônibus	Total
1990	0	54	505	110	669
1991	0	59	519	116	694
1992	0	62	522	123	707
1993	0	68	530	128	725
1994	0	76	548	134	758
1995	0	86	578	143	807
1996	0	93	599	152	844
1997	0	103	630	164	897
1998	0	115	653	172	940
1999	0	122	654	174	950
2000	0	132	670	178	980
2001	0	141	685	182	1.008
2002	0	150	710	190	1.050
2003	0	146	685	184	1.015
2004	0	157	732	197	1.086
2005	0	158	728	194	1.080

3.3 Fatores de emissão

No cálculo das emissões, os fatores de emissão de veículos novos são ponderados pelo número de veículos licenciados a cada ano. A Tabela 14 apresenta os fatores divulgados pela CETESB.

Tabela 14 - Fatores médios de emissão de veículos leves novos

Ano Modelo	Combustível	CO	NO _x	RCHO	Emissão Evaporativa de Combustível
		(g/km)			(g/teste)
PRÉ - 1980	Gasolina	54	1,2	0,05	nd
1980 - 1983	Gasolina C	33	1,4	0,05	nd
	Álcool	18	1	0,16	nd
1984 - 1985	Gasolina C	28	1,6	0,05	23
	Álcool	16,9	1,2	0,18	10
1986 - 1987	Gasolina C	22	1,9	0,04	23
	Álcool	16	1,8	0,11	10
1988	Gasolina C	18,5	1,8	0,04	23
	Álcool	13,3	1,4	0,11	10
1989	Gasolina C	15,2 (-46%)	1,6 (0%)	0,040 (-20%)	23,0 (0%)
	Álcool	12,8 (-24%)	1,1 (-8%)	0,110 (-39%)	10,0 (0%)
1990	Gasolina C	13,3 (-53%)	1,4 (-13%)	0,040 (-20%)	2,7 (-88%)
	Álcool	10,8 (-36%)	1,2 (0%)	0,110 (-39%)	1,8 (-82%)
1991	Gasolina C	11,5 (-59%)	1,3 (-19%)	0,040 (-20%)	2,7 (-88%)
	Álcool	8,4 (-50%)	1,0 (-17%)	0,110 (-39%)	1,8 (-82%)
1992	Gasolina C	6,2 (-78%)	0,6 (-63%)	0,013 (-74%)	2,0 (-91%)
	Álcool	3,6 (-79%)	0,5 (-58%)	0,035 (-81%)	0,9 (-91%)

Tabela 14 - Fatores médios de emissão de veículos leves novos (cont.)

Ano Modelo	Combustível	CO	NO _x	RCHO	Emissão Evaporativa de Combustível
		(g/km)			(g/teste)
1993	Gasolina C	6,3 (-77%)	0,8 (-50%)	0,022 (-56%)	1,7 (-93%)
	Álcool	4,2 (-75%)	0,6 (-50%)	0,040(-78%)	1,1 (-89%)
1994	Gasolina C	6,0 (-79%)	0,7 (-56%)	0,036 (-28%)	1,6 (-93%)
	Álcool	4,6 (-73%)	0,7 (-42%)	0,042 (-77%)	0,9(-91%)
1995	Gasolina C	4,7 (-83%)	0,6 (-62%)	0,025 (-50%)	1,6 (-93%)
	Álcool	4,6 (-73%)	0,7 (-42%)	0,042 (-77%)	0,9 (-91%)
1996	Gasolina C	3,8 (-86%)	0,5 (-69%)	0,019 (-62%)	1,2 (-95%)
	Álcool	3,9 (-77%)	0,7 (-42%)	0,040 (-78%)	0,8 (-92%)
1997	Gasolina C	1,2 (-96%)	0,3 (-81%)	0,007 (-86%)	1,0 (-96%)
	Álcool	0,9 (-95%)	0,3 (-75%)	0,012 (-93%)	1,1(-82%)
1998	Gasolina C	0,79 (-97%)	0,23 (-86%)	0,004 (-92%)	0,81 (-96%)
	Álcool	0,67 (-96%)	0,24 (-80%)	0,014 (-92%)	1,33 (-87%)
1999	Gasolina C	0,74 (-97%)	0,23 (-86%)	0,004 (-92%)	0,79 (-96%)
	Álcool	0,60 (-96%)	0,22 (-80%)	0,013 (-92%)	1,64 (-84%)
2000	Gasolina C	0,73 (-97%)	0,21 (-87%)	0,004 (-92%)	0,73 (-97%)
	Álcool	0,63 (-96%)	0,21 (-83%)	0,014 (-92%)	1,35 (-87%)
2001	Gasolina C	0,48 (-98%)	0,14 (-91%)	0,004 (-92%)	0,68 (-97%)
	Álcool	0,66 (-96%)	0,08 (-93%)	0,017 (-91%)	1,31 (-87%)
2002	Gasolina C	0,43 (-98%)	0,12 (-93%)	0,004 (-92%)	0,61 (-97%)
	Álcool	0,74 (-96%)	0,08 (-93%)	0,017 (-91%)	nd
2003	Gasolina C	0,40 (-98%)	0,12 (-93%)	0,004 (-92%)	0,75 (-97%)
	Álcool	0,77 (-95%)	1,09 (-93%)	0,019 (-89%)	nd
	Flex-Gasolina C	0,50 (-98%)	0,04 (-98%)	0,004 (-92%)	nd
	Flex-Álcool	0,51 (-88%)	0,14 (-93%)	0,020 (-89%)	nd
2004	Gasolina C	0,35 (-99%)	0,09 (-94%)	0,004 (-92%)	0,69 (-97%)
	Álcool	0,82 (-95%)	0,08 (-93%)	0,016 (-91%)	nd
	Flex-Gasolina C	0,39 (-99%)	0,05 (-97%)	0,003 (-94%)	nd
	Flex-Álcool	0,46 (-97%)	0,14 (-91%)	0,014 (-92%)	nd
2005	Gasolina C	0,34 (-99%)	0,09 (-94%)	0,004 (-92%)	0,90 (-96%)
	Álcool	0,82 (-95%)	0,08 (-93%)	0,016 (-91%)	nd
	Flex-Gasolina C	0,45 (-98%)	0,05 (-97%)	0,003 (-94%)	nd
	Flex-Álcool	0,39 (-98%)	0,10 (-92%)	0,014 (-92%)	nd

