THAÍS SOUZA GONÇALVES
YOLANDA VIEIRA DE ABREU

INDICADORES DE MONETIZAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA VEÍCULOS DO CICLO OTTO

NÚCLEO EM INTERUNIDADES EM DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E ENERGÉTICO.UFT-TO-BR
MESTRADO EM AGROENERGIA DA UFT - TO - BRASIL

Digitized by Google

Conselho Editorial Life Editora

Prof. Dr. Amilcar Araujo Pereira
UFRJ/ Faculdade de Educação

Prof. Dr. Edgar César Nolasco
UFMS/ Campo Grande-MS

Prof. Dr. Gilberto José de Arruda
UEMS/ Unidade de Dourados

Prof. Dr. Matheus Wemerson G. Pereira
UFMS/Campo Grande-MS

Prof. Dr. Giovani José da Silva
UFMS/Campus de Nova Andradina

Profª. Dra. Helena H. Nagamine Brandão
Universidade de São Paulo - USP-SP

Profª. Dra. Joana Aparecida Fernandes Silva
UFG/Goiás

Prof. Dr. João Wanderley Geraldi
Universidade do Porto, Portugal/ INEDD/Universidade Siegen/Alemanha e Unicamp

Profª. Dra. Léia Teixeira Lacerda
UEMS/ Unidade de Campo Grande

Profª. Dra. Maria Cecília Christiano Cortez de Souza
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

Profª. Dra. Maria Leda Pinto
UEMS/ Unidade de Campo Grande

Prof. Dr. Marlon Leal Rodrigues
UEMS/ Unidade de Campo Grande

Os papéis utilizados em nossos livros são biodegradáveis e renováveis. Provém de florestas plantadas que dão emprego a milhares de brasileiros e combatem o efeito estufa, pois absorvem gás carbônico durante o seu crescimento! A tinta utilizada na impressão das páginas dos nossos livros é à base de soja, cujo componente é renovável e atóxico que não degrada o meio ambiente.

Digitized by Google

1ª Edição
Campo Grande - MS
Brasil - 2020

THAÍS SOUZA GONÇALVES
YOLANDA VIEIRA DE ABREU

INDICADORES DE MONETIZAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA VEÍCULOS DO CICLO OTTO

NÚCLEO EM INTERUNIDADES EM DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E ENERGÉTICO.UFT-TO-BR
MESTRADO EM AGROENERGIA DA UFT - TO - BRASIL

Digitized by Google

Copyright © by **Thaís Souza Gonçalves**
Yolanda Vieira de Abreu

Direitos Autorais reservados de acordo com a Lei 9.610/98

Coordenação Editorial
Valter Jeronymo

Revisão
Os próprios autores

Assistente de Coordenação
Raquel de Souza

Formatação
Life Digital

Projeto Gráfico
Life Editora

Associado

Life Editora
Rua Américo Vespúcio, 255 - Santo Antonio
CEP: 79.100-470 - Campo Grande - MS
Fones: (11) 3508 1941 - Cel.: (67) 99297-4890
contato@lifeeditora.com.br • **www.lifeeditora.com.br**

lifeeditora
lifeeditora
lifeeditora
lifeeditora
lifeeditora
lifeeditora

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Gonçalves, Thaís Souza
Abreu, Yolanda Vieira de

Indicadores de Monetização de Emissões Atmosféricas para Veículos do Ciclo Otto / Thaís Souza Gonçalves e Yolanda Vieira de Abreu– Campo Grande, MS: Life Editora, 2020.

92p. : il. : 23 cm

ISBN 978-65-5887-020-3

1. Frota de Automóveis 2. Monetização 3. Ciclo Otto I. Título

CDD - 360

Proibida a reprodução total ou parcial, sejam quais forem os meios ou sistemas, sem prévia autorização das autoras.

Digitized by Google

Dedicamos este livro ao Arthur, Beatriz,
Gabriel e Isac, que representam
as gerações futuras.

Digitized by Google

Agradecimentos

À Deus, pela dádiva da vida;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro;

A todos, que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Digitized by Google

Lista de Símbolos e Abreviações

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANTP - Associação Nacional dos Transportes Públicos
BEN - Balanço Energético Nacional
BIN - Base de Índice Nacional
CETESB - Companhia Ambiental do estado de São Paulo
CH_4 - Metano
CO - Monóxido de Carbono
CO_2 - Dióxido de Carbono
CTB - Código de Trânsito Brasileiro
CONTRAM - Conselho Nacional de Trânsito
DENATRAM - Departamento Nacional de Trânsito
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
FENABRAVE - Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores
g/km - Grama por quilômetro
GEIA - Grupo Executivo da Indústria Automobilística
GNV - Gás Natural Veicular
HC - Hidrocarbonetos
IME - Indicador Monetário de Emissões
IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
Kcal/ton. - Quilocaloria por tonelada
Km - Quilômetro
l - Litro
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MBRE - Mercado Brasileiro de Redução de Emissões
MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MIC - Ministério de Indústria e Comércio
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MME - Ministério de Minas e Energia
MP - Material Particulado
NMVOC - Compostos Orgânicos Voláteis Não-Metano
NO_x - Óxido de Nitrogênio

Digitized by Google

OICA - Organização Internacional dos Construtores de Automóveis
OMS - Organização Mundial de Saúde
ONU - Organização das Nações Unidas
PECO - Programa de Economia de Combustíveis
PIB - Produto Interno Bruto
PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima
PROCONVE - Programa de Controle de poluição do ar por Veículos Automotores
R$/t - Reais por tonelada
RCHO - Aldeídos
RENAVAN - Registro Nacional de Veículos Automotores
RVEP - Relatório de Valores de emissão da Produção
SINDIPEÇAS - Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores
SO_2 - Dióxido de Enxofre
tep - tonelada equivalente de petróleo
US$/kg - Dólar americano por quilo
Fr - Frota de veículos
Iu - Intensidade de Uso
Fe - Fatores de Emissão
Vm - Valores monetários de referência
$C_{i.estimado}$ - Consumo anual de combustível do veículo do tipo i (l/ano)
$lu_{i.referência}$ - Intensidade de uso de referência do veículo tipo i, expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano)
Ql_i - Quilometragem por litro de combustível do veículo do tipo i (km/l)

Digitized by Google

Nota das Autoras

Esse trabalho apresentou uma metodologia de cálculo para monetização de gases atmosféricos emitidos por veículos do ciclo Otto no Brasil de 2000 a 2009, baseada no quantitativo da frota de veículos, de sua intensidade de uso, dos fatores de emissão e dos valores monetários de referência para o monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e material particulado. Como resultado, têm-se os valores monetários das emissões dos gases selecionados dentro do período. Embora a frota de veículos tenha aumentado, observou-se a redução das emissões totais dos gases poluentes. Tal fenômeno pode ser atribuído ao desenvolvimento tecnológico dos veículos automotores *flex-fuel*, que substituíram os veículos dedicados. Os valores monetários calculados por meio dos Indicadores de Monetização de Emissões (IME) demonstraram que o monóxido de carbono foi o principal responsável pelas emissões atmosféricas dos automóveis do ciclo Otto no Brasil, representando 45,7% das emissões e custo monetário de R$ 4.736.386.753,28. O hidrocarboneto foi o segundo gás mais emitido pela frota supracitada, sendo responsável por 27,3% das emissões e custo monetário de R$ 2.835.304.578,20. Logo em seguida, as emissões de óxido de nitrogênio, responsável por gerar custo de R$ 2.785.548.815,02 no período. Por último, aparecem as emissões de material particulado, que gerou custo monetário de R$ 6.037.722,90. Por fim, pode-se verificar que o custo ambiental do período foi de R$ 10.363.277.869,40. Este valor representou o montante do custo econômico e social da emissão dos gases atmosféricos entre os anos 2000 a 2009. A média de 1 bilhão/ano é o custo total dividido equitativamente para toda a sociedade no período estudado, entre beneficiários e não beneficiários de veículos automotores particulares.

Esse estudo foi defendido como dissertação no Mestrado em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins em 2015. As autoras fizeram pequenas modificações ao transformar esse trabalho em livro.

Digitized by Google

Sumário

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....07

NOTA DAS AUTORAS.....09

1 INTRODUÇÃO.....11

2 REFERENCIAL TEÓRICO.....14
2.1 O problema da valoração.....14
2.1.1 Frota de veículos.....17
2.1.1.1 Estimação da frota de veículos segundo MMA (2011).....20
2.1.1.2 Evolução histórica estimada da frota de veículos total e por combustível segundo MMA (2011).....21
2.1.2 Intensidade de uso.....23
2.1.2.1 Estimação de Intensidade de uso segundo MMA (2011).....24
2.1.3 Fatores de emissão de gases poluentes.....27
2.1.3.1 Estimação das emissões totais de gases poluentes segundo MMA (2011).....29
2.1.4 Monetização de gases poluentes.....32
2.2 O ar atmosférico e as medidas mitigadoras para a manutenção da qualidade.....34
2.3 O uso etanol e as emissões evitadas.....41
2.3.1 Fase Agrícola.....44
2.3.2 Fase Industrial.....45
2.4 Motores do ciclo Otto.....47
2.5 A indústria automotiva em números.....49

3 METODOLOGIA.....57
3.1 Métodos.....57
3.2 Metodologia.....58

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....61
4.1 Construção da representação matemática dos indicadores de monetização de emissões (IME).....61
4.1.1 Frota de veículos (Fr).....61
4.1.2 Intensidade de uso (Iu).....62
4.1.3 Fatores de emissão (Fe).....64
4.1.4 Valores monetários de referência (Vm).....65
4.1.5 Equação geral de Indicador Monetário de Emissões.....66
4.2. Análise dos resultados.....**70**

5 CONCLUSÃO.....78

6 BIBLIOGRAFIA.....80

Digitized by Google

INTRODUÇÃO

O adensamento das atividades econômicas e o aumento populacional percebido nas últimas décadas, tem exercido pressões determinantes sobre os recursos naturais e consequentemente, gerado poluição. O aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, tende a reduzir a eficiência com que a terra se resfria, alterando as temperaturas atmosféricas, oceânicas, os padrões de circulação de ar e o ciclo hidrológico (HILGEMBERG, 2004). Segundo o IPCC (2006), a estabilização da atual concentração de CO_2 na atmosfera exige que as emissões globais diminuam para os níveis respectivos dos anos 1990 nas próximas décadas. Entretanto, principalmente nas grandes regiões metropolitanas, o crescimento da frota de veículos e suas emissões têm se constituído numa das mais graves ameaças à manutenção das boas condições do ar atmosférico e à qualidade de vida da sociedade.

De acordo com a OMS (2009), as emissões causadas por veículos carregam inúmeras substâncias tóxicas, que em contato com o sistema respiratório podem produzir efeitos negativos sobre a saúde. Ainda segundo a OMS (2009), a exposição à poluição atmosférica urbana causa aproximadamente 800.00 mil mortes a cada ano no mundo.

O estado de São Paulo, que concentra grande parte das atividades econômicas importantes e estratégicas para todo o país, reúne cerca de 40% de toda a frota automotiva do Brasil. Apenas em sua região metropolitana, foi estimado para 2013 uma frota circulante de aproximadamente 14,8 milhões de veículos, sendo 9,8 milhões de automóveis, 2,6 milhões de motocicletas, 1,9 milhões de comerciais leves e 540 mil ônibus e caminhões. Toda essa frota foi responsável pela emissão, no respectivo período, de 423 mil toneladas de monóxido de carbono, 72 mil toneladas de hidrocarbonetos, 192 mil toneladas de dióxido de nitrogênio, 5,4 mil toneladas de material particulado, 15 mil toneladas de óxido de enxofre e 1,6 mil toneladas de aldeídos; todos poluentes tóxicos (CETESB, 2013).

Digitized by Google

Numa sociedade produtiva que extrai recurso natural para a manufatura e deposita rejeitos no meio ambiente, parte dos custos da atividade econômica tende a ser transferido para a sociedade e/ou para a natureza, não entrando na contabilidade de custos das empresas. Os custos não pagos pelos agentes que os produzem são denominados custos sociais e/ou ambientais, também conhecidos como externalidades. Estes, cobrem um amplo espectro de deseconomias urbanas e ambientais, constituindo uma lista extensa e heterogênea, incluindo uma variedade de riscos e incertezas de caráter cumulativo, cujo resultado poder-se-á observar apenas no futuro. (CAVALCANTI, 2004).

Esse estudo tem como meta quantificar monetariamente as emissões dos gases atmosféricos emitidos por automóveis do ciclo Otto, dedicados ou com tecnologia *flex-fuel*, que consumiram gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009. O respectivo corte temporal foi escolhido devido às alterações na metodologia de estimação da emissão de gases em 2010. Esta recente mudança impossibilita o acesso a uma série temporal maior, porém o uso da metodologia anterior não invalida a importância da demonstração do custo monetário entre os anos 2000 a 2009. Tal estudo justifica-se pela necessidade de demonstrar em uma medida comum, ou seja, em um mesmo numerário ou unidade de conta, para que fique transparente para a sociedade o quão onerosas são as emissões causadas por automóveis individuais. Este estudo pode, também, servir como ferramenta de comando e controle para auxiliar gestores na construção de políticas públicas, leis ou regulamentações adequadas ao setor.

Esse estudo tem como meta responder o problema: Qual o valor monetário das emissões atmosféricas dos automóveis do ciclo Otto, dedicados ou com tecnologia *flex-fuel*, que consumiram gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009?

O objetivo principal do estudo foi desenvolver indicadores de monetização de gases atmosféricos emitidos de 2000 a 2009 em todo território nacional por automóveis do ciclo Otto, dedicados ou com tecnologia *flex-fuel*, que consumiram gasolina C e etanol hidratado, considerando que estas emissões são variáveis significativas de subtração de ativos ambientais.

Os caminhos escolhidos para chegar à solução do problema e do objetivo principal foram:

Digitized by Google

- Identificar a frota de automóveis circulantes do ciclo Otto, dedicados e com tecnologia *flex-fuel*, que utilizam os combustíveis gasolina C e etanol hidratado, em todo o território nacional de 2000 a 2009;
- Estimar o total de emissões de monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO_x), hidrocarboneto (HC) e material particulado (MP) da frota em questão, emitidos a partir da combinação da frota de automóveis com sua respectiva intensidade de uso e os fatores de emissão;
- Calcular o valor monetário a partir do total das emissões dos gases poluentes selecionados;
- Apresentar e analisar os resultados encontrados.

Este estudo está organizado em seis capítulos. Sendo este o primeiro, onde se apresenta o problema, a justificativa, sua relevância, o objetivo geral e os específicos. No segundo pode-se ler o referencial teórico. No terceiro capítulo seguem descritos o método e a metodologia adotada. No quarto, apresentou-se os resultados e as discussões e no quinto, têm-se a conclusão do trabalho. No sexto capítulo listou-se as referências bibliográficas utilizadas para a realização deste trabalho.

Digitized by Google

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O problema da valoração

Associar valor ou valorar recursos naturais significa obter um valor econômico ou monetário, entendido como sendo a expressão monetária dos benefícios obtidos ou riscos à escassez de sua provisão. Ou, ainda de acordo com a teoria neoclássica de valor, atribuir valor resulta na transformação de ativos capazes de restringir seu uso apenas ao pagamento de um montante equivalente, que seja capaz de traduzir seu valor de modo que se possa alcançar a preservação e gerar receitas (ANDRADE, 2008).

A importância da valoração justifica-se no correto equacionamento da alocação de um orçamento financeiro limitado perante numerosas opções de gastos, relativas a diferentes opções de investimento ou de consumo. Aplicado à gestão ambiental, o valor do serviço proporcionado pela natureza, perdido pela degradação, tende a viabilizar a internalização dos custos de degradação. De acordo com Motta (2011):

> O valor econômico ou o custo de oportunidade dos recursos ambientais normalmente não é observado no mercado por intermédio de um sistema de preços. No entanto, como os demais bens e serviços presentes no mercado, seu valor econômico deriva de seus atributos, com a peculiaridade de que estes atributos possam estar ou não associados a um uso (MOTTA, 2011, pág. 180).

Quando os custos da degradação ambiental não são pagos por aqueles que os geram, estes custos se tornam externalidades para o sistema econômico. Historicamente, atividades econômicas são planejadas sem levar em conta externalidades ambientais e, consequentemente, os padrões de consumo são forjados sem nenhuma internalização dos custos ambientais. O resultado é um padrão de apropriação do capital natural onde os benefícios são providos para alguns usuários sem que estes compensem os custos incorridos por usuários excluídos ou futuros. Embora o uso do re-

Digitized by Google

curso ambiental não tenha seu preço reconhecido no mercado, seu valor econômico existe na medida em que seu uso altera o nível de produção e consumo (bem-estar) da sociedade atual e/ou futura (ANDRADE, 2008). Tais benefícios poderão ser advindos do uso e de não uso de tais bens e serviços, como mostra a taxonomia do valor ambiental na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Taxonomia geral do valor do recurso ambiental.

Valor econômico do recurso ambiental			
Valor de Uso			**Valor de não uso**
Valor de uso direto	**Valor de uso indireto**	**Valor de opção**	**Valor de existência**
Bens e serviços ambientais apropriados diretamente da exploração dos recursos e consumidos hoje	Bens e serviços ambientais que são gerados de funções ecossistêmicas e apropriados e consumidos indiretamente hoje	Bens e serviços ambientais de usos diretos e indiretos a serem apropriados e consumidos no futuro	Valor não associado ao uso atual ou futuro e que reflete questões morais, culturais, éticas ou altruísticas

Fonte: MOTTA, 1997.

Ainda, dentro da perspectiva da valoração neoclássica, a grandeza-chave para medir o bem-estar é a utilidade, a qual pode ser devidamente expressa por meio do ordenamento das preferências individuais. Utiliza-se de instrumentos tais como o conceito de excedentes do consumidor e do produtor, custo de oportunidade, a noção de disponibilidade a pagar e a receber (DAP e DAR, respectivamente) ou a monetização de ativos e passivos. (ANDRADE, 2008; PEREIRA JÚNIOR, 2014).

Dentro da abordagem da precificação/valoração das externalidades geradas nas transações que envolvem o meio ambiente, foram desenvolvidas técnicas de valoração econômica com o objetivo de estimar os custos sociais da utilização de recursos ambientais escassos, ou ainda, incorporarem-se os benefícios sociais advindos da utilização desses recursos. Dessa maneira, a transformação dos passivos ambientais em termos monetários, de modo comparável a outros valores de mercado, subsidia a tomada de decisão política e de gestão que envolve os recursos naturais (PEREIRA JÚNIOR, 2014).

Dentro do enfoque jurídico de valoração ambiental, segundo Gerent (2008), observa-se que o objetivo da avaliação econômica dos recursos ambientais, reside na necessidade de se calcular o montante de

Digitized by Google

ressarcimento devido à sociedade pelo dano causado ao meio ambiente ou para poder justificar o montante despendido na sua preservação. Tal conceito também pode ser utilizado como justificativa de intervenções governamentais, em que o Estado se torna responsável pela provisão/ expansão do transporte público ou por meios menos poluentes, mesmo que tenha que subsidiar tal opção de forma a não produzir iniquidades tarifárias. Em Gerent (2008):

> A teoria econômica ambiental influi no direito ambiental não apenas na busca da efetivação da preservação do meio ambiente natural conjugada com a garantia do desenvolvimento econômico, mas também, na busca da valoração dos bens e serviços ambientais apresentando critérios e métodos que podem ser aplicados nas ações condenatórias difusas por danos ao ambiente natural (GERENT, 2008, pág. 274).

Segundo Motta (1997), na medida em que se consegue valorar monetariamente o custo ambiental, permite-se a tomadores de decisão, compararem estes custos com outros bens e serviços existentes na economia e, portanto auxiliá-los na decisão de alocar recursos, que são escassos, ou em medidas mitigadoras visando à redução ou eliminação das externalidades atuais e/ou futuras.

Destaca-se ainda que a ótica governamental em relação aos investimentos é proporcionar o bem-estar à população através de bens e serviços. Em função da escassez de recursos públicos, convém ao tomador de decisão racionalizar os investimentos que podem ser auxiliados por uma análise social de custo-benefício. Os efeitos negativos são encarados como custos e os positivos são tratados como benefícios. Quando se pretende comparar custos e benefícios surge à necessidade de expressá-los em uma medida comum, ou seja, em um mesmo numerário ou unidade de conta. Por isso, estes custos e benefícios são expressos em termos monetários (MOTTA, 1997).

Para valorar monetariamente a poluição gerada por automóveis, objeto desse trabalho, faz-se necessário o levantamento dos seguintes itens:

2.1.1. Estimação da frota nacional de automóveis;

2.1.2. Intensidade de Uso da respectiva frota;

2.1.3. Fatores de emissão;

2.1.4. Levantamento dos valores monetários de referência.

Digitized by Google

A identificação e o estudo dos dois primeiros itens foram desenvolvidos por MMA (2011)[1] e sua metodologia foi utilizada por outras instituições como CETESB (2010) e EPE (2014), além de outros pesquisadores. O terceiro item consta nos levantamentos da qualidade do ar realizado por CETESB (2010)[2]. Já o quarto item foi desenvolvido em estudo realizado por IPEA e ANTP (1999)[3].

2.1.1 Frota de veículos

A evolução da frota nacional de veículos pode ser observada a partir de dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) através da Base Índice Nacional (BIN) do Sistema Nacional de Estatísticas, estruturada por meio do Registro Nacional de Veículos Automotores (RENAVAM), e permite o acesso a informações contidas nas bases dos Detran's. De acordo com o Denatran (2014), o Brasil terminou o ano de 2012 com uma frota total de 76.137.191 veículos automotores, como exposto na tabela 2.2, em que se observa crescimento de 156% apenas durante o período de 2000 a 2012.

Tabela 2.2: Frota total de automóveis no Brasil, por região – 2000 a 2012.

Região	Ano		Crescimento (%)
	2000	2012	
Norte	836.936	3.573.678	326,99
Nordeste	3.381.899	11.939.732	253,04
Sudeste	16.777.058	38.277.054	128,15
Sul	6.396.129	15.409.291	140,91
Centro-Oeste	2.330.928	6.937.436	197,62
Total	**29.722.950**	**76.137.191**	**156,15**

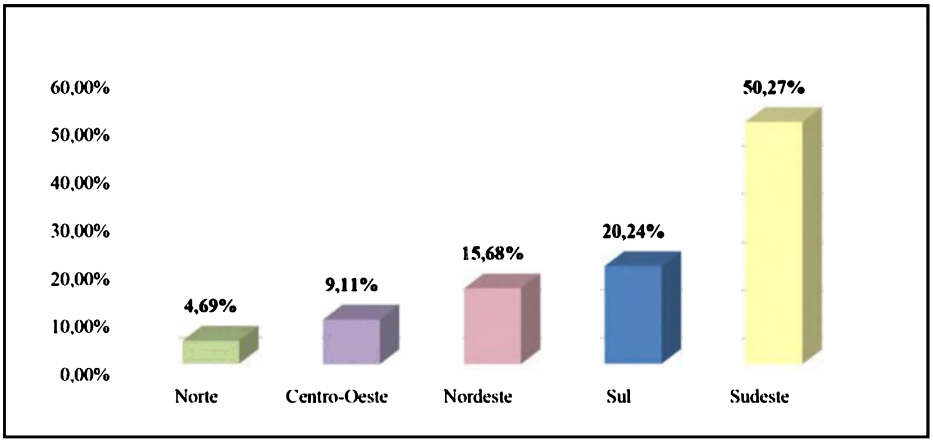
Fonte: Elaboração das autoras a partir de Denatran, 2014.

O Sudeste, apesar de ser a região de menor crescimento percentual observado, é onde se concentra a maior parte da frota no país, com 50,2% do total. Em segundo lugar está a região Sul, com 20,2% de toda a frota, seguidos do Nordeste (15,68%), Centro-Oeste (9,1%) e Norte (4,6%), como apresenta o gráfico 2.1.

1. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.
2. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2010.
3. Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público.

Digitized by Google

Gráfico 2.1: Distribuição percentual da frota de veículos no Brasil, por região, de 2000 a 2012.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de Denatran, 2014.

Entretanto, de acordo com MMA (2011), por incluir veículos que já deixaram de circular e que não tiveram seu registro de licenciamento cancelado, a frota informada pelo Denatran (2014) estaria possivelmente superestimada. Essa premissa baseia-se a partir da comparação dos dados dispostos pelo Denatram com as estimativas realizadas pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), pelo Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS) e pela Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE) baseada na curva de probabilidade de sucateamento adotada em MCT (2006). A curva de sucateamento é uma função que estima a saída de circulação do veículo ao longo do tempo por deterioração ou por sinistro. A função de sucateamento, demostrada na equação 01, estabelece o percentual de veículos sucateados em função da idade e limita a vida máxima do veículo em 40 anos, conforme MCT (2006).

$$S(t) = exp\,[-\,exp(a + b(t))] \qquad (01)$$

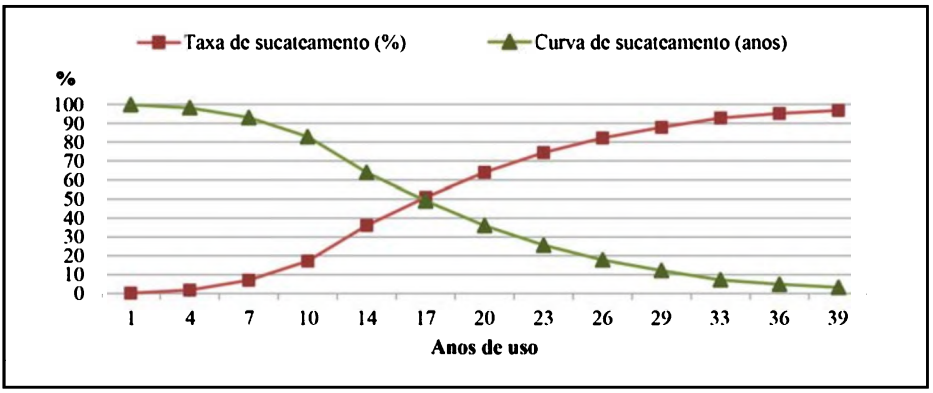
Onde:

$S(t)$	**Fração de veículos sucateados na idade t**
(t)	**Idade do veículo**

Digitized by Google

De acordo com a metodologia de MCT (2006), o número de veículos em circulação é estimado pela curva de sucateamento sobre o número de veículos novos licenciados a cada ano. O gráfico 2.2 mostra a curva de sucateamento empregada para estimar a frota de veículos em circulação no Brasil (MCT, 2006; CETESB, 2014; MMA, 2011).

Gráfico 2.2: Curva de sucateamento para automóveis.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de MCT, 2006.

A tabela 2.3 evidencia que a frota informada pela Denatran é sistematicamente superior quando aplicada as taxas de sucateamento e comparada às estimativas adotadas pela Fenabrave.

Tabela 2.3: Estimativa total da frota de veículos por região a partir de Fenabrave e Denatran – 2012.

Região	2012		Diferença
	Fenabrave	Denatram	
Norte	1.227.777	3.573.678	2.345.901
Nordeste	4.897.355	11.939.732	7.042.377
Sudeste	23.342.588	38.277.054	14.934.466
Sul	8.991.338	15.409.291	6.417.953
Centro-Oeste	3.434.168	6.937.436	3.503.268
Total	**41.893.226**	**76.137.191**	**34.243.965**

Fonte: Elaboração das autoras a partir de Fenabrave (2014) e Denatran (2014).

Dessa forma, a partir da análise dos dados expostos, optou-se utilizar como metodologia referencial do MMA (2011) a partir do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.

Digitized by Google

2.1.1.1 Estimação da frota de veículos segundo MMA (2011)

De modo a apresentar as emissões de poluentes por consumo de combustíveis, faz-se necessária a desagregação da frota por tipo de combustível utilizado e por tipo de aplicação – transporte de cargas ou passageiros – bem como por sua capacidade ou porte, de acordo com MMA (2011). A tabela 2.4 apresenta a desagregação da frota por categoria de veículo. Para este trabalho usar-se-á apenas a categoria dos automóveis de motor do ciclo Otto, dedicados e de tecnologia *flex-fuel*, movidos à gasolina C e etanol hidratado, excluindo-se os automóveis movidos a GNV. Segundo MMA (2011), para categorização da frota foram adotadas as seguintes simplificações:

Tabela 2.4: Desagregação da frota de veículos, por tipo[4].

Categorias	Motor/combustível	Definição
Automóveis	Otto/Gasolina C Otto/Etanol hidratado Otto/*Flex-Fuel* Otto/GNV	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, excluindo-se o condutor.
Veículos comerciais leves	Otto/Gasolina C Otto/Etanol hidratado Otto/*Flex-Fuel* Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga, com peso bruto total de até 3.500 kg.
Motocicletas	Otto/Gasolina C Otto/*Flex-Fuel*	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada.
Caminhões leves	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroceria, e peso bruto superior a 3.500 kg.
Caminhões médios		
Caminhões pesados		
Ônibus Urbano		Veículo automotor de transporte coletivo.
Ônibus rodoviários		

Fonte: MMA, 2011.

Segundo metodologia desenvolvida em MMA (2011), a frota de veículos foi estimada a partir da equação 02 e taxa de sucateamento apresentada no gráfico 2.2.

4. Para a categorização total da frota, não foram considerados os caminhões e ônibus do ciclo Otto, dado que sua participação na frota não é significativa. Não foram considerados os automóveis do ciclo diesel uma vez que no Brasil é proibido o abastecimento com diesel de veículos com capacidade de carga inferior a 1.000 kg. Os micro-ônibus (veículos para até 20 passageiros) foram contabilizados na categoria ônibus urbano. Os automóveis Otto/GNV correspondem apenas aos veículos convertidos para o uso de GNV (MMA, 2011).

Digitized by Google

$$Fr_{ano-calendário\ i,ano-modelo\ k} = V_{ano-modelo\ j} \times (1 - S_{ano-calendário\ i,ano-modelo\ k}) \quad (02)$$

Onde:

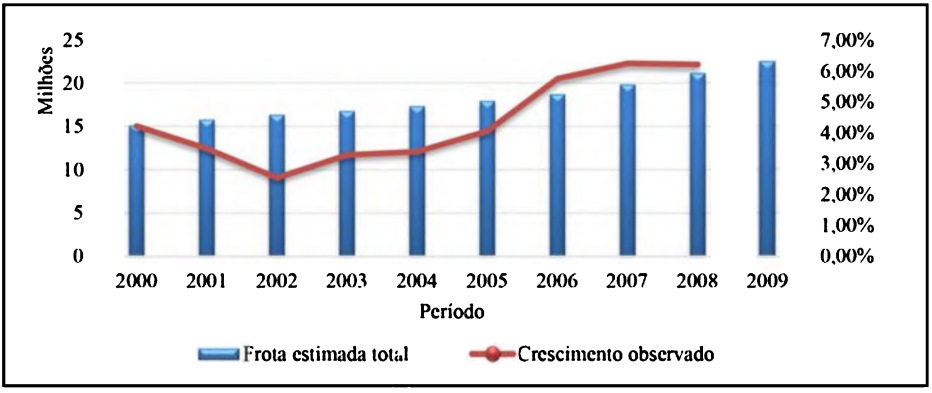
$Fr_{ano-calendário\ i,ano-modelo\ k}$	Frota circulante do ano-modelo *k* no ano-calendário *i*;
$V_{ano-modelo\ k}$	Número de veículos do ano-modelo *k* que entraram em circulação no ano-calendário *i* (veículos novos vendidos no ano-calendário *j*);
$S_{ano-calendário\ i,ano-modelo\ k}$	Fração de veículos do ano-modelo *k* já sucateados e que, portanto, não circulam no ano-calendário *i*.

A desagregação de veículos da tabela 2.4 distribui os veículos segundo motor e combustível. A metodologia utilizada na equação 02 é importante porque leva em consideração a taxa de sucateamento da frota, permitindo determinar a quantidade real de veículos em circulação.

2.1.1.2 Evolução histórica estimada da frota de veículos total e por combustível segundo MMA (2011)

As estimativas da frota brasileira de veículos demonstraram um crescimento no período de 2000 a 2009 em torno de 4%, e atingiu ao final do período, frota total de 22.536.512 automóveis. O gráfico 2.3 apresenta o comportamento da evolução estimada dessa frota.

Gráfico 2.3: Frota total brasileira estimada e taxa de crescimento observado de 2000 a 2009.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de MMA, 2011.

Digitized by Google

A frota de automóveis é composta por veículos movidos exclusivamente à gasolina C, a etanol hidratado e, a partir de 2003 por veículos bicombustíveis, com a tecnologia *flex-fuel*, que podem utilizar ambos os combustíveis, em qualquer proporção (MMA, 2011).