Fonte: CETESB

As tabelas 15 a 25 apresentam os fatores de emissão médios para o período de 1990 a 2005, por tipo de combustível e por categoria de veículos.

Tabela 15 - Fatores médios de emissão de automóveis a gasolina

Fatores de Médios de Emissão (kg/TJ) - Automóveis a Gasolina					
Ano	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOCs
1990	18.474	9,1	498	1,98	540
1991	17.542	9,1	500	1,98	539
1992	16.596	8,9	494	1,98	529
1993	15.444	8,5	479	1,98	507
1994	13.937	8,0	460	1,98	478
1995	12.167	7,5	432	1,98	443
1996	10.478	6,8	401	1,98	406
1997	8.940	6,1	366	1,98	363
1998	7.675	5,5	333	1,98	325
1999	6.736	5,0	308	1,98	296
2000	5.914	4,5	286	1,98	271
2001	5.134	4,1	263	1,98	245
2002	4.451	3,7	241	1,98	223
2003	3.885	3,4	223	1,98	205
2004	3.410	3,2	208	1,98	189
2005	3.028	3,0	196	1,98	176

Tabela 16 - Fatores médios de emissão de automóveis a álcool

Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) - Automóveis a Álcool					
Ano	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOCs
1990	5.589	7,4	443	2,00	554
1991	5.527	7,4	442	2,00	551
1992	5.397	7,3	435	2,00	542
1993	5.208	7,1	424	2,00	527
1994	5.056	7,0	416	2,00	516
1995	4.988	6,9	413	2,00	511
1996	4.962	6,9	413	2,00	510
1997	4.945	6,9	412	2,00	509
1998	4.929	6,9	412	2,00	508
1999	4.904	6,9	412	2,00	506
2000	4.872	6,9	411	2,00	504
2001	4.833	6,8	410	2,00	502
2002	4.766	6,8	406	2,00	496
2003	4.632	6,6	398	1,99	484
2004	4.160	6,6	361	1,90	438
2005	3.184	4,7	284	1,70	341

Tabela 17 - Fatores médios de emissão de automóveis a óleo diesel

Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) - Automóveis a Diesel					
Ano	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOG
1990	208	8,2	1.198	0,60	76
1991	208	8,2	1.198	0,60	76
1992	208	8,2	1.198	0,60	76
1993	208	8,2	1.198	0,60	76
1994	208	8,2	1.198	0,60	76
1995	208	8,2	1.198	0,60	76
1996	208	8,2	1.198	0,60	76
1997	208	8,2	1.198	0,60	76
1998	208	8,2	1.198	0,60	76
1999	208	8,2	1.198	0,60	76
2000	208	8,2	1.198	0,60	76
2001	208	8,2	1.198	0,60	76
2002	208	8,2	1.198	0,60	76
2003	208	8,2	1.198	0,60	76
2004	208	8,2	1.198	0,60	76
2005	208	8,2	1.198	0,60	76

Tabela 18 - Fatores médios de emissão de comerciais leves a gasolina

Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) - Comercial Leve a Gasolina					
Ano	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOG
1990	18.219	9,1	501	1,98	540
1991	16.865	9,1	505	1,98	538
1992	15.564	8,8	496	1,98	524
1993	14.159	8,4	478	1,98	498
1994	12.552	7,8	457	1,98	466
1995	10.681	7,2	425	1,98	428
1996	8.801	6,4	387	1,98	383
1997	7.160	5,6	344	1,98	332
1998	5.935	4,9	308	1,98	291
1999	5.118	4,4	283	1,98	263
2000	4.460	4,0	263	1,98	240
2001	3.879	3,7	243	1,98	219
2002	3.416	3,4	226	1,98	203
2003	3.030	3,2	212	1,98	188
2004	2.684	2,9	198	1,98	175
2005	2.393	2,7	186	1,98	163

Tabela 19 - Fatores médios de emissão de comerciais leves a óleo diesel

Ano	Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) - Comercial Leve Diesel				
	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOG
1990	208	8,2	1.198	0,60	76
1991	208	8,2	1.198	0,60	76
1992	208	8,2	1.198	0,60	76
1993	208	8,2	1.198	0,60	76
1994	208	8,2	1.198	0,60	76
1995	207	8,2	1.171	0,60	76
1996	204	8,0	1.130	0,60	76
1997	202	7,6	1.088	0,60	76
1998	199	7,2	1.043	0,60	76
1999	193	6,8	1.006	0,60	76
2000	183	6,5	970	0,60	76
2001	173	6,2	936	0,60	76
2002	165	6,0	909	0,60	76
2003	159	5,8	888	0,60	76
2004	154	5,7	869	0,60	76
2005	148	5,5	841	0,60	76

Tabela 20 - Fatores médios de emissão de comerciais leves a álcool

Ano	Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) - Comercial Leve Álcool				
	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOG
1990	5.440	7,4	464	2,00	555
1991	5.353	7,4	461	2,00	550
1992	5.159	7,2	449	2,00	536
1993	4.897	7,0	432	2,00	515
1994	4.694	6,8	420	2,00	500
1995	4.588	6,7	415	2,00	492
1996	4.540	6,7	413	2,00	488
1997	4.510	6,7	412	2,00	486
1998	4.480	6,6	410	2,00	484
1999	4.443	6,6	409	2,00	482
2000	4.401	6,6	407	2,00	479
2001	4.344	6,5	404	2,00	475
2002	4.239	6,4	397	2,00	465
2003	4.079	6,2	385	2,00	450
2004	3.685	5,7	353	2,00	411
2005	3.034	4,8	300	2,00	347

Tabela 21 - Fatores médios de emissão de caminhões a gasolina

Ano	Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) - Caminhão Gasolina				
	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
1990	21.147	9,1	471	1,98	540
1991	21.138	9,1	471	1,98	540
1992	21.129	9,1	471	1,98	540
1993	21.122	9,1	471	1,98	540
1994	21.115	9,1	471	1,98	540
1995	21.111	9,1	471	1,98	540
1996	21.107	9,1	471	1,98	540
1997	21.103	9,1	471	1,98	540
1998	21.099	9,1	471	1,98	540
1999	21.095	9,1	471	1,98	540
2000	21.081	9,1	471	1,98	539
2001	21.069	9,1	471	1,98	539
2002	21.063	9,1	471	1,98	539
2003	21.057	9,1	471	1,98	539
2004	21.051	9,1	471	1,98	539
2005	21.044	9,1	471	1,98	539

Tabela 22 - Fatores médios de emissão de caminhões a diesel

Ano	Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) – Caminhão Diesel				
	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
1990	208	8,2	1.198	0,60	76
1991	208	8,2	1.198	0,60	76
1992	208	8,2	1.198	0,60	76
1993	208	8,2	1.198	0,60	76
1994	208	8,2	1.198	0,60	76
1995	207	8,2	1.184	0,60	76
1996	206	8,1	1.162	0,60	76
1997	205	7,9	1.142	0,60	76
1998	204	7,7	1.121	0,60	76
1999	201	7,6	1.101	0,60	76
2000	195	7,4	1.077	0,60	76
2001	188	7,1	1.051	0,60	76
2002	183	6,9	1.027	0,60	76
2003	177	6,8	1.006	0,60	76
2004	172	6,6	983	0,60	76
2005	166	6,4	955	0,60	76