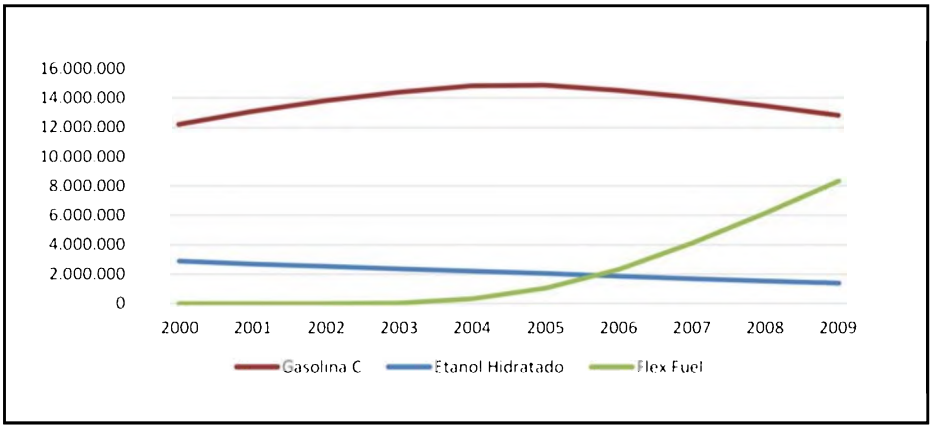
Tabela 2.5: Evolução da frota estimada de automóveis por combustível.

Período	Gasolina C	Etanol Hidratado	*Flex-Fuel*
2000	12.211.559	2.887.047	-
2001	13.074.519	2.687.104	-
2002	13.806.723	2.522.469	-
2003	14.366.308	2.348.921	39.002
2004	14.805.615	2.199.508	316.991
2005	14.845.015	2.040.147	1.042.657
2006	14.492.867	1.861.606	2.329.582
2007	14.025.561	1.692.239	4.104.220
2008	13.462.424	1.533.926	6.143.193
2009	12.824.412	1.386.679	8.325.421

Fonte: MMA, 2011.

Como apresenta a tabela 2.5, observa-se no ano 2000 que a frota total de automóveis dedicados à gasolina C representava aproximadamente 81% do total da frota de automóveis, enquanto que os veículos dedicados à etanol hidratado representavam aproximadamente 19% no mesmo período.

Gráfico 2.4: Frota total estimada por combustível.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de MMA, 2011.

Digitized by Google

Segundo o gráfico 2.4, a partir de 2005, os veículos com tecnologia *flex-fuel* passaram a corresponder uma fatia crescente de mercado, e em 2009, representaram 36% do mercado automotivo. Consequentemente, os veículos movidos a gasolina C passaram a ter uma fatia menor de mercado (56%), e de forma semelhante, os veículos dedicados à etanol hidratado tiveram a sua participação reduzida de 19% para 8%.

2.1.2 Intensidade de uso

A intensidade de uso é um parâmetro básico na determinação das emissões de gases poluentes. Entretanto, segundo MMA (2011), a inexistência de séries temporais oficiais referente à intensidade de uso da frota de veículos no país levou a formulação de dados estimados a partir do guia "ESCOLHA CERTO – Guia de consumo de seu carro" e do "Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo, (2009)" para a composição do "1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários" (MMA, 2011).

Durante a década de 1980 foi desenvolvido um programa nacional de eficiência nos veículos automotivos, o Programa de Economia de Combustíveis (PECO), formalizado mediante protocolo firmado em 1979 entre o Governo (MIC, MME) e as quatro principais montadoras à época – Fiat, Ford, General Motors e Volkswagen do Brasil – através da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e implementado pelo STI/MIC, de 1983 a 1986 (CONPET, 2005).

Como um dos resultados do programa, foi editada publicação com os indicadores de consumo dos automóveis brasileiros, "ESCOLHA CERTO – Guia de consumo de seu carro", com dados dos modelos disponíveis no mercado. Além da difusão de informações de consumo veicular de interesse para os consumidores, foram estabelecidas nessa publicação metas de consumo a serem progressivamente atingidas pelos fabricantes nacionais, considerando a média ponderada simples do consumo (CONPET, 2005).

Um pressuposto importante para este programa foi o estabelecimento da norma "ABNT NBR 7024 – Medição do Consumo de Combustível de Veículos Rodoviários Automotores Leves[5]" de 23 de março de 2010, que permitiu a padronização da metodologia de ensaios, base-

5. Esta norma prescreve o método para a medição do consumo de combustível de veículos rodoviários automotores leves, por meio de ciclos de condução desenvolvidos em dinamômetro de chassi, que simulam o uso do veículo no trânsito urbano, conforme ABNT NBR 6601, e em estrada (CONPET, 2005).

Digitized by Google

ando-se na simulação de ciclo de condução real do veículo na cidade e na estrada (CONPET, 2005).

Já o "Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 2009", de autoria da CETESB (2010), tem valores fornecidos pelos "Relatórios de Valores de Emissão da Produção" (RVEP), onde fabricantes e importadores de veículos devem apresentar semestralmente ao órgão competente o RVEP. Tal documento deve conter os valores típicos de emissão de poluentes das diferentes configurações de veículos baseado em sua intensidade de uso, além do critério usado para a obtenção e produção desses valores, conforme Resoluções do CONAMA nº 18, de 1986, e nº 229, de 2001. Nele, são apresentados valores médios de quilometragem por litro de combustível para automóveis e veículos comerciais leves fabricados entre 2002 e 2008 no ciclo de condução urbano, utilizando gasolina C ou etanol hidratado (CONAMA, 2012; CETESB, 2010).

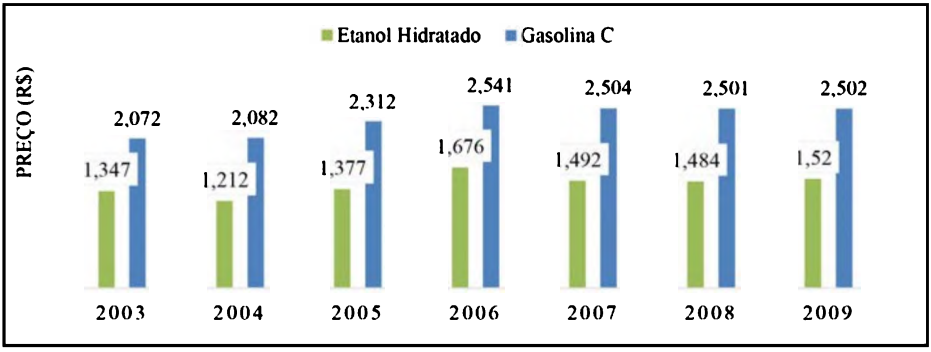
Sendo a determinação da intensidade de uso do veículo importante ferramenta para a estimativa da frota circulante e a idade útil de veículo, postula-se a existência de correlação entre a intensidade de uso, a idade do veículo e a renda familiar na determinação dos parâmetros de mobilidade urbana (CETESB, 2010). Segundo Gomide (2003), baseado na "Pesquisa de Origem e Destino da Região Metropolitana de São Paulo", evidencia-se que a renda familiar é determinante na mobilidade urbana, dado que em seus resultados, o número de viagens diárias em transporte individual motorizado (automóveis e motocicletas) realizada por pessoas do extrato de renda mais alto (mais de 20 salários mínimos) é aproximadamente 10 vezes superior ao número de viagens realizadas pelos detentores das rendas mais baixas (até três salários mínimos). Utilizando esse resultado, empregando como hipótese a correlação entre a renda populacional e a idade do veículo e assumido que as faixas de maior poder aquisitivo detém os veículos mais novos e vice-versa, pode-se concluir que os veículos mais antigos, circulam em média, menos que os mais novos (GOMIDE, 2003; MMA, 2011; CETESB, 2010).

2.1.2.1 Estimação de Intensidade de uso segundo MMA (2011)

Após o levantamento das estimativas da frota total de automóveis em circulação, considerou-se o consumo de combustível rodoviário no país apresentados no Balanço Energético Nacional (2010), os preços médios ao consumidor e a quilometragem média por litro de combustível para veículos, conforme apresentam os gráficos 2.5 e 2.6.

Digitized by Google

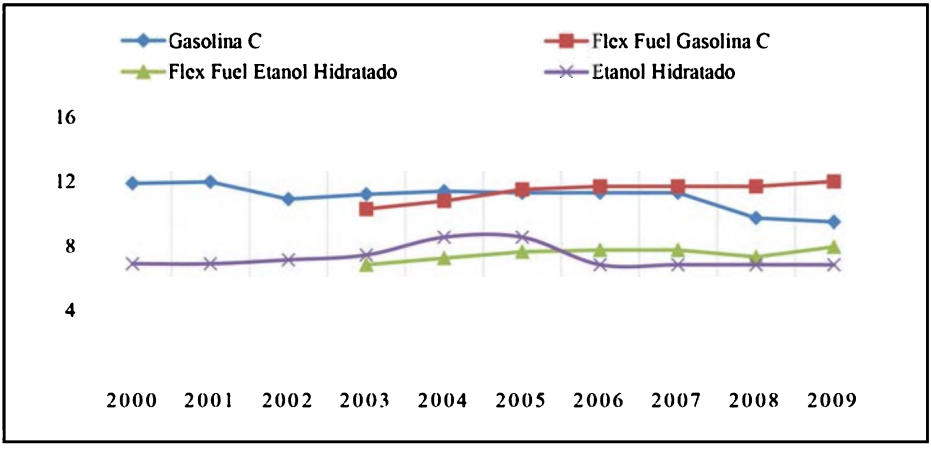
Gráfico 2.5: Preços médios anuais da gasolina C e etanol hidratado ao consumidor no Brasil - 2003 a 2009.



Fonte: MMA, 2011, EPE, 2014.

O gráfico 2.5 apresenta os valores de preços médios praticados anualmente da gasolina C e do etanol hidratado de 2003 a 2009 ao consumidor no Brasil, enquanto que o gráfico 2.6 demonstra o comportamento da quilometragem média por litro de combustível para automóveis e comerciais leves do ciclo Otto.

Gráfico 2.6: Quilometragem média por litro de combustível para automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto (km/l).



Fonte: Adaptado de MMA, 2011.

Assim, a partir de valores de intensidade de uso de referência (km/ano), de preços médios e quilometragem por litro (km/l), estima-se o consumo de combustível de cada categoria de veículo, conforme MMA (2011), a partir das equações 03, 04, 05 e 06, a seguir:

Digitized by Google

$$C_{i,estimado} = Fr_i \times lu_{i,referência} \div Ql_i \quad (03)$$

Onde:

$C_{i,estimado}$	Consumo anual de combustível do veículo do tipo *i* (l/ano)
$Fr_{i,estimado}$	Frota em circulação no ano do veículo do tipo *i* (nº de veículos)
$lu_{i,referência}$	Intensidade de uso de referência do veículo tipo *i*, expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano)
Ql_i	Quilometragem por litro de combustível do veículo do tipo *i* (km/l)

Com o somatório do consumo de combustível de várias categorias de veículos, estimou-se o consumo total de combustível de toda a frota. Como esse consumo é estimado, é então comparado com o consumo observado para todo o setor rodoviário, apresentado no Balanço Energético Nacional (2010). A razão entre o consumo estimado e o observado gera um fator de correção para o ajuste de valores de intensidade de uso. A partir desses novos valores, são calculados os valores ajustados de consumo de combustível para cada tipo de veículo e suas emissões a partir da equação 04 (MMA, 2011).

$$C_{t,estimado} = \sum C_{i,estimado} \quad (04)$$

Onde:

$C_{t,estimado}$	Consumo anual total de combustível de todas as categorias de veículos, estimado a partir de valores de intensidade de uso de referência (l/ano)

$$lu_{i,ajustada} = lu_{i,referência} \times \frac{C_{observado}}{C_{estimado}} \quad (05)$$

Onde:

$lu_{i,ajustada}$	Intensidade de uso anual ajustada do veículo do tipo *i*, expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano).
$C_{observado}$	Consumo anual total de combustível de todas as categorias de veículos, apresentado no BEN (l/ano)

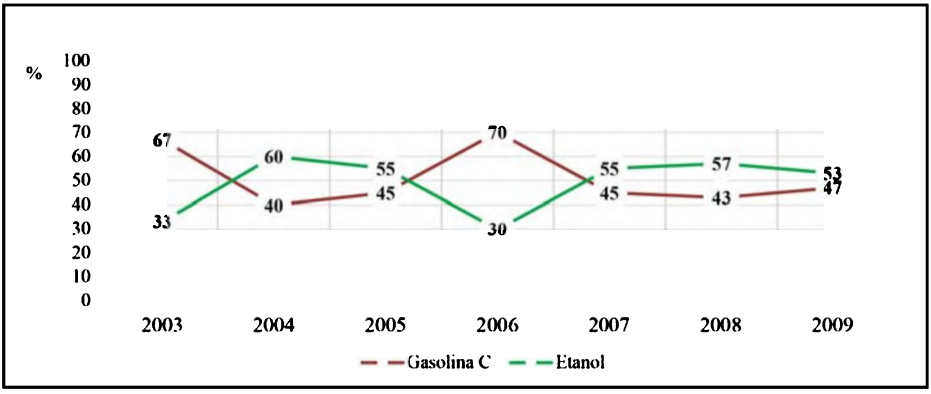
$$C_{i,ajustado} = Fr_i \times lu_{i,ajustada} \div Ql_i \quad (06)$$

Digitized by Google

Os procedimentos descritos acima são realizados para cada tipo de combustível, exceto Gás Natural Veicular (MMA, 2011).

A modificação do perfil da frota de veículos e o comportamento do preço dos combustíveis é um fator de ponderação importante a se considerar. Com a introdução e o crescimento da frota de automóveis *flex-fuel*, passou a ser possível substituir o combustível utilizado em consequência à política energética e os impostos incidentes que afetam diretamente os preços vigentes em cada período (MCT, 2006; CETESB, 2010; MMA, 2011). A partir do gráfico 2.7, é possível verificar as estimativas encontradas da fração da frota de automóveis que utiliza gasolina C e etanol hidratado.

Gráfico 2.7: Fração estimada da frota de automóveis que utilizou gasolina C ou etanol hidratado no Brasil – 2003 a 2009.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de MMA (2011); EPE, (2015).

A partir das estimativas de frota de veículos, consumo de combustível e quilometragem média de combustível por quilômetro é possível efetuar a construção da curva de intensidade de uso de automóveis aplicados à frota total.

2.1.3 Fatores de emissão de gases poluentes

Pode-se classificar a poluição veicular em função da abrangência dos impactos causados pelos poluentes locais, os deslocativos e os globais. Os poluentes locais causam impacto no entorno da área onde é realizado o serviço de transporte, entre eles pode-se citar o ruído e a

Digitized by Google

fuligem expelida dos automóveis. Os poluentes deslocativos são aqueles que se deslocam de uma região para outra pelas correntes de ar. E as emissões globais são gases expelidos para a atmosfera e acabam impactando todo o Planeta por meio do aquecimento global (IPEA, 2011).

Em um veículo automotor há emissões de gases e partículas através do tubo de escapamento (emissões de exaustão), de vapores por meio do sistema de alimentação, de gases e vapores pelo respiro, juntas e conexões (emissões evaporativa), e de partículas originadas do desgaste de pneus e freios. A tabela 2.6 apresenta os principais poluentes emitidos por automóveis do ciclo Otto a partir das emissões de escapamento e das emissões evaporativas por combustível (MMA, 2011).

Tabela 2.6: Principais poluentes emitidos por automóveis do ciclo Otto, por combustível.

Gases	**Gasolina C**	**Etanol Hidratado**
Emissões de escapamento		
Monóxido de carbono (CO)	x	x
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	x	x
Material particulado (MP)	x	
Aldeídos (RCHO)	x	x
Hidrocarbonetos (HC)	x	x
Metano (CH_4)	x	x
Dióxido de carbono (CO_2)	x	x
Emissões evaporativas	x	x

Fonte: MMA, 2011.

Os fatores médios de emissão dos poluentes para automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto são disponibilizados anualmente pela CETESB em seus relatórios de qualidade do ar. Trata-se de fatores médios por ano de fabricação, ponderados pelo volume de vendas de cada modelo de veículo e os limites máximos exigidos pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). A tabela 2.7 apresenta os limites máximos de emissão de poluentes que baseiam as estimativas realizadas pela CETESB.

Digitized by Google

Tabela 2.7: Limites máximos de emissão de poluentes para veículos automotores.