Tabela 23 - Fatores médios de emissão de caminhões a álcool

Ano	Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) - Caminhão Álcool				
	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
1990	5.959	7,4	413	2,00	551
1991	5.957	7,4	413	2,00	551
1992	5.954	7,4	413	2,00	551
1993	5.951	7,4	413	2,00	551
1994	5.950	7,4	413	2,00	550
1995	5.949	7,4	413	2,00	550
1996	5.948	7,4	414	2,00	550
1997	5.947	7,4	414	2,00	550
1998	5.946	7,4	414	2,00	550
1999	5.944	7,4	415	2,00	550
2000	5.943	7,4	415	2,00	550
2001	5.942	7,4	415	2,00	550
2002	5.941	7,4	416	2,00	550
2003	5.939	7,4	416	2,00	550
2004	5.938	7,4	416	2,00	550
2005	5.937	7,4	417	2,00	550

Tabela 24 - Fatores médios de emissão de ônibus a gasolina

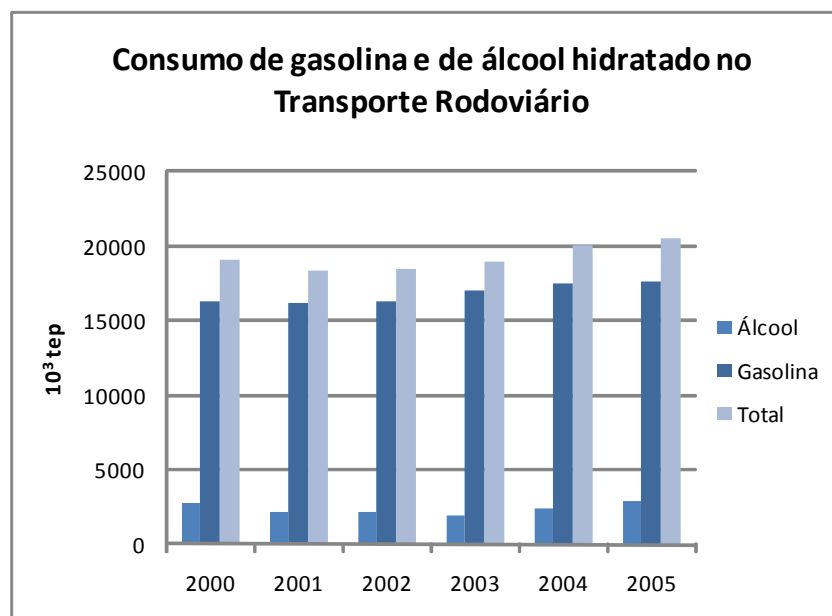
Ano	Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) - Ônibus Gasolina				
	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
1990	21.179	9,1	471	1,98	540
1991	21.179	9,1	471	1,98	540
1992	21.178	9,1	471	1,98	540
1993	21.177	9,1	471	1,98	540
1994	21.176	9,1	471	1,98	540
1995	21.175	9,1	471	1,98	540
1996	21.174	9,1	471	1,98	540
1997	21.173	9,1	471	1,98	540
1998	21.171	9,1	471	1,98	540
1999	21.170	9,1	471	1,98	540
2000	21.169	9,1	471	1,98	540
2001	21.168	9,1	471	1,98	540
2002	21.167	9,1	471	1,98	540
2003	21.166	9,1	471	1,98	540
2004	21.165	9,1	471	1,98	540
2005	21.164	9,1	471	1,98	540

Tabela 25 - Fatores médios de emissão de ônibus a diesel

Ano	Fatores Médios de Emissão (kg/TJ) - Ônibus Diesel				
	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NMVOC
1990	208	8,2	1.198	0,60	76
1991	208	8,2	1.198	0,60	76
1992	208	8,2	1.198	0,60	76
1993	208	8,2	1.198	0,60	76
1994	208	8,2	1.198	0,60	76
1995	207	8,2	1.177	0,60	76
1996	205	8,0	1.142	0,60	76
1997	203	7,8	1.112	0,60	76
1998	202	7,5	1.084	0,60	76
1999	198	7,3	1.060	0,60	76
2000	192	7,1	1.035	0,60	76
2001	185	6,8	1.007	0,60	76
2002	178	6,6	981	0,60	76
2003	172	6,4	957	0,60	76
2004	166	6,2	934	0,60	76
2005	161	6,1	908	0,60	76