Poluentes	Limites	
	Fase L-5 Desde 01/01/2009	Fase L-6[1] A partir de 01/01/2014
Monóxido de carbono (g/km)	2,00	1,30
Hidrocarbonetos (g/km)	0,30[2]	0,30[2]
Hidrocarbonetos não metano (g/km)	0,05	0,05
Óxidos de nitrogênio (g/km)	0,12[3] ou 0,25[4]	0,08
Material particulado[4] (g/km)	0,05	0,025
Aldeídos[3] (g/km)	0,02	0,02
Emissão evaporativa (g/ensaio)	2,0	1,5[6] ou 2,0[5][6]
Emissão de gás no cárter	-	-

Fonte: IBAMA, 2015.
(1) Em 2014 -> para todos os novos lançamentos
A partir de 2015 -> para todos os veículos comercializados
(2) Aplicável somente a veículos movidos a GNV;
(3) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol;
(4) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;
(5) Aplicável aos ensaios realizados em câmera selada de volume variável
(6) Aplicado a todos os veículos a partir de 1°/1/2012

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou o PROCONVE com o objetivo de fixar limites máximos de emissão, estabelecer exigências tecnológicas para veículos automotores nacionais e importados e fixar prazo para o cumprimento das exigências.

2.1.3.1 Estimação das emissões totais de gases poluentes segundo MMA (2011)

Considera-se que as emissões totais de um gás poluente em determinado período é igual ao somatório das emissões geradas pela frota estimada de veículos em circulação no mesmo período. Para cada ano de origem do veículo multiplica-se a frota pela intensidade de uso anual dos veículos em circulação (MCT, 2006). Tais fatores são convertidos da unidade original em kg/TJ, para kg/L ou km/m³, aplicando-se os fatores de conversão e os valores de densidade energética dos combustíveis apresentados no Balanço Energético Nacional (2010) (MMA, 2011; MCT, 2006; CETESB, 2010). Os valores resultantes das emissões estimadas separadas por combustível estão expostos na tabela 2.8.

Digitized by Google

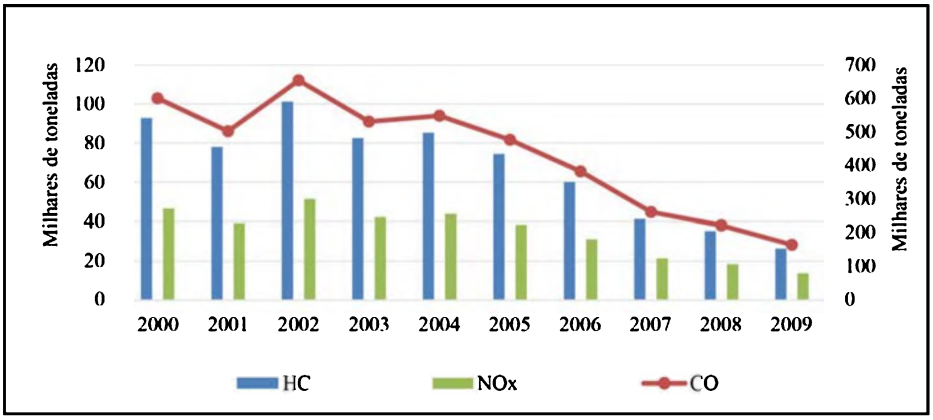
Tabela 2.8: Emissões estimadas de CO, HC e NO_x por veículos movidos a gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009 – t/ano.

Período	CO		HC		NO_x	
	Gasolina C	Etanol	Gasolina C	Etanol	Gasolina C	Etanol
2000	1.374.125	599.607	186.793	92.825	125.754	46.583
2001	1.156.046	502.031	157.752	77.992	112.873	39.290
2002	947.041	653.362	130.383	101.122	97.910	51.513
2003	864.982	530.828	120.051	82.547	94.277	42.178
2004	781.325	547.645	109.658	85.281	89.292	43.861
2005	687.074	476.143	97.601	74.465	81.737	38.443
2006	598.504	382.057	85.643	60.024	73.616	31.097
2007	561.936	260.994	80.450	41.302	71.055	21.419
2008	500.128	221.725	71.775	35.198	64.704	18.356
2009	429.662	164.823	61.909	26.343	56.582	13.775

Fonte: MMA, 2011; MCT, 2006; CETESB, 2010.

Por meio da construção da tabela de emissões estimadas de CO, HC e NO_x de automóveis, é possível verificar o comportamento gráfico dessas emissões no período de 2000 a 2009. Os gráficos 2.8 e 2.9 resumem as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxido de enxofre de automóveis movidos à etanol hidratado e gasolina C, respectivamente.

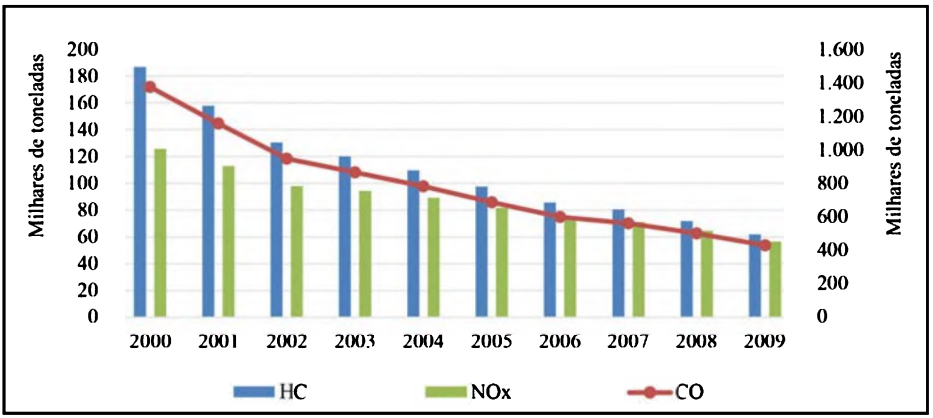
Gráfico 2.8: Emissões de CO, HC e NO_x de veículos movidos a etanol de 2000 a 2009 - t/ano.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de MMA, 2011.

Digitized by Google

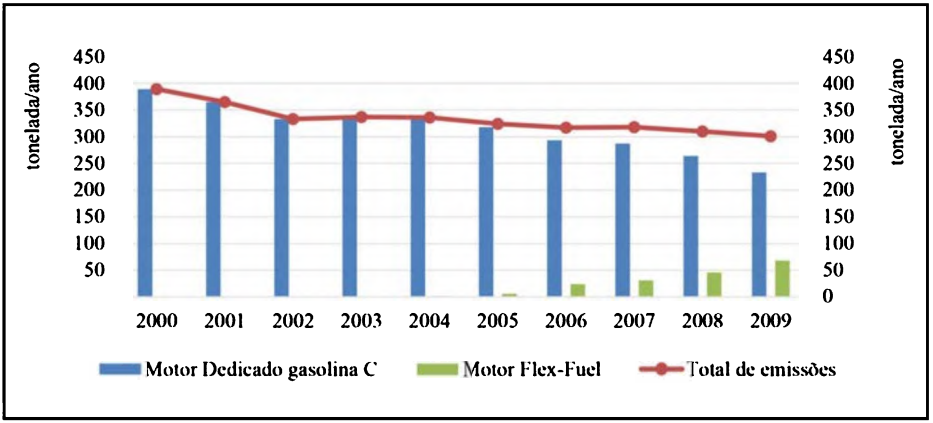
Gráfico 2.9: Emissões de CO, HC, NO_x de veículos dedicados a gasolina C de 2000 a 2009 – t/ano.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de MMA, 2011.

É de se destacar a redução das emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxido de enxofre dos veículos dedicados à gasolina C e etanol hidratado dentro do respectivo período.

Gráfico 2.10: Emissão de material particulado em veículos dedicados à gasolina C e *flex-fuel*.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de MMA, 2011.

Já as emissões de material particulado, não são consideradas no consumo de etanol hidratado combustível, pois suas emissões não são significativas, conforme MMA (2011). Ainda, é possível verificar a redução nas emissões de MP nos veículos que utilizam gasolina C, dedicados ou *flex-fuel* conforme apresenta o gráfico 2.10.

Digitized by Google

2.1.4 Monetização de gases poluentes

A poluição, em todas as suas manifestações, possui estudos concentrados em torno de dois grandes impactos: a poluição atmosférica e o ruído provocado pelo tráfego. A regularidade desses estudos prendem-se tanto à avaliação de seu impacto direto à saúde das pessoas, quanto de seu impacto de médio prazo para o ambiente global (VASCONCELOS e LIMA, 1998).

Nesse sentido, IPEA e ANTP (1999) desenvolveram o estudo sobre a "Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público" com o objetivo de solucionar problemas causados por congestionamentos de trânsito e as emissões de gases poluentes nas cidades brasileiras. Esse estudo teve como meta propor políticas para a redução desses impactos, e considerou as principais externalidades ligadas ao transporte atualmente. A elaboração da metodologia da quantificação dessas deseconomias, utilizou as seguintes variáveis (IPEA e ANTP, 1999):

→ Via expressa: tráfego sem interrupções, com geometria permitindo velocidades elevadas;
→ Via arterial I: duas pistas e canteiro central, velocidades elevadas, cruzamentos semaforizados, estacionamento proibido e tráfego de ônibus com baixo nível de controle;
→ Via arterial II: difere da anterior pelas velocidades inferiores, pelo estacionamento eventualmente permitido e tráfego de ônibus com baixo nível de controle;
→ Via coletora: via de pista simples, com estacionamento permitido ou proibido e movimento livre de ônibus.

Ainda, o trânsito foi subdividido a partir da definição de tempos de percurso, ou relações volume/capacidade aceitáveis para cada tipo de via. Os conceitos adotados foram (IPEA e ANTP, 1999):

→ Nível A: Fluxo livre, nenhuma restrição a manobras ou a velocidades operacionais;
→ Nível B: Fluxo estável, sem restrições de manobras ou de velocidade operacional;
→ Nível C: Fluxo estável, com restrições;
→ Nível D: Aproximação de fluxo instável;
→ Nível E: Fluxo instável, algumas paradas;
→ Nível F: Fluxo forçado, muitas paradas.

Digitized by Google

Usando como pressuposto que o consumo de combustível, assim como a emissão de poluentes estão relacionados à variação da velocidade, para cada tipo de via, foram estimados os tempos de percurso e as velocidades que melhor representariam suas condições. Inicialmente, considerou-se uma velocidade livre para cada tipo de via, respectivamente, 80 km/h (via expressa), 60 km/h (arterial I), 50 km/h (arterial II), 40 km/h (coletora) e a densidade de semáforos. Estas velocidades livres correspondem a tempos livres de percurso (como se poucos veículos estivessem usando a via, ou seja, nível de serviço A). O congestionamento foi definido em três níveis - *leve, moderado e severo*, correspondendo a níveis crescentes de saturação do sistema viário, expresso pela relação entre volume e capacidade das vias. O nível leve corresponde à situação onde esta relação se situa entre 0,7 e 0,84, e representa apenas um indício do início de uma situação de maior interferência entre os veículos. Para estes trechos, ainda pode ocorrer um aumento do volume até que as condições de tráfego tornem-se mais críticas. A relação no nível moderado se encontra entre 0,85 e 0,99; e a do nível severo é igual a 1,0. No caso das vias com semáforos, a partir destes tempos de percurso livres (de semáforo) foram sendo adicionados atrasos médios correspondentes à existência dos mesmos – de acordo com a sua densidade por quilômetro (VASCONCELOS e LIMA, 1998).

A sugestão de velocidades e tempos de percurso desejáveis, estabelece então os limites a partir dos quais se convenciona que existe congestionamento. Assim, os coeficientes de emissão de poluentes por veículos automotores variam muito em função das condições dos combustíveis e dos veículos, sendo que o estudo concentrou-se na emissão de quatro poluentes nocivos à saúde: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxido de nitrogênio (NO_x) e materiais particulados (MP) (IPEA e ANTP, 1999). A revisão da literatura mostrou, no entanto, que as diferenças entre os vários estudos não são muito elevadas e que a relação mais importante – velocidade e emissão – apresenta características semelhantes em todos os estudos.

Em IPEA e ANTP (1999), para a obtenção de uma proxy dos custos advindos da poluição, utilizaram-se estudos elaborados por inúmeras fontes (em sua totalidade, estudos internacionais[6]). Os valores originais

6.*Littman* (1996); *Miller e Moffet* (1993), *US Department of Transportation* (1996); *Texas Transportation Institute* (1995); *Lomax et al* (1996); *Van Vuren e Leonard* (1994); *Transport and Road Research Laboratory* (1967); *Duncan et al* (1980).

Digitized by Google

encontrados na literatura internacional, expressos em US$/kg de emissão, foram transformados, atualizados e corrigidos em reais, levando em consideração a inflação sofrida pelo dólar americano no período de 2001 a 2009, de acordo com as estimativas do *Federal Reserv Bank of St. Louis* (2011), de aproximadamente 24,11%. Como estes valores refletem os custos da sociedade europeia e norte-americana e, na ausência de estudos específicos sobre as condições brasileiras, estes foram adaptados segundo a relação aproximada das rendas per-capita brasileira e norte-americana (IPEA e ANTP, 1999). Em Lascala (2011), tais valores foram atualizados e convertidos para reais por tonelada (R$/t), com o valor médio da moeda brasileira frente ao dólar americano respectivo de US$ = 1,73. Os valores finais encontrados foram:

Tabela 2.9: Valores monetários de referência dos gases selecionados.

CO	HC	NO_x	MP
R$ 378,56 t/ano	R$ 2.271,40 t/ano	R$ 2.231,54 t/ano	R$ 1.813,13 t/ano

Fonte: IPEA e ANTP, 1999; LASCALA, 2011.

Nesta dissertação, para a monetização dos gases poluentes emitidos entre os anos 2000 a 2009, foi considerada a frota total de automóveis em circulação, a intensidade de uso e os fatores de emissão dos poluentes para o montante estimado de veículos por combustível utilizado (com os valores médios dos preços da gasolina C e do etanol hidratado para os cálculos); e os valores monetários de referência dos gases selecionados em R$ por tonelada, apresentados na tabela 2.9.

2.2 O ar atmosférico e as medidas mitigadoras para a manutenção da qualidade

A concentração de gás carbônico na atmosfera é determinante para o equilíbrio da temperatura do planeta. O fenômeno conhecido como efeito estufa, refere-se à progressiva elevação da temperatura média da atmosfera terrestre, como consequência da crescente concentração de gases conhecidos como GHG (*greenhouse gases)* (GUTIEREZ e MENDONÇA, 1999).

Através do efeito estufa, a energia solar atravessa com facilidade a capa de ar que cobre a Terra, ao mesmo tempo em que a energia que re-

Digitized by Google

-irradia pela terra é parcialmente retida por alguns gases que compõem a atmosfera. Entretanto, a alteração das proporções dessa energia tende a aumentar a quantidade de CO_2 atmosférico, induzindo a maior retenção de calor (MMA, 2011).

A modificação desse equilíbrio, causador do aquecimento global, é o principal responsável pelas mudanças climáticas, que têm se evidenciado através da recorrência de incêndios, desequilíbrios no abastecimento de água, aumento da precipitação de temporais e a crescente elevação da temperatura média do planeta que causam a elevação das marés e consequentes inundações. O impacto causado por estes desequilíbrios climáticos tem efeito direto na produção de alimentos em virtude da diminuição produtiva em todo o mundo, o que agrava a possibilidade da escassez de insumos básicos à manutenção do bem-estar, além dos efeitos nocivos à saúde (ARAÚJO, 2011).

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade e concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso à fauna ou à flora, prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (MMA, 1996).

São considerados os principais poluentes do ar os Compostos de Enxofre, Compostos de Nitrogênio, Compostos Orgânicos de Carbono, Monóxido de Carbono, Compostos Halogenados e Material Particulado. Esses poluentes podem ser considerados primários e secundários. Os primários são emitidos diretamente pelas fontes de emissão e os secundários são formados na atmosfera como resultado de reações químicas envolvendo os poluentes primários (KNIGTH e YOUNG, 2006).

Na tabela 2.10 são citadas as principais fontes de poluição de origem antrópica, emitidas a partir dos meios de transporte, dos processos industriais e da produção de resíduos sólidos, de acordo com IPEA e ANTP, 1999; BORSARI, 2011.

Digitized by Google

Tabela 2.10: Gases e principais considerações de fontes de poluentes de origem antrópica.