3.3.1 Fatores de Emissão para Veículos *Flex Fuel*

Os veículos desta tecnologia foram lançados no mercado brasileiro em 2003. A rápida ascensão das vendas desses veículos, conjugada com o menor preço do álcool em relação à gasolina C, implicou na retomada do consumo de álcool hidratado, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Consumo de combustíveis após a entrada dos veículos *flex fuel*

O impacto da entrada dessa categoria sobre as emissões da frota a álcool, mais afetada pela inovação, está mostrada na Tabela 26, elaborada a partir de dados do Relatório PROCONVE/CETESB de 2010.

Tabela 26- Fatores de emissão de veículos *flex fuel* comparados aos de veículos da tecnologia anterior

ANO	COMBUSTÍVEL	CO	HC	NOx	RCHO
		(kg/TJ)			
2002	Gasolina	0,43	0,11	0,12	0,004
	Álcool	0,74	0,16	0,08	0,017
2003	Gasolina	0,40	0,11	0,12	0,004
	Gasolina F*	0,50	0,05	0,04	0,004
	Álcool	0,77	0,16	0,19	0,019
	Álcool F*	0,51	0,15	0,14	0,004
2004	Gasolina	0,35	0,11	0,09	0,004
	Gasolina F*	0,39	0,08	0,05	0,003
	Álcool	0,82	0,17	0,08	0,016
	Álcool F*	0,46	0,14	0,14	0,014
2005	Gasolina	0,34	0,10	0,09	0,004
	Gasolina F*	0,45	0,11	0,05	0,003
	Álcool	0,82	0,17	0,08	0,016
	Álcool F*	0,39	0,14	0,10	0,014

* Veículos *flex-fuel*

Fonte: Relatório PROCONVE-CETESB - 2010

Os fatores de emissão de CO dos veículos *flex* novos, comparados aos congêneres da tecnologia anterior, cresceram ligeiramente para a gasolina e decresceram consideravelmente para o álcool hidratado. Já os fatores de aldeídos (incluídos nos cálculos de emissão de NMVOC) mostraram-se praticamente estáveis, enquanto os de NO_x caíram no que se refere a veículos a gasolina e apresentaram oscilações, no caso do álcool.

Entretanto, as diferenças observadas são inferiores aos fatores médios calculados para o período de interesse considerando o efeito da rápida redução dos fatores para veículos novos. O fator de emissão de CO, por exemplo, caiu de 15,2 para 0,73 g/km para veículos novos a gasolina e de 10,8 para 0,63 para veículos novos a álcool hidratado entre 1990 e 2000; os respectivos fatores médios são 38,3 e 12,3 para a gasolina e 16,3 e 14,2 para o álcool hidratado.

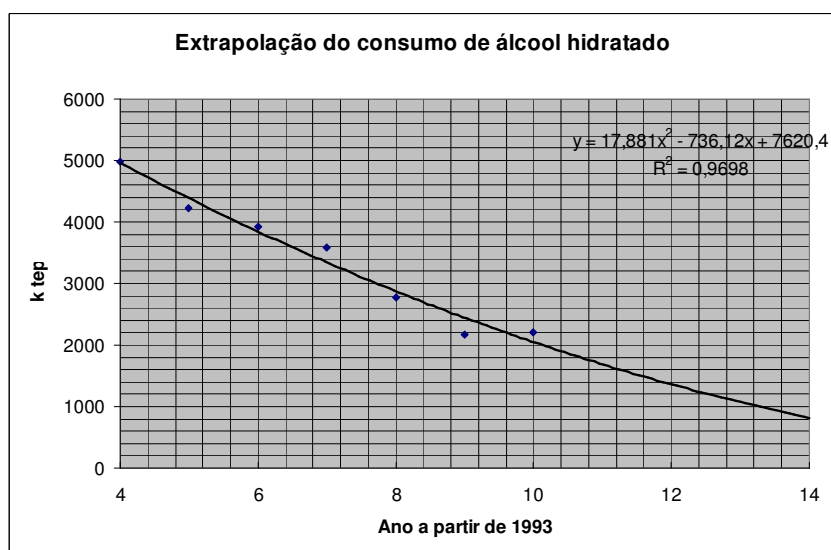
Supõe-se que essas variações decorrem do fato de que nos veículos *flex* a regulagem da razão ar-combustível se situar entre os valores que seriam apropriados para o álcool e para a gasolina separadamente. O efeito sobre os fatores de emissão só se mostrou relevante para o ano de 2005, quando a venda dos veículos *flex* atingiu aproximadamente 85% das vendas de automóveis e comerciais leves.