Gases	Considerações
Monóxido de Carbono (CO)	Considerado um gás indireto de efeito estufa, sua emissão resulta da combustão incompleta do carbono contida no combustível, e com menos oxigênio do que o requerido para a combustão completa, aumenta a emissão quando o motor funciona com o veículo parado, em baixa velocidade e partida fria em motores de ignição por centelha. Relaciona-se à eficiência da combustão e do controle da poluição da emissão de gases do motor.
Hidrocarbonetos ou Compostos Orgânicos Voláteis Não Metano (HC/NMVOC)	Gás indireto causador do efeito estuda. A classificação desse componente abrange toda a gama de substâncias orgânica presente *in natura* nos combustíveis, bem como subprodutos orgânicos derivados da combustão, exceto o metano. São substancias percursoras da formação de Ozônio (O_3) no nível troposférico. Sua emissão está relacionada aos padrões de uso do motor, tipo de tecnologia veicular, porte, tamanho, idade dos veículos, condições de manutenção e operação.
Óxido de Nitrogênio (NO_x)	Grupo de gases altamente reativos, compostos por nitrogênio e oxigênio em quantidades variadas. Outro gás indireto determinante do efeito estufa e considerável causador de chuva ácida. Nos transportes, sua emissão está relacionada à mistura de ar na queima do combustível e à temperatura da combustão, bem como à existência de equipamentos de controle de poluição (catalisadores).
Material Particulado (MP)	São partículas constituídas por poeiras, fumaças e a totalidade de material líquido e sólido suspensos na atmosfera que podem conter uma variedade de componentes químicos. São classificados de acordo com seu tamanho, sendo que grande parte do MP de origem veicular tem diâmetro menor que 2,5 μm, podendo ser referido como MP 2,5.
Metano (CH_4)	O processo de combustão pode levar também à geração de CH_4, o mais simples dos hidrocarbonetos. Em termos de emissões globais, a contribuição é minoritária. Em motores desregulados, as emissões de metano são altas em baixas velocidades e quando o motor funciona com o veículo parado.
Dióxido de Carbono (CO_2)	Gás mais comum dos gases de efeito estufa oriundos de fontes antropogênicas. Produz a oxidação completa do carbono presente no combustível durante sua queima, que contabilizam de 70-90% de todas as emissões antropogênicas de CO_2.
Aldeídos (RCHO)	O processo de combustão pode levar também à geração de compostos com o radical carbonila. Os mais comuns são o acetaldeído e o formaldeído.
Dióxido de Enxofre (SO_2)	Dióxido de enxofre: impureza encontrada na queima dos derivados de petróleo (gasolina e óleo diesel) e no carvão mineral. Quando eliminado no ar, o dióxido de enxofre é oxidado e, ao entrar em contato com a umidade atmosférica, forma-se o ácido sulfúrico, altamente corrosivo, sendo componente da chuva ácida; além disso, o enxofre pode combinar-se com outras substâncias no ar, originando os sulfatos responsáveis pela diminuição da visibilidade atmosférica.

Fonte: IPEA e ANTP, 1999; BORSARI, 2011.

O nível de qualidade do ar é determinado através da interação das fontes de poluição e da atmosfera, além da demonstração dos efeitos negativos sobre os seres vivos receptores dessas substâncias nocivas e dos

Digitized by Google

materiais[7]. A qualidade do ar é influenciada por um sistema de fontes móveis (veículos automotores) e fontes estacionárias (indústrias), pela topografia e pelas condições meteorológicas regionais (ARAÚJO, 2011).

Guerra, Cunha e Macedo (2004) afirmam que a maioria dos poluentes são originados a partir da combustão incompleta dos combustíveis fósseis, (utilizados em sua maioria no setor de transporte) e para a produção industrial, principalmente nos setores de metalurgia, químico e petroquímico. No setor de transportes, as crescentes taxas de urbanização, a deficiência de políticas públicas de transporte coletivo eficiente e mesmo os incentivos à produção e consumo de veículos individuais no país, têm implicado aumento expressivo da motorização individual. Esse quadro confirma a condição dos veículos automotores rodoviários como grandes fontes emissoras de poluentes para a atmosfera. (IPEA e ANTP, 1999; BORSARI, 2009).

Logo, para a contínua manutenção da qualidade do ar, se faz necessária o uso de ações de gestão à prevenção ou redução das emissões de poluentes atmosféricos e dos efeitos da degradação do meio, envolvendo medidas mitigadoras que definam os limites permissíveis de concentração dos poluentes na atmosfera, restrição de emissões, bem como melhor desempenho na aplicação dos instrumentos de comando e controle (GUERRA, CUNHA e MACEDO, 2004).

Dentro de um contexto global, para reduzir a concentração de gás carbônico na atmosfera associado ao uso de combustíveis fósseis, as medidas mais comuns atuam basicamente na redução de emissões e/ou na captura do carbono que já encontra-se na atmosfera. Estes temas têm sido colocados nas pautas das discussões internacionais com a criação do Protocolo de Quioto, o Mercado de Créditos de Carbono e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (STELLA *et al*, 2014).

Por meio da Organização das Nações Unidas (ONU) foi designado órgão competente composto por delegações governamentais, o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). A partir desse marco, iniciou-se o processo que recomendou a criação de uma convenção que estabelecesse a base para a concreta cooperação internacional

7. O monóxido de carbono pode provocar tonturas, dores de cabeça, sono, redução dos reflexos e perda da noção do tempo, além de ser um dos principais responsáveis por acidentes de trafego em áreas de grande circulação, aumentando o estado de morbidez. Os hidrocarbonetos podem provocam irritações nos olhos, nariz, pele e parte superior do sistema respiratório, reduz também a visibilidade do ambiente, provocando acidentes. O óxido de nitrogênio provoca irritação e contrição das vias respiratórias diminuindo a resistência orgânica às infecções e participa do desenvolvimento do enfisema pulmonar. Já o material particulado, atinge os alvéolos pulmonares, produzindo alergia, asma, bronquite crônica e agravamento de sintomas produzidos por outros poluentes (ARAÚJO, 2011).

Digitized by Google

sobre as questões técnicas e políticas relacionadas ao aquecimento global, o Protocolo de Quioto (SANTILLI e MOUTINHO, 2004).

A elaboração do referido protocolo, apresentado em dezembro de 1997 no Japão, propõe o início do processo de estabilização das emissões de gases geradores de efeito estufa. Como tema chave, compromete uma série de nações – divididas em grupos de países industrializados grandes emissores (Anexo I) e países em desenvolvimento (Anexo B) – a reduzir suas emissões (diferenciadas conforme grupo de Anexo) tomando por base as emissões registradas em 1990 (STELLA et al, 2014).

No protocolo em questão, foi estabelecido para os países participantes do Anexo I (que inclui 40 países desenvolvidos e em transição para grandes economias de mercado) a redução de suas emissões totais, atingindo uma média de 5,2% abaixo das emissões entre os anos de 2008 e 2012 (primeiro período de compromisso) (STELLA et al, 2014). De forma especifica, estes países comprometeram-se a:

→ Adotar políticas e medidas que levem à redução das emissões de dióxido de carbono na atmosfera aos níveis de 1990;

→ Comunicar seus inventários nacionais de emissões discriminadas por tipo de fonte como também remoção dos gases através de sumidouros;

→ Submeter relatórios sobre políticas públicas e medidas implementadas.

Os países não pertencentes ao Anexo I, dentre eles o Brasil, continuam pelos termos do primeiro compromisso deste instrumento, sem obrigações de reduzir suas emissões (2008 – 2012). O Protocolo estabeleceu ainda prazos e a criação de mecanismos comerciais de flexibilidade para facilitar e assegurar uma transição economicamente viável para a adoção desse novo padrão de corte nas emissões. Dois desses mecanismos contemplam os países do Anexo B: a Implementação Conjunta (*Joint Implemention)* e o Comércio de Emissões (Emission Trading). O terceiro – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Clean Development Mechanism) – permite a atividade entre os países do Anexo I e os não pertencentes ao Anexo I (IPCC, 2007; EPE, 2007; STELLA et al, 2014).

O "Comércio de Emissões" compreende um mercado de emissões e implementação conjunta, que permite a um país, sujeito a metas de redução de emissão, através de operações de compra e venda, conta-

Digitized by Google

bilizar reduções realizadas em outros países que tenham suas emissões para níveis abaixo de sua meta. O mecanismo de "Implementação Conjunta", permitido entre países do Anexo I, consente que um determinado país perpetre projetos que levem à redução de emissões em outro país, onde os custos com a redução sejam mais baixos (IPCC, 2007; EPE, 2007).

Por último, o "Mecanismo de Desenvolvimento Limpo" permite que países membros do Anexo I desenvolvam projetos que contribuam com o desenvolvimento sustentável de países que não possuem metas definidas de redução, de modo a auxiliar na redução de suas emissões através da geração de créditos de carbono, até o limite de 1% de suas emissões. Os projetos de MDL podem ser praticados nos setores energéticos, de transporte e florestal (STELLA et al, 2014).

O segundo período do Protocolo de Quioto iniciou em 1 de janeiro de 2013 e termina em 31 de dezembro de 2017, podendo ser prorrogado até 31 de dezembro de 2020, e tem como meta principal aprovar o protocolo que vai vigorar após o final do segundo período de compromisso e que possa entrar em vigor a partir de 2020. Neste novo tratado, objetiva-se instaurar a ausência de distinções absolutas entre países do Anexo I e não Anexo I. Em síntese, os países em desenvolvimento como Brasil, China, Índia e outros, também terão metas obrigatórias de redução de emissões de gases de efeito estufa (IPAM, 2015).

Para esse segundo período, os países deverão adaptar os limites de redução de emissões para todos os setores da economia, ou metas de redução conforme os dados informados pelos mesmos no Anexo I, e a conversão das metas em limites de emissões quantificadas ou metas de redução. O Canadá, Japão e Rússia sinalizaram a não intenção de assumir obrigações ou compromissos para a vigência do segundo período do protocolo (IPAM, 2015; STELLA et al, 2014).

Ainda num contexto de demandas institucionais e normativas, entretanto no cenário brasileiro, o CONAMA por meio da Resolução nº 5 de 15 de Junho de 1989, criou o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar – PRONAR com o intuito de:

> Permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas à melho-

Digitized by Google

> ra da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar nas áreas consideradas não degradada (MMA, 1989, pág. 1).

O Programa tem por objetivo a implantação de uma série de leis reguladoras e metas submetidas às montadoras automotivas que levem à redução dos poluentes pelos automóveis. Entre várias, pode-se mencionar a eliminação dos modelos mais poluentes e o aprimoramento de tecnologias associadas à produção (injeção eletrônica dos combustíveis, conversores catalíticos e injeção do sensor de oxigênio à combustão) (CONAMA, 2012).

Como instrumento paliativo, pode-se destacar o artigo 104 do CTB (Código de Trânsito Brasileiro) de 1997, que determina a avaliação mediante inspeção periódica estabelecida pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) dos veículos em circulação, de suas condições de segurança, de controle de emissão de gases poluentes e de ruído (BRASIL, 2015).

No âmbito das emissões de poluentes oriundos da agricultura e pecuária, o Brasil possui também outras ferramentas, de igual importância, como o "Plano Setorial de mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura". O Plano *ABC*, como é conhecido, foi proposto durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15), realizada em 2009 em Copenhague, Dinamarca, com o compromisso nacional voluntário de redução entre 36,1% e 38,9% das emissões de gases de efeito estufa projetadas para 2020 (MAPA, 2012). As ações propostas foram:

→ Redução em 80% da taxa de desmatamento na Amazônia, e em 40% no Cerrado;
→ Adoção intensiva na agricultura de recuperação de pastagens degradadas;
→ Promoção e integração lavoura-pecuária;
→ Ampliação do uso do Sistema de Plantio Direto;
→ Fixação biológica de nitrogênio no solo;
→ Ampliação da eficiência energética;
→ Expansão do uso de biocombustíveis, a oferta de hidrelétricas e de fontes alternativas de biomassa, energia eólica e de pequenas centrais hidrelétricas e;

Digitized by Google

→ Ampliação e uso na siderurgia de carvão proveniente de florestas plantadas.

Os compromissos foram ratificados no artigo nº 12 da Lei nº 12.187/2009 que institui a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) (MAPA, 2012).

Podem-se também citar como medida anódina, a instituição da "Política Nacional sobre Mudança do Clima" (PNMC). Estabelecida pela lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009, tem por princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático; a redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes; o fortalecimento das emissões antrópicas por sumidouros de gases em território nacional; a implementação de medidas para promover a adaptação à mudança do clima pelas três esferas da federação; à preservação, conservação e recuperação dos recursos ambientais tidos como patrimônio nacional; a consolidação e expansão de áreas protegidas; e estímulos ao desenvolvimento do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE) (MAPA, 2012).

2.3 O uso do etanol e as emissões evitadas

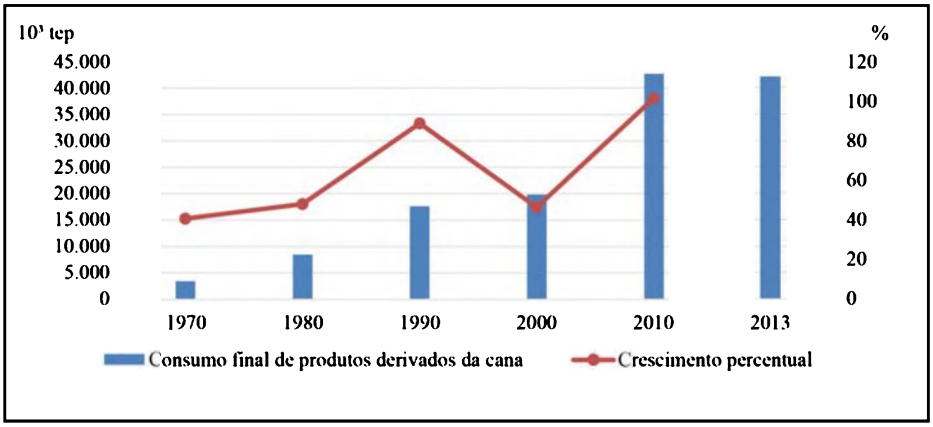
Os biocombustíveis são ferramentas estratégicas na redução das emissões de gases poluentes, e ao mesmo tempo, das mais eficazes alternativas energéticas do setor veicular. O Brasil é um dos principais produtores mundiais de biocombustíveis – principalmente de etanol – e, reconhecidamente, aquele que implantou o mais bem sucedido programa de substituição de combustíveis líquidos de origem fóssil por combustíveis renováveis, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), ainda que com algumas controvérsias (HILGEMBERG, 2004).

A partir da instituição do Proálcool, iniciou-se a adição de álcool anidro à gasolina A em 15% (inicialmente) e o bagaço da cana-de-açúcar passou de estorvo residual a ser queimado, para um bem comercializável que sobreveio a ser adotado progressivamente por indústrias próximas às destilarias, além de tratar-se de insumo para a indústria de alimentação animal e combustível no fornecimento de energia para a indústria (BORSARI, 2009; NITSCH, 1991; HILGEMBERG, 2004).

Digitized by Google

Como observa-se no gráfico 2.11 o consumo final de produtos da cana – incluindo o etanol – no Brasil, em 1970, passou de 3.459 (10^3) tep para 42.045 (10^3) tep em 2013, sendo responsável por 16,1% da oferta interna de energia renovável na matriz energética brasileira de 2013 (EPE, 2014).

Gráfico 2.11: Evolução do consumo final dos produtos derivados da cana na matriz energética brasileira – 1970 a 2013.



Fonte: EPE, 2014.

Atualmente, as discussões em torno da produção e consumo do etanol se dão principalmente na contabilidade econômica e ambiental. O benefício ambiental associado ao uso do etanol é considerável, pois cerca de 2,3 toneladas de CO_2 deixam de ser emitidos para cada tonelada de álcool combustível utilizado (sem considerar outras emissões) (MAPA, 2007).

Empregado na indústria química, na fabricação de bebidas e como carburante, é hoje a principal bioenergia utilizada no mundo. Seu uso como combustível aumentou a participação no setor de transportes para 73% em 2005, seja para mistura no petróleo e derivados ou para uso exclusivo nos veículos automotores (MAPA, 2007).

Na tabela 2.11 é possível verificar a projeção de crescimento da produção dos produtos da cana para 2020 e 2030, em que pode ser percebido crescimento em torno de 80% quando em comparação com as projeções feitas para o ano de 2010 (EPE, 2007).

Digitized by Google

Tabela 2.11: Projeção para os produtos de cana-de-açúcar: Indicadores Selecionados

Produtos	2005	2010	2020	2030
Etanol (10^6 m^3)				
Produção	16	24	48	66,6
Exportação	2,5	4,3	14,2	11,5
Consumo em transportes	13,3	18,6	32,4	53,3
Energia primária (10^6 t)				
Produção de caldo de cana[8]	97,9	150,5	291,5	345,3
Produção de melaço[9]	12,5	19,2	38,9	53,1
Produção de biomassa[9]	106,5	136,3	245	367,4
Cana-de-açúcar				
Produção (10^6 t)	431	518	849	1140
Área Plantada (10^6 ha)	5,6	6,7	10,6	13,9
Produtividade (t/ha)	77	77,3	80,1	81,4

Fonte: EPE, 2007.

As perspectivas de crescimento da participação etanol nos próximos anos, impõe a necessidade de conhecer com precisão seu perfil ambiental. Os combustíveis, sejam eles derivados fósseis ou da biomassa, apresentam um ciclo de vida que pode ser considerado um sistema energético. Suas atividades de extração, transporte, processamento, distribuição e uso final de combustível/energia podem acarretar significativos impactos ambientais e econômicos (EPE, 2007).

Para os combustíveis derivados de biomassa, a quantidade de dióxido de carbono emitida na combustão é compensada pela absorção deste gás por meio da fotossíntese no crescimento da espécie vegetal, desde o plantio até a colheita. Entretanto, tanto na produção da biomassa quanto na produção do etanol ou biodiesel, são consumidas substâncias e materiais que se utilizam de recursos fósseis em suas etapas de extração, produção e transporte até o ponto de consumo (MIRANDA, 2012).

A análise do ciclo de vida de um produto é conhecida como Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), e este inicia-se quando os recursos naturais para sua produção são extraídos da sua origem e termina quando os materiais, resíduos e emissões retornam ao meio ambiente. Aplicada ao gerenciamento ambiental dos processos envolvidos, a ACV auxilia a pesquisa e a indústria na identificação dos pontos críticos de cada fase do processo, bem como fornece aos planejadores e tomadores de decisão, parâmetros sistêmicos e objetivos para comparação das vantagens e

8. Processado nas destilarias para produção de etanol

9.Inclui bagaço e recuperação da palha: biomassa em base úmida.

Digitized by Google

desvantagens de uma especifica solução energética. Através dessa ferramenta de análise é possível determinar de maneira mais precisa a real contribuição do uso dos diferentes tipos de biocombustíveis para a mitigação do efeito estufa (MIRANDA, 2012).

A formação da biomassa e conversão em biocombustíveis tem sua produtividade bruta variada consideravelmente com a latitude geográfica, que está associada à disponibilidade de energia solar e temperatura (tendo o Brasil seu território favorecido pela conjugação de todos esses fatores) (PRADO, 2007; BOLOGNINI, 1996).

Através de inúmeras espécies vegetais é possível produzir diferentes tipos de biocombustíveis, como o etanol, o biodiesel, o metanol da madeira, o carvão vegetal, o biogás e o hidrogênio. De tal modo, essas várias espécies podem ser convertidas em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos por meio de diferentes meios de conversão, economicamente adequados a sua respectiva aplicação, e cada uma dessas alternativas tecnológicas está associada a um rendimento energético vinculado à condições em que ela é empregada (PRADO, 2007; BOLOGNINI, 1996).

De acordo com EPE (2007), os dados que compõem os estudos do potencial de redução das emissões de CO_2 em projetos de produção e uso de biocombustíveis, em suma, são agrupados em "entradas" (quantidade de energia necessária para a produção) e "saídas" (quantidade de energia disponível depois do processo produtivo) para cada subsistema. O sistema de produto construído em EPE (2007) inclui como subsistemas a fase agrícola (produção e transporte da cana-de-açúcar), fase industrial (produção de etanol) e fase de uso como combustível veicular.

2.3.1 Fase Agrícola

O ciclo produtivo da cana de açúcar é constituído basicamente dos seguintes conjuntos de operações:

→ Preparo e conservação do solo;
→ Plantio;
→ Tratos culturais da cana planta;
→ Tratos culturais da Cana Soca;
→ Queimada;
→ Colheita manual;
→ Colheita mecanizada;
→ Transporte.

Digitized by Google

Considerando para cálculos os valores médios que caracterizam a produção de cana-de-açúcar no Brasil para cada conjunto de operações listadas acima, o cenário utilizado basear-se-á nas médias do consumo de energia, de insumos e investimentos. Portanto, foram considerados o consumo de óleo diesel nas operações agrícolas, o consumo de óleo diesel nas operações de transporte, o consumo de energia no emprego de fertilizantes, o consumo de energia devido à aplicação de calcário, herbicidas e inseticidas, o consumo de energia na produção de mudas de cana e o consumo de energia inerente a equipamentos e máquinas agrícolas (EPE, 2007).

2.3.2 Fase Industrial

A industrialização da cana-de-açúcar para a obtenção de álcool etílico compreende nas operações de (EPE, 2007):

→ Recebimento da cana;
→ Processamento (extração do caldo);
→ Tratamento do caldo;
→ Fermentação;
→ Destilação e Retificação;
→ Desidratação;
→ Cogeração (os produtos de cogeração são postulados como vapor e eletricidade para as usinas geradoras).

As entradas consideradas na fase industrial são (EPE, 2007):

→ Eletricidade: Toda a eletricidade (e vapor) obtida em cogeração pode ser suprida pelas próprias unidades industriais produtoras de etanol através do aproveitamento da biomassa renovável disponível (bagaço);
→ Insumos químicos e outros materiais: Os principais insumos químicos e lubrificantes utilizados na unidade industrial de etanol e suas respectivas entradas de energia são o ácido sulfúrico (740 kcal/t cana), anidro de ciclohexeno (130 kcal/t cana), hidróxido de sódio (180 kcal/t cana), lubrificantes (170 kcal/t cana) e cal (300 kcal/t cana).
→ Prédios e equipamentos: Com base nos parâmetros de (EPE, 2007 apud CRC PRESS, 1980), as entradas de energia devidas a prédios e equipamentos estabelecidos foram 10.290 kcal/t cana para planta produzindo 180.000 litros de etanol anidro/dia e processando 377.000 t cana/ano.

Digitized by Google

Assim, o balanço de energia e de emissões de gases poluentes considerando sua fase agrícola de plantação e industrial de obtenção de álcool etílico, são listadas na tabela 2.12.

Tabela 2.12: Inventário de energia na produção de Álcool Etílico Anidro (MJ/L).

Entradas de energia	**2,918**
Fase Agrícola	
Operações Agrícolas	0,444
Transporte	0,498
Fertilizantes	0,775
Cal, herbicidas, pesticidas	0,222
Mudas	0,067
Equipamentos	0,339
Fase Industrial	
Prod. Químicos, lubrificantes	0,075
Prédios e Instalações	0,138
Equipamentos	0,36
Saídas de Energia	**24,31**
Etanol	22,35
Bagaço excedente	1,96
Relação Entrada/Saída	**8,32**

Fonte: EPE, 2007.

A tabela 2.13 apresenta as emissões de CO_2 equivalentes no ciclo de vida do álcool etílico anidro e as emissões pelo seu uso como constituinte da gasolina tipo C e as devidas ao potencial uso energético do bagaço excedente.

Tabela 2.13: Balanço de emissões na produção do Álcool Etílico Anidro ($kgCO_2eq/L$).

Combustíveis fósseis (diesel e óleo combustível)	0,223
Queima da palha (metano e N_2O)	0,105
Decomposição de fertilizantes	0,073
Total	**0,401**

Fonte: EPE, 2007.

De acordo com EPE (2007) e Borsari (2009), embora não seja possível uma comparação direta entre motores a gasolina, a equivalência amplamente aceita, em função do desempenho relativo dos novos motores é:

→ 1 litro de etanol anidro = 1 litro de gasolina C

→ 1 litro de etanol hidratado = 0,7 litros de gasolina C

Digitized by Google

Tabela 2.14: Emissões evitadas por litro de Álcool Etílico Combustível, em $kgCO_2eq/L$ Álcool.

	Anidro	Hidratado
Emissões totais no ciclo de vida	**0,401**	**0,389**
Uso do bagaço excedente (+)	0,145	0,141
Uso do etanol (+)	2,82	1,97
Total de emissões evitadas (=)	2,965	2,111
Emissões evitadas (valor líquido)	**2,564**	**1,722**
Emissões evitadas (pela mistura de gasolina A [77%] e álcool anidro [23%])	**1,196**	

Fonte: EPE, 2007.

Nessas condições, as emissões evitadas devido ao uso de etanol em substituição à gasolina são 2,82[4]kgCO2/L para o etanol anidro e 1,97[5]kgCO2/L para o etanol hidratado conforme apresenta-se na tabela 2.14.

2.4 Motores do ciclo Otto

Boa parte dos automóveis atualmente usa motores que possuem o ciclo de combustão interna de quatro tempos para converter a energia concentrada na gasolina em movimento. Este tipo de veículo recebe o nome ciclo Otto em homenagem a *Nikolaus Otto*, que o inventou em 1867 (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Oliveira (2009), motores de combustão interna são máquinas que através do movimento de seus pistões fazem com que a mistura ar/combustível sofra combustão, gerando força para fornecer potência e torque através do movimento rotativo do seu eixo principal (árvore de manivelas). Em motores que operam através do ciclo Diesel, não há velas de ignição e a mistura ar/combustível é inflamada pela alta pressão originada na câmara, na fase de compressão do êmbolo no cilindro a uma temperatura próxima dos 600ºC. O motor de ciclo Otto diferencia-se basicamente dos outros ciclos pela maneira como a mistura ar/combustível é inflamada na câmara de combustível, conforme tópicos dispostos:

→ 1º Tempo – Admissão: O pistão desce aspirando a mistura ar/combustível para o interior do cilindro. Nesta situação a velocidade de avanço da mistura dos fluidos é praticamente igual à velocidade do pistão. Em consequência desse fato, a pressão fica praticamente constante e o volume aumenta.

Digitized by Google

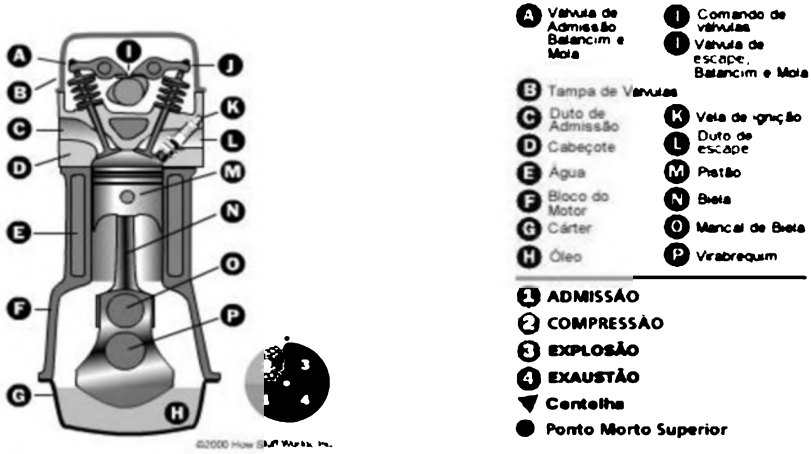
→ 2º Tempo – Compressão: A mistura aspirada é comprimida pelo pistão. O trabalho do pistão é convertido totalmente em energia interna da mescla dos fluidos que possuem a pressão e temperaturas elevadas. Essa condição produz uma compressão adiabática, pois o processo é muito rápido e praticamente não há trocas de calor. O volume diminui à medida que a pressão e a temperatura aumentam.

→ 3º Tempo – Combustão: A mistura se inflama quando uma centelha é solta pelo eletrodo da vela de ignição. Neste trecho ocorre a explosão e não há variação de volume, já que a reação química é muito rápida (não há consequentemente o movimento do pistão). Também ocorre um grande aumento da temperatura e pressão.

→ 4º Tempo – Escape (Exaustão): Os gases produzidos pela combustão da mistura saem do cilindro, empurrados pelo pistão para o coletor de escape. Com a abertura da válvula no motor ocorre a variação da pressão e da massa da mistura, não havendo assim tempo para a mudança de curso do pistão e, portanto, a não variação do volume. Essa descompressão é considerada isométrica[10].

A figura 2.1 demonstra as principais partes de uma máquina de combustão interna estimulada pela faísca de uma centelha quando se inflama a combinação ar/combustível.

Figura 2.1: Partes principais de uma máquina térmica à combustão interna



Fonte: BOSCH, 2005.

10. Processos termodinâmicos são determinados quando ocorrem alterações nas variáveis de estado (pressão, temperatura e volume). A partir dessas variações ocorrem transformações no estado do gás. Na transformação isométrica, o volume do gás continua constante (BOSCH, 2005).

Digitized by Google

O sistema de alimentação através dos seus componentes que atuam em conjunto, têm a função de fornecer combustível pressurizado de forma constante para a combustão no cilindro. Este processo ocorre a partir do tanque de combustível até a queima da mistura ar/combustível na câmara de combustão. Entre os principais componentes deste sistema, podemos citar o tanque, bomba e filtro de combustível, além do regulador de pressão e injetor de combustível (MILHOR, 2002).

No Brasil, o *"gasool" (mistura de gasolina e álcool anidro)*[11] e o álcool hidratado (96% etanol e 4% água) são os combustíveis mais utilizados nos veículos com motores do ciclo Otto. De acordo com Fronza (2006), a gasolina é a mistura de vários hidrocarbonetos e suas propriedades são ajustadas para fornecer as características operacionais desejadas, enquanto que o etanol (álcool etílico) é uma substância pura.

2.5 A indústria automotiva em números

A partir da execução do Plano Metas de Juscelino Kubitschek, presidente empossado em 31 de janeiro de 1956, deu-se o impulso à implantação definitiva da indústria automotiva no Brasil a partir da criação do Geia – Grupo Executivo da Indústria Automobilística. Em 28 de setembro de 1956, foi inaugurada, em São Bernardo do Campo, no ABC Paulista, a primeira fábrica de caminhões com motor nacional da Mercedes-Benz. O Brasil chegou ao final da década de 1960, com uma população de 65.755.000 habitantes e um total de 321.150 veículos produzidos em território nacional desde o início da implantação do parque industrial automotivo (SÃO PAULO, 2015).

A partir da crise do petróleo, na década de 1970, o Governo brasileiro criou o programa Proálcool, e o etanol passou a ser o principal biocombustível alternativo à gasolina C. Enquanto o governo promovia estudos econômicos para a produção do etanol em grande escala, oferecendo tecnologia e até mesmo subsídios às usinas produtoras de açúcar e álcool, as indústrias automobilísticas instaladas no Brasil na época – Volkswagen, Fiat, Ford e General Motors – adaptavam seus motores para a criação do motor dedicado a álcool como combustível. A partir desse período surgiriam duas versões de veículos no mercado: motor a álcool e motor a gasolina (MOTTA, 1987).

A década de 1990, com a abertura comercial, a partir do plano Collor,

11. Essas proporções são regulamentadas no Brasil por meio da legislação em vigor.

Digitized by Google

proporcionou a chegada de novas marcas e fábricas automotivas no Brasil. Isso foi possível pela intensa abertura às importações, combinadas com: valorização da taxa de câmbio, eliminação de controles administrativos, redução de tarifas, a possibilidade de financiar importações em melhores condições do que as vendas internas e os incentivos tributários oferecidos às indústrias com foco na descentralização geográfica. As políticas governamentais específicas, como os acordos setoriais e multilaterais de comércio também contribuíram para a elevação da demanda doméstica e a modernização industrial como um todo (SANTOS e PINHÃO, 1998).

Pode-se caracterizar a evolução recente desta indústria, nos principais mercados, pelo avanço da globalização, o acirramento da concorrência – aí incluída a intensificação da introdução de novas tecnologias – e pela diminuição dos diferenciais competitivos entre as montadoras mais importantes (ERBER, 2000). No cenário mundial, em 2005, a indústria automotiva movimentou cerca de 2,5 trilhões (o equivalente ao 6º maior PIB mundial) (OICA, 2015). No Brasil, os incentivos governamentais à indústria em questão aumentou sua participação no PIB nacional significativamente, passando de 12,5% em 2000 para 18,2% em 2011 (ANFAVEA, 2015). Na tabela 2.15, pode se verificar em números e evolução da indústria automotiva na década 2000 no país.

Tabela 2.15: Participação da produção de automóveis dentro do total de veículos montados no Brasil – 2000 a 2014.

Ano	Automóveis	Total	Participação
2000	1.298.437	1.605.848	80,86%
2001	1.384.368	1.674.522	82,67%
2002	1.376.219	1.633.790	84,23%
2003	1.428.270	1.684.715	84,78%
2004	1.777.642	2.124.177	83,69%
2005	1.979.545	2.357.172	83,98%
2006	2.027.305	2.403.680	84,34%
2007	2.360.739	2.825.276	83,56%
2008	2.498.482	3.050.631	81,90%
2009	2.568.167	3.076.000	83,49%
2010	2.682.924	3.382.143	79,33%
2011	2.629.785	3.416.674	76,97%
2012	2.763.445	3.402.963	81,21%
2013	2.954.279	3.712.736	79,57%
2014	2.502.293	3.146.386	79,53%

Fonte: ANFAVEA, 2015.