Os veículos *flex fuel* foram incorporados à frota por combustível (gasolina e álcool hidratado) para o cálculo dos fatores médios de emissão.

Para tratar separadamente os veículos *flex fuel* é necessário distribuir o consumo de combustível pelas duas categorias. Entretanto, a única informação de que se dispõe é o consumo fornecido pelo Balanço Energético Nacional (BEN). Estudos de comportamento são dificultados pelo desconhecimento dos teores médios, já que os preços relativos é que orientam a opção do consumidor. Desde antes da entrada da tecnologia *flex* o preço do álcool vem se mantendo abaixo da relação de indiferença (preço do litro de álcool igual a 75% do preço da gasolina). A ilustração 9 mostra a evolução do consumo de álcool hidratado, na qual se observa a retomada do consumo de álcool em coincidência com a entrada do veículo *flex*, enquanto que a taxa de crescimento do consumo de gasolina permanece praticamente constante.

Para simplificar o tratamento do tema, resolveu-se limitar o estudo ao consumo de álcool hidratado, que predomina largamente na frota *flex*, comparando os resultados de cálculo de emissões sem e com discriminação dessa frota. Para isso, extrapolou-se o consumo observado de álcool antes da inovação, como se observa no gráfico abaixo (Figura 9), separando assim o consumo da frota convencional daquele da frota *flex*.

Figura 9 - Extrapolação do consumo de álcool hidratado pela frota convencional remanescente



Calculou-se o consumo residual da frota convencional até 2005, sendo depois subtraído dos dados do BEN para que se obtivesse o consumo da frota *flex*. A Tabela 27 apresenta o cálculo das emissões do ano de 2005, o mais afetado pelo consumo da frota nova.

Para o ano de 2005 o consumo da frota convencional calculado é de 1.072 mil tep ou 44,9 mil TJ. O consumo da frota *flex fuel* é dado pela diferença entre o consumo do BEN, 121 mil TJ, e o valor calculado para a frota convencional, 44,9 mil TJ.

Tabela 27 - Emissões para diferentes tratamentos da frota a álcool hidratado

Frota integrada						
Consumo 121 kTJ	Carbono total 2.275 t CO ₂ Top down 8.342 t		2.275 kt CO ₂ Top down	CO ₂ Top down		8345 kt
Fatores de emissão	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NM VOC	CO ₂
kg/TJ	3184	5	284	1,7	341	*
Emissão - mil t	385	0,605	34,4	0,206	41,3	
Consumo 44,9 kTJ	Carbono total 844 kt		CO ₂ Top down 3094 kt			
Fatores de emissão	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NM VOC	CO ₂
kg/TJ	4492	6,47	391	2	471	*
Emissão - mil t	202	0,29	17,6	0,09	21,1	2738
Consumo 76,1 kTJ	Carbono total 1.431 kt			CO ₂ Top down 5245 kt		
Fatores de emissão	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	NM VOC	CO ₂
kg/TJ	134	0,66	34	2	48	*
Emissão - mil t	10,2	0,05	2,59	0,152	3,65	5205

4. Resultados

4.1 Emissões detalhadas

As emissões por tipo de gás, por combustível e por categoria de veículos são apresentadas nas Tabelas 28 a 33.

Tabela 28- Emissões de CO₂

Emissões de CO ₂ (Gg/ano)				
Ano	Gasolina	Diesel	Gás Natural	Álcool
1990	21.361	49.067	5	16.729
1991	23.148	50.921	5	17.441
1992	23.046	51.827	-	17.066
1993	24.233	53.188	58	17.796
1994	26.526	55.585	106	18.982
1995	31.762	59.189	113	19.628
1996	37.187	61.907	83	20.434
1997	40.662	65.767	109	19.743
1998	42.433	68.931	305	19.380
1999	39.553	69.702	367	19.424
2000	38.092	71.868	723	16.630
2001	37.326	73.898	1.322	15.365
2002	35.693	77.015	2.265	17.386
2003	37.671	74.454	3.070	16.555
2004	38.952	79.632	3.653	18.414
2005	39.052	79.217	4.496	19.896