Digitized by Google

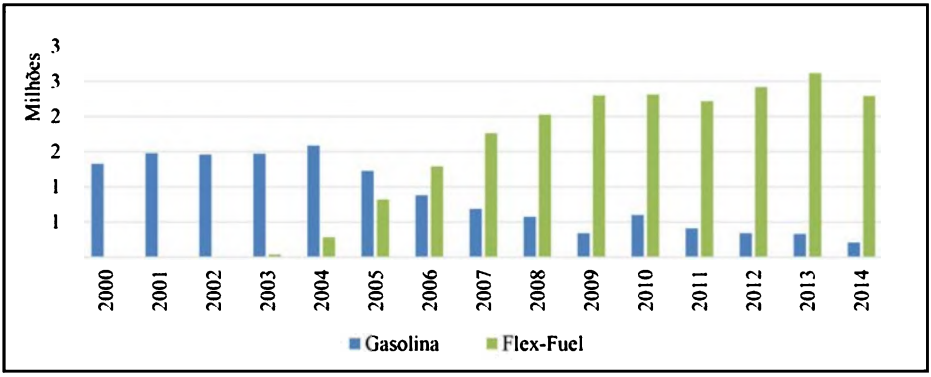
A indústria aumentou a produção de veículos montados no país em mais de 50% de 2000 a 2014. Ainda, a participação da produção do transporte individual (automóveis) sobre a produção total de veículos, representa mais de 80%. Em 2014, o país possuía 31 empresas automotivas com 64 unidades industriais (para a produção de veículos, máquinas agrícolas e rodoviárias, motores, componentes, peças e outros produtos). Suas fábricas estão sediadas em 10 estados (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, Bahia, Ceará e Amazonas), estando presente, portanto, em todas as regiões do país. (ANFAVEA, 2015).

O Brasil, de uma maneira geral, apresenta um grande mercado doméstico efetivo e potencial, completo parque industrial, sólida base de engenharia e uma rede de concessionárias com grande capilaridade nacional (GABRIEL *et al*, 2011).

Esta indústria possui importantes encadeamentos produtivos sobre outras atividades, como na extração e produção de borrachas, vidro e aço, proporcionando elevados ganhos em escala e em aglomerações. Além de estar constantemente em consolidação a partir de consolidações, fusões, joint ventures, parcerias comerciais das mais diversas naturezas e por meio do desenvolvimento de novas tecnologias. (GABRIEL *et al*, 2011).

Com a introdução da tecnologia *flex-fuel* no mercado de automóveis – lançado em março de 2003 pela Volkswagen do Brasil utilizando um sistema desenvolvido pela Bosch – é possível verificar o significativo crescimento da frota. Consequentemente, a demanda por veículos dedicados à gasolina C ou etanol hidratado, tiveram seus índices reduzidos consideravelmente (CARVALHO, 2005), como exposto no gráfico 2.12.

Gráfico 2.12: Produção de veículos por combustível no Brasil - 2000 a 2014.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de ANFAVEA, 2015.

Digitized by Google

A balança comercial da indústria – que registra as importações e exportações de bens e serviços entre países – apresentou períodos de superávit contínuos de 2002 a 2007, exportando mais que importando. Entretanto, o ano de 2008 iniciou o período de déficits, estendidos até o ano de 2013, onde os valores de importação superaram as exportações, em 20% em 2008 e alcançando 42% ao final de 2013. No saldo anual da balança comercial do total da indústria, é possível perceber considerável crescimento entre 2002 e 2003, com crescimento acima de 300%, e entre 2003 e 2004. Já no saldo acumulado da balança comercial do setor, sustentada pelos anos de significativo crescimento entre 2003 e 2007, a indústria apresentou saldo negativo apenas em 2013, consequência dos anos de modesto crescimento e dos sequenciais períodos de déficit iniciados em 2008, conforme demonstra-se na tabela 2.16.

Tabela 2.16: Balança comercial da Indústria Automotiva de 2000 a 2013 (milhões de US$).

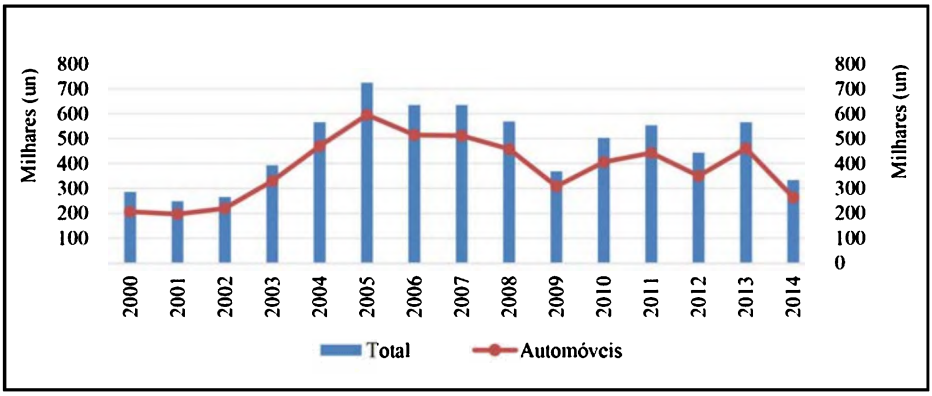
Período	Autoveículos		Total Indústria		Saldo	
	Importação	Exportação	Importação	Exportação	Anual	Acumulado
2000	3.764	3.488	4.215	3.953	-262	11.799
2001	3.717	3.614	4.199	4.132	-67	11.732
2002	2.910	3.379	3.483	3.959	476	12.208
2003	3.246	4.679	4.020	5.641	1.621	13.829
2004	3.653	6.655	4.750	8.383	3.633	17.462
2005	5.257	9.391	6.191	11.442	5.251	22.713
2006	6.126	10.268	7.150	12.308	5.158	27.871
2007	8.690	10.884	10.327	13.461	3.134	31.005
2008	13.754	10.964	16.372	14.012	-2.360	28.645
2009	11.270	7.050	12.459	8.318	-4.141	24.504
2010	16.268	10.530	18.247	12.843	-5.404	19.100
2011	20.656	12.971	24.301	16.230	-8.071	11.029
2012	20.647	11.717	23.942	14.600	-9.342	1.687
2013	22.556	13.008	26.076	16.561	-9.515	-7.828
Total	142.514	118.598	165.732	145.843	-19.889	225.756

Fonte: ANFAVEA, 2015.

O gráfico 2.13, demostra, em unidades, o movimento dos números das exportações de veículos montados no Brasil, evidenciando a expressiva representação dos automóveis (em mais de 90%) no total de veículos exportados.

Digitized by Google

Gráfico 2.13: Exportações de veículos montados no Brasil – 2000 a 2014



Fonte: Elaboração das autoras a partir de ANFAVEA, 2015.

Entre 2002 e 2005, as exportações de veículos cresceram aproximadamente 300%, saindo de 266 mil unidades para 724 mil. No entanto, a partir de 2006 estes valores começam a cair e em 2014 o total de veículos exportados eram menores do que os de 2003. Mesmo com a retração das exportações, o faturamento do setor demonstra crescimento, conforme tabela 2.17.

Tabela 2.17: Faturamento líquido da indústria automobilística brasileira (milhões de US$).

Período	Autoveículos	Máquinas agrícolas e rodoviárias	Total
2000	18.366	1.705	20.071
2001	16.029	1.683	17.711
2002	13.831	1.890	15.721
2003	15.698	2.388	18.086
2004	22.306	3.862	26.168
2005	30.663	3.519	34.182
2006	37.344	3.784	41.128
2007	52.316	5.884	58.201
2008	65.599	7.920	73.519
2009	62.366	5.953	68.319
2010	83.116	9.386	92.502
2011	93.566	11.835	105.401
2012	83.633	10.296	93.929
2013	87.294	11.587	98.881

Fonte: ANFAVEA, 2015.

Digitized by Google

Em 2002, registrando o pior número do período, o faturamento total da indústria era de 15.721 milhões de US$, enquanto que em 2011, novo patamar foi atingido com os valores em torno de 105 milhões de US$, valor sete vezes maior que o apresentado em 2002. O ritmo de crescimento, a partir de 2002, manteve-se estável, com crescimento oscilando em torno de 15% a 28% de 2000 a 2008, voltando a apresentar crescimento de 2009 a 2011. Entretanto, entre 2011 e 2012, o faturamento líquido total da indústria demonstrou ligeira queda em torno de 11%, por consequência da crise mundial iniciada em 2008. Os veículos representam em torno de 80% a 90% do faturamento total da indústria, sendo responsável diretamente pelas oscilações provocadas nos valores totais apresentados na tabela 2.17.

Já no setor de empregos, os trabalhadores em montadoras totalizavam 98.614 no ano 2000. O estoque de emprego neste segmento tem evoluído a taxas anuais significativas e acumula um crescimento de 35% no período de 2000 a 2012. Entretanto, entre 2008 e 2009, o setor apresentou redução dos postos de trabalho de 4,2%, voltando a apresentar crescimento de 2010 a 2012, conforme demonstra a tabela 2.18.

Tabela 2.18: Total de investimentos e empregos na indústria automobilística no Brasil – 2000 a 2012.

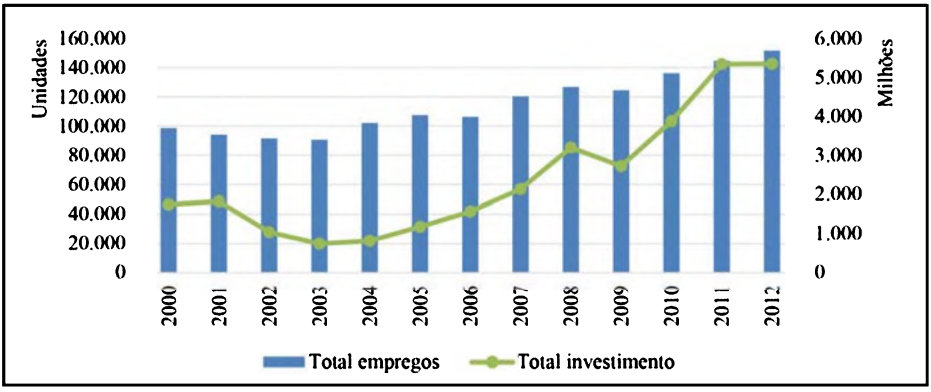
Período	Investimento (em milhões US$)			Emprego (em unidades)		
	Autoveículos	Máquinas agrícolas e rodoviárias	Total investimento	Autoveículos	Máquinas agrícolas e rodoviárias	Total emprego
2000	1.651	94	1.745	89.134	9.480	98.614
2001	1.750	75	1.825	84.834	9.221	94.055
2002	976	66	1.042	81.737	9.796	91.533
2003	673	75	748	79.047	11.650	90.697
2004	739	81	820	88.783	13.299	102.082
2005	1.050	130	1.180	94.206	13.202	107.408
2006	1.451	121	1.572	93.193	13.136	106.329
2007	1.965	171	2.136	104.274	16.064	120.338
2008	2.913	284	3.197	109.848	16.929	126.777
2009	2.518	203	2.721	109.043	15.435	124.478
2010	3.654	218	3.872	117.654	18.470	136.124
2011	4.971	368	5.339	124.647	19.987	144.634
2012	4.692	655	5.347	132.096	19.560	151.656

Fonte: ANFAVEA, 2015.

Digitized by Google

Os investimentos triplicaram na indústria automobilística de 2000 a 2012. Entretanto, entre 2001 e 2004, apresentou considerável redução de 55% no período. De 2008 a 2009 também apresentou ligeira redução. No balanço total do período, os investimentos passaram de 1.745 milhões de US$ em 2000 para 5.347 milhões de US$ em 2012, conforme dados da tabela 2.18. O comportamento das variáveis investimento/emprego pode ser observado no gráfico 2.14.

Gráfico 2.14: Comportamento dos investimento e empregos na indústria automobilística no Brasil – 2000 a 2012.



Fonte: ANFAVEA, 2015.

Já a produção global de veículos cresceu 3,6% em 2013. Foram 87,3 milhões de automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus produzidos em 39 países. Em volume, a elevação representou três milhões de unidades extras em comparação com o ano de 2013 de acordo com a Organização Internacional de Fabricantes de Veículos Automotores (OICA, 2015) e apresentados na tabela 2.19.

Digitized by Google

Tabela 2.19: Produção mundial de veículos automotores em 2014 (em unidades)

País	Automóveis	Veículos comerciais	Total
China	19.919.795	3.803.095	23.722.890
Japão	8.277.070	1.497.488	9.774.558
Alemanha	5.604.026	303.522	5.907.548
EUA	4.253.098	7.407.601	11.660.699
Coréia do Sul	4.124.116	400.816	4.524.932
Índia	3.158.215	681.945	3.840.160
Brasil	2.314.789	831.329	3.146.118
México	1.915.709	1.449.597	3.365.306
Espanha	1.898.342	504.636	2.402.978
Rússia	1.683.677	202.969	1.886.646

Fonte: *Organization Internationale des Constructeurs d' Automobiles*, 2015.

O Brasil está colocado na oitava posição dentro do ranking mundial de produção total, com 3 milhões 146 mil veículos fabricados. O país superou a Espanha e a Rússia quando os valores totais de produção são comparados. Entretanto, na comparação apenas para os automóveis, o país encontra-se na sétima posição, com 2 milhões, 314 mil automóveis produzidos, superando além da Espanha e Rússia, também o México. A China liderou com extrema folga o ranking global de produção com 23 milhões e 722 mil veículos produzidos (OICA, 2015), conforme exposto na tabela 2.19.

Digitized by Google

3. METODOLOGIA

3.1 Métodos

Para avaliar o quantitativo monetário gerado pela emissão de gases atmosféricos resultantes do uso de gasolina C e etanol hidratado, buscar-se-á com este tópico expor os métodos e a metodologia da base de dados adotada para a elaboração dos resultados de monetização dos poluentes selecionados (monóxido de carbono, material particulado, hidrocarbonetos e óxido de nitrogênio) para o período de 2000 a 2009.

Neste item serão abordados os métodos utilizados para a realização desta pesquisa, a saber:

Exploratório: Por ser necessário ter uma visão panorâmica e abrangente do problema sobre a emissão de gases poluentes de veículos do ciclo Otto, ao mesmo tempo, expor dados técnicos e especificidades sobre as variáveis descritas.

Descritivo: Por estabelecer relações entre as diversas variáveis técnicas, econômicas, sociais e ambientais. Este tipo de pesquisa visa identificar estruturas, formas, funções e contextos.

Explicativo: Busca mostrar os fatos contributivos para se apontar a causa das emissões de gases poluentes, tendo como principal meta esclarecer e servir como ferramenta para direcionar setores interessados nas políticas de redução de emissões.

Quantitativo: Objetivou-se expor os cálculos realizados e os valores totais monetários das emissões de gases atmosféricos emitidos por veículos do ciclo Otto no Brasil, de 2000 a 2009, utilizando o cruzamento de variáveis disponibilizadas por órgãos oficiais em estudos que utilizam mesma base metodológica.

Também utilizou-se neste trabalho, pesquisa bibliográfica e documental. Com base no relato acima, é possível observar que este trabalho segue uma natureza aplicada, pois se propõe apontar o quantitativo monetário das emissões dos principais gases poluentes emitidos por veículos do ciclo Otto.

Digitized by Google

Os procedimentos de coleta de dados utilizados, tanto para dados qualitativos, quanto para os quantitativos foram do tipo secundário em sua maioria, no entanto, não se isentou do uso de alguns valores do tipo primário.

3.2 Metodologia

Os resultados monetizados da avaliação de externalidades podem ser comparados aos dos impactos causados pelas ações antrópicas, obtidos na forma de índice de minimização das incertezas ao processo de valoração de conflitos socioambientais. A estimação do total de poluentes emitidos no período proposto por este estudo e a transformação em termos monetários ocorreu a partir do encadeamento de dois conjuntos de dados: 1) – por meio da frota total de veículos em circulação e sua respectiva intensidade de uso através de metodologia adotada em MMA (2011) e os fatores de emissão dos poluentes através de metodologia da CETESB (2010); 2) – utilização dos valores monetários de referência para os cálculos de monetização dos poluentes criados e desenvolvidos por IPEA e ANTP (1999) e atualizados por LASCALA (2011), conforme apresenta a figura 3.1.

Figura 3.1: Esquema de construção do método no modelo da pesquisa.

Monetização de gases poluentes selecionados de 2000 a 2009	Total de emissões de gases poluentes selecionados	1. Frota de Veículos 2. Intensidade de Uso 3. Fatores de Emissão	Fontes: MMA, 2011 CETESB, 2010
	Valores monetários de referência	Fontes: IPEA e ANTP, 1999 LASCALA, 2011.	