Tabela 29 - Emissões de CO

Emissões de CO (Gg/ano)				
Ano	Gasolina	Diesel	Gás Natural	Álcool
1990	6.429	139	0,01	1.214
1991	6.429	145	0,01	1.204
1992	6.659	147	-	1.075
1993	6.606	151	0,17	1.067
1994	6.765	158	0,32	1.044
1995	7.063	167	0,34	1.048
1996	7.220	174	025	1.025
1997	6.918	183	0,33	867
1998	6.270	191	0,91	803
1999	5.347	189	1,10	730
2000	4.552	189	2,17	560
2001	3.971	187	3,96	434
2002	3.508	188	6,78	436
2003	3.232	176	9,20	369
2004	2.959	183	10,94	443
2005	2.671	176	13,47	442

Tabela 30 - Emissões de CH₄

Emissões de CH ₄ (Gg/ano)				
Ano	Gasolina	Diesel	Gás Natural	Álcool
1990	3,08	5,49	0,0001	1,61
1991	3,39	5,69	0,0001	1,61
1992	3,44	5,80	-	1,46
1993	3,51	5,95	0,002	1,47
1994	3,73	6,22	0,003	1,45
1995	4,11	6,62	0,003	1,47
1996	4,44	6,83	0,003	1,44
1997	4,44	7,05	0,003	1,22
1998	4,18	7,16	0,001	1,13
1999	3,68	7,05	0,01	1,03
2000	3,25	7,05	0,02	0,79
2001	2,94	7,02	0,04	0,62
2002	2,71	7,09	0,07	0,62
2003	2,60	6,67	0,09	0,53
2004	2,48	6,93	0,11	0,64
2005	2,34	6,70	0,14	0,65

Tabela 29- Emissões de NO_x

Emissões de NO _x (Gg/ano)				
Ano	Gasolina	Diesel	Gás Natural	Álcool
1990	166,8	801,8	0,001	97,2
1991	185,4	832,1	0,01	97,1
1992	188,9	846,9	-	87,5
1993	194,7	869,1	0,1	87,7
1994	210,6	908,3	0,2	86,8
1995	234,8	953,4	0,2	87,7
1996	257,2	975,2	0,1	86,1
1997	262,4	1.013,7	0,2	73,0
1998	251,1	1.038,4	0,5	67,8
1999	224,6	1.027,4	0,6	61,9
2000	201,0	1.033,6	1,2	47,7
2001	184,3	1.034,7	2,1	37,1
2002	171,0	1.052,3	3,6	37,5
2003	165,6	994,8	4,9	32,0
2004	159,5	1.039,8	5,9	38,8
2005	151,4	1.004,7	7,2	39,8

Tabela 30- Emissões de N₂O

Emissões de N ₂ O (Gg/ano)				
Ano	Gasolina	Diesel	Gás Natural	Álcool
1990	0,67	0,40	0,0003	0,44
1991	0,74	0,56	0,0003	0,44
1992	0,76	0,42	-	0,40
1993	0,81	0,44	0,004	0,41
1994	0,90	0,46	0,01	0,42
1995	1,07	0,48	0,01	0,42
1996	1,25	0,51	0,01	0,42
1997	1,40	0,54	0,01	0,35
1998	1,46	0,56	0,02	0,33
1999	1,41	0,57	0,03	0,30
2000	1,35	0,59	0,05	0,23
2001	1,34	0,61	0,09	0,18
2002	1,35	0,63	0,16	0,19
2003	1,41	0,61	0,21	0,16
2004	1,45	0,65	0,25	0,21
2005	1,47	0,65	0,31	0,24

Tabela 31- Emissões de NMVOC

Ano	Emissões de NMVOC (Gg/ano)			
	Gasolina	Diesel	Gás Natural	Álcool
1990	182,8	51,0	0,00004	120,7
1991	201,6	52,9	0,001	120,4
1992	204,4	53,8	-	108,3
1993	208,2	55,2	0,01	108,5
1994	221,5	57,7	0,01	107,8
1995	244,2	61,7	0,01	108,0
1996	263,9	64,3	0,01	105,8
1997	264,3	68,3	0,01	89,6
1998	248,6	71,6	0,04	83,1
1999	219,2	72,4	0,05	75,7
2000	193,3	74,6	0,09	58,2
2001	175,2	76,7	0,16	45,3
2002	161,1	80,0	0,28	45,7
2003	154,7	77,3	0,38	38,8
2004	147,8	82,7	0,45	46,9
2005	139,1	82,3	0,55	47,6

4.2 Diferenças em relação ao Inventário Inicial

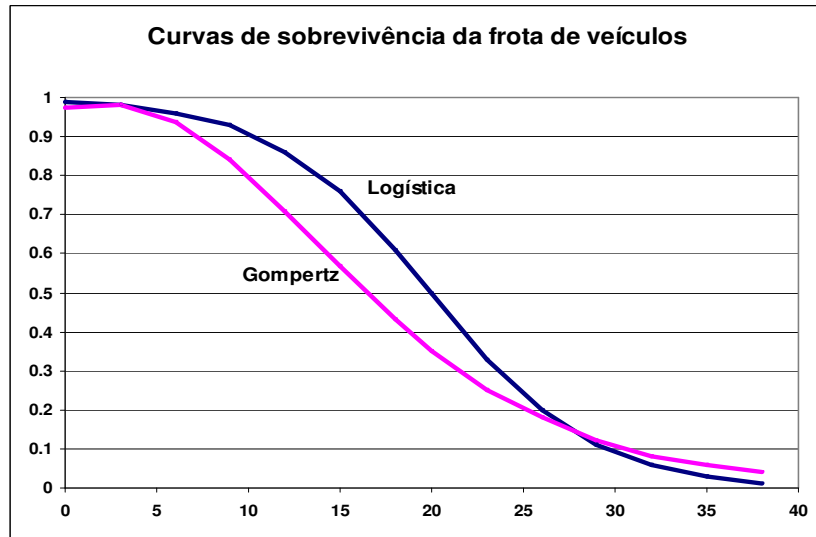
No Primeiro Inventário, a quilometragem média por categoria de veículos leves foi utilizada como fator de atividade, estimada com dados da PETROBRAS, devido à inexistência à época de séries temporais oficiais para essa variável. Esta via de cálculo é aceita de acordo com o *Guidelines 1996*, embora a recomendação seja para calcular e agregar por tipo de combustível o consumo de energia para confronto com os dados dos balanços energéticos nacionais.

Os fatores de emissão utilizados nos dois trabalhos são provenientes dos relatórios do PROCONVE/CETESB e são coincidentes. Todavia, no Primeiro Inventário foi adotada uma curva de sucateamento distinta para veículos leves (função de *Gompertz*) e fatores de deterioração das emissões em função da quilometragem, oriundos de trabalhos da EPA, que não foram adotados neste trabalho.

No presente trabalho optou-se pela função logística para a construção das curvas de sucateamento. Embora esta e a função de *Gompertz* sejam usadas como equivalentes, os parâmetros têm que ser adequados à natureza da função. No caso do Primeiro Inventário, os parâmetros situam o ponto de inflexão da curva em torno da idade de 13 anos e os deste trabalho o coloca em torno de 20 anos, que corresponde ao melhor ajuste aos dados do Cadastro do

Registro Nacional de Veículos de Veículos Automotores - RENAVAL. As duas representações são apresentadas na Figura 10, no qual se observa que a do Primeiro Inventário antecipa o sucateamento em relação a este trabalho, resultando em uma frota menor e mais nova. A quilometragem média por veículo, representada no Primeiro Inventário como função decrescente da idade, é maior e os fatores de emissão são menores.

Figura 10 - Curvas de sobrevivência da frota de veículos



Na comparação de emissões, verifica-se que as emissões de CO são aproximadamente 25% maiores para veículos leves a gasolina neste relatório e 2% inferiores para veículos a álcool no ano de 1990, em relação ao Primeiro Inventário.

5. Referências Bibliográficas

ANP, 2010. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Produção de Biodiesel - Metros Cúbicos*. Disponível em www.anp.gov.br.

Anuário ANFAVEA, 2009. Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: www.anfavea.com.br.

Balanço Energético Nacional, 2007. EPE/MME.

Barros e Soares, 1992. “Um Modelo econométrico para Demanda de Gasolina pelos Automóveis de Passeio”. Ricardo Paes de Barros e Silvério Soares Ferreira. IPEA - Maio de 1992 - 135 pag.

CORINAIR, 1996. *Emission Inventory Guidebook*, cap. B710-9.

Economia e Energia, 2000. “Frota e consumo de veículos novos no Brasil”. Disponível em: <http://ecen.com>, nº 21, julho/agosto.

Economia e Energia, 1999. “Frota de Veículos Diesel no Transporte Rodoviário”. Disponível em: <http://ecen.com>, nº 16.

IBGE, 1987. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Estatísticas Históricas do Brasil” - Volume 3.

IPCC Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 1996: Reference Manual.

MCT, 2006 - Ministério da Ciência e Tecnologia. *Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência - Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis*. Brasília.

PROCONVE-CETESB/2006. “Emissão veicular”.