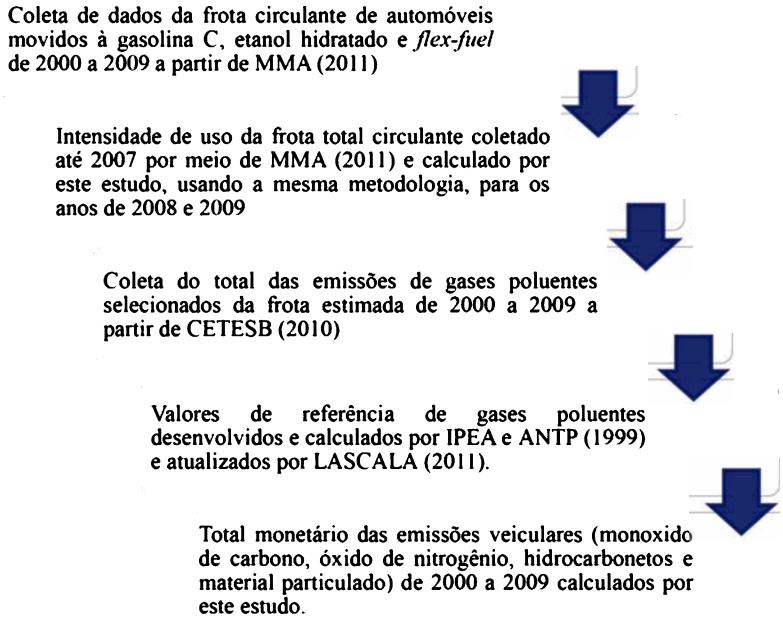
Fonte: Elaboração das autoras.

Os dados de emissões veiculares de poluentes foram coletados dos cálculos realizados por CETESB (2010) segundo o modelo do veículo, o ano de fabricação, a potência do motor, o tipo e incidência de

Digitized by Google

manutenção, as condições de utilização, a quantidade de quilômetros percorridos, dentre outras questões. Os inventários de emissões de poluentes atmosféricos são instrumentos estratégicos de gestão ambiental que estimam as emissões por fonte de poluição especificadas, numa dada área geográfica e num determinado período de tempo, permitindo orientar medidas mais eficientes de intervenção. Neste trabalho, foram consideradas as emissões atmosféricas de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e material particulado por automóveis com motor do ciclo Otto em todo território nacional, não havendo desagregação por unidades da Federação ou regiões metropolitanas. Os procedimentos adotados para a construção do modelo de pesquisa estão relacionados na figura 3.2.

Figura 3.2: Procedimentos adotados para estimar os valores monetários de emissões de gases atmosféricos.



Fonte: Elaboração das autoras.

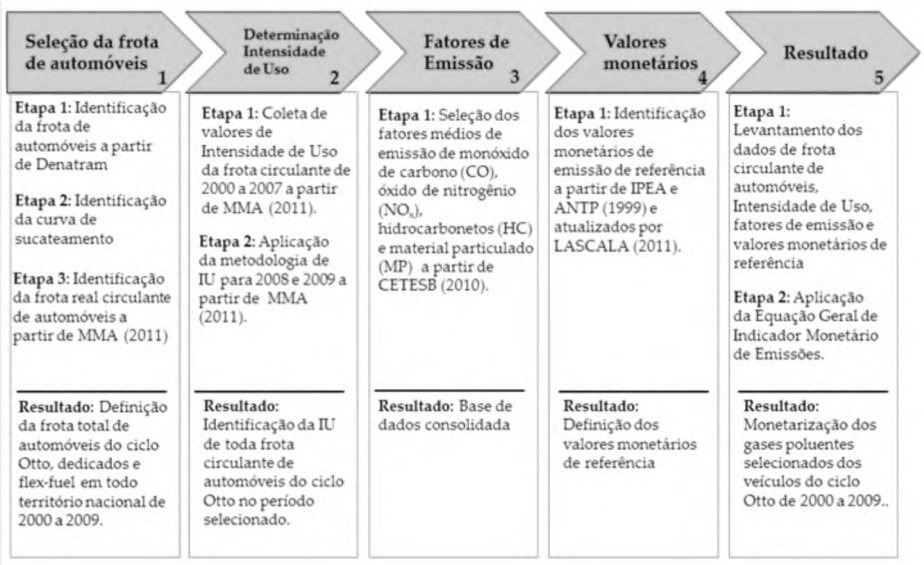
O estudo teve como fator limitante a falta de dados oficiais contínuos disponíveis para a construção da base de dados completa. Portanto, para obter um corte temporal mais adequado, estendeu-se a mesma me-

Digitized by Google

todologia adotada na variável intensidade de uso para o mesmo período considerado da frota estimada e os fatores de emissão. Para identificar o total das emissões de cada ano e do final do período, o procedimento adotado para a pesquisa considerou a frota nacional circulante, a intensidade de uso e os fatores de emissão de 2000 a 2009, pela frota em questão, multiplicados entre si. O resultado foi multiplicado novamente pelos valores monetários de referência de cada poluente para cada ano e combustível. Logo após, apresentou-se os resultados.

A figura 3.3 apresenta as etapas das atividades realizadas para o cumprimento pesquisa.

Figura 3.3: Cronogramas das etapas das atividades.



Fonte: Elaboração das autoras.

No cronograma das atividades realizadas, é possível verificar os resultados obtidos após os procedimentos realizados nas etapas listadas na figura 3.3. A primeira etapa das atividades consistiu em identificar a real frota de veículos do ciclo Otto no Brasil de 2000 a 2009. Na segunda etapa foi possível levantar a respectiva intensidade de uso da frota estimada, seguido dos fatores médios de emissões, levantados por CESTB (2010). Na quarta etapa considerou-se os valores monetários de referência e no quinta, foi possível identificar os resultados desejados.

Digitized by Google

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Construção da representação matemática dos indicadores de monetização de emissões (IME)

Para realizar os cálculos de monetização, levou-se em consideração as seguintes variáveis:

Tabela 4.1: Proposta de Indicadores de Monetização de Emissões.

Indicador	Representação	Definição
Frota de veículos	IME_{Frota}	Frota total de automóveis do ciclo Otto, dedicados ou de tecnologia *flex-fuel*, movidos à gasolina C e etanol hidratado
Intensidade de Uso	IME_{Uso}	Intensidade de uso da frota total
Fatores de emissão	$IME_{Fatores}$	Fatores de emissão de gases poluentes
Valores de referência	$IME_{Valores}$	Valores monetários de referência

Fonte: Elaboração das autoras.

4.1.1 Frota de veículos (*Fr*)

A frota de veículos referente ao período de 2000 a 2009 foi coletada de MMA (2011). E conforme exposto no referencial teórico, para a estimação da frota, MMA (2011) desenvolveu e utilizou-se da equação 07.

$$Fr_{ano-calendário\ i,ano-modelo\ k} = V_{ano-modelo\ j} \times (1 - S_{ano-calendário\ i,ano-modelo\ k}) \qquad (02)$$

Onde:

$Fr_{ano-calendário\ i,ano-modelo\ k}$	Frota circulante do ano-modelo *k* no ano-calendário *i*;
$V_{ano-modelo\ k}$	Número de veículos do ano-modelo *j* que entraram em circulação no ano-calendário *i*;
$S_{ano-calendário\ i,ano-modelo\ k}$	Fração de veículos do ano-modelo *k* já sucateados e que, portanto, não circulam no ano-calendário *i*.

Digitized by Google

Para a construção deste indicador, MMA (2011) utilizou a frota já circulante do calendário *i* no ano-modelo *k* no ano-calendário *i*, a quantidade de veículos novos vendidos no ano-calendário *k* através de publicações dos anuários informativos da ANFAVEA. O resultado é subtraído da fração de veículos sucateados que, portanto, não circulam mais, conforme taxa de sucateamento apresentado no referencial teórico.

4.1.2 Intensidade de uso (*Iu*)

Os valores de Intensidade de Uso de referência dos anos 2000 a 2007 foram coletados a partir de MMA (2011). Para estender o corte temporal da pesquisa e alinhar aos valores de frota de veículos e fatores de emissão, este trabalho buscou aplicar a mesma metodologia para encontrar os valores de Intensidade de Uso referentes a 2008 e 2009, conforme apresenta a equação 08, desenvolvida por MMA (2011). Após a identificação dos valores das variáveis que compõe a equação, esta foi transformada e multiplicada por 1.000 (com o objetivo de expressar os valores em km), conforme se demonstra na equação 09.

$$C_{i,estimado} = Fr_i \times lu_{i,referência} \div Ql_i \qquad (03)$$

$$I_U = \frac{Fr_i \times lu_{i,referência} \div Ql_i}{C_{i,estimado}} \times 1000 \qquad (07)$$

Onde:

I_U	Intensidade de Uso de referência
$C_{i,estimado}$	Consumo anual de combustível do veículo do tipo *i* (l/ano). Coletado do BEN (2010) para 2008 e 2009.
$Fr_{i,estimado}$	Frota em circulação no ano do veículo do tipo *i* (nº de veículos) coletado de MMA (2011).
$lu_{i,referência}$	Intensidade de uso de referência do veículo tipo *i*, expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano) coletado de MMA (2011).
Ql_i	Quilometragem por litro de combustível do veículo do tipo *i* (km/l).

Os valores correspondentes às variáveis apresentadas são listados na tabela 4.2. Na tabela 4.3, apresentou-as as equações formadas após as substituições efetuadas. Para a demonstração correta dos cálculos e posterior utilização desta metodologia ou resultados em trabalhos subsequentes, optou-se pela exposição detalhada dos procedimentos adotados, conforme se apresenta.

Digitized by Google

Tabela 4.2: Valores utilizados para a estimação de Intensidade de Uso para os anos de 2008 e 2009.

Variáveis	Período		Valores
$C_{i,estimado}$	2008	Gasolina C	$12679 \times 10^3\ m^3$
		Etanol anidro e hidratado	$6742 \times 10^3\ m^3$
		Flex-Fuel etanol	$11796 \times 10^3\ m^3$
		Flex-Fuel gasolina C	$2718 \times 10^3\ m^3$
	2009	Gasolina C	$11366 \times 10^3\ m^3$
		Etanol anidro e hidratado	$5740 \times 10^3\ m^3$
		Flex-Fuel etanol	$14095 \times 10^3\ m^3$
		Flex-Fuel gasolina C	$3982 \times 10^3\ m^3$
$Fr_{i,estimado}$	2008	Gasolina C	13.462.424 un.
		Etanol Hidratado	1.533.926 un.
		Flex-Fuel	6.143.193 un.
	2009	Gasolina C	12.824.412 un.
		Etanol Hidratado	1.386.679 un.
		Flex-Fuel	8.325.421 un.
$lu_{i,referência}$	Média aritmética para 2008 e 2009		16.091 km/ano
Ql_i	Média aritmética para 2008 e 2009		10 l/km

Fonte: Elaboração das autoras a partir de BEN (2010) e MMA (2011).

Tabela 4.3: Equações utilizadas para a determinação de parâmetros de Intensidade de Uso para 2008 e 2009.

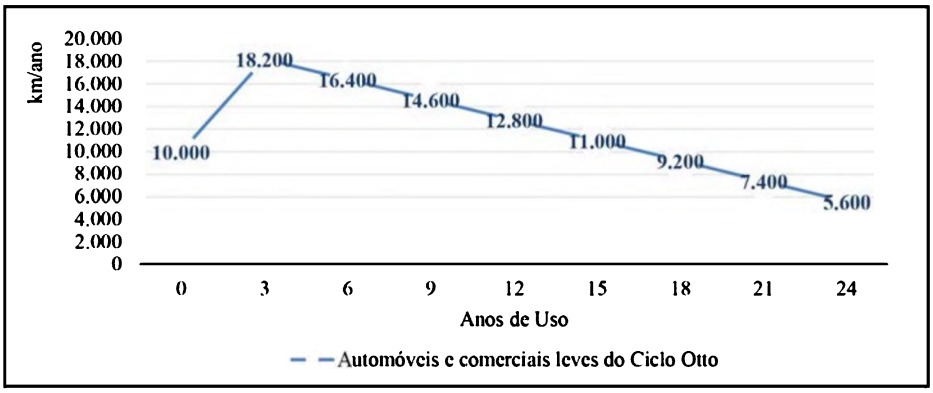
Intensidade de uso da frota movida à gasolina C - 2008	$I_U = \frac{13.462.424 \times 16.091 \div 10}{12679000\ 10^3} \times 1000 = 1.70\ km$	(08)
Intensidade de uso da frota movida à gasolina C - 2009	$I_U = \frac{12.824.412 \times 16.091 \div 10}{11366000\ 10^3} \times 1000 = 1.81\ km$	(09)
Intensidade de uso da frota movida à etanol hidratado - 2008	$I_U = \frac{1.533.926 \times 16.091 \div 10}{6742000\ 10^3} \times 1000 = 0.36\ km$	(10)
Intensidade de uso da frota movida à etanol hidratado - 2009	$I_U = \frac{1.386.679 \times 16.091 \div 10}{5740000\ 10^3} \times 1000 = 0.38\ km$	(11)
Intensidade de uso da frota *flex-fuel* movida à etanol hidratado - 2008	$I_U = \frac{1.386.679 \times 16.091 \div 10}{11796000\ 10^3} \times 1000 = 0.18\ km$	(12)
Intensidade de uso da frota *flex-fuel* movida à etanol hidratado - 2009	$I_U = \frac{1.386.679 \times 16.091 \div 10}{14095000\ 10^3} \times 1000 = 0.15\ km$	(13)
Intensidade de uso da frota *flex-fuel* movida à gasolina C - 2008	$I_U = \frac{1.386.679 \times 16.091 \div 10}{2718000\ 10^3} \times 1000 = 0.82\ km$	(14)
Intensidade de uso da frota *flex-fuel* movida à gasolina C - 2009	$I_U = \frac{1.386.679 \times 16.091 \div 10}{3982000\ 10^3} \times 1000 = 0.56\ km$	(15)

Fonte: Elaboração das autoras a partir de BEN (2010) e MMA (2011).

Após a identificação dos resultados referente ao período de 2008 e 2009, somou-se aos resultados encontrados em MMA (2011) de 2000 a 2007, multiplicou-se por 8.760 dias (o equivalente há 24 anos, de acordo com a curva de sucateamento), conforme demonstra o gráfico 4.1.

Digitized by Google

Gráfico 4.1: Curva de Intensidade de Uso de automóveis do ciclo Otto de 2000 a 2009.



Fonte: Elaboração das autoras a partir de BEN (2010) e MMA (2011).

O gráfico 4.1 demonstra o comportamento da curva de Intensidade de Uso a partir de valores de MMA (2011) e BEN (2010). Conforme citado no referencial teórico, o tempo de uso do veículo tem influência direta nas emissões de gases poluentes. Veículos mais novos são utilizados com mais intensidade, o que também pode ser afirmado em situação inversa. O fator determinante para estimar seu caráter poluente, a partir da demonstração da queda de sua intensidade de uso com o avanço do tempo de uso, deve basear-se na frequência de manutenção, estado de conservação e formas adequadas de direção. Para os veículos com tecnologia *flex-fuel*, também deve ser considerada a proporção destes veículos que se utilizam de gasolina C ou etanol hidratado, tendo em vista que as emissões variam de acordo com o combustível utilizado, conforme exposto em MMA (2011).

4.1.3 Fatores de emissão (*Fe*)

A tabela 4.4.apresenta os valores estimados médios de emissão de automóveis do ciclo Otto dedicados à gasolina C, etanol hidratado ou de tecnologia *flex-fuel*. Os veículos dedicados a etanol hidratado apresentam um alto fator de emissão de monóxido de carbono (cerca de 20 vezes mais que os veículos de tecnologia *flex-fuel*), pois em geral são veículos mais antigos, tendo em vista que deixaram de ser fabricados em 2007. Os valores de emissão de material particulado no uso de etanol hidratado não são considerados por apresentarem grandezas insignificantes (MMA, 2011).

Digitized by Google

Tabela 4.4: Fatores de emissão de escapamento para automóveis movidos à gasolina C, etanol hidratado e com tecnologia *flex-fuel*, em g/km, de 2000 a 2009.

Ano-modelo	Combustível	CO	NO_x	HC	MP
2000	Gasolina C	0,73	0,21	0,098	0,0011
	Etanol hidratado	0,63	0,21	0,132	-
2001	Gasolina C	0,48	0,14	0,083	0,0011
	Etanol hidratado	0,66	0,08	0,11	-
2002	Gasolina C	0,43	0,12	0,083	0,0011
	Etanol hidratado	0,74	0,08	0,117	-
2003	Gasolina C	0,4	0,12	0,083	0,0011
	Etanol hidratado	0,77	0,09	0,117	-
	Flex gasolina C	0,5	0,04	0,038	0,0011
	Flex etanol hidratado	0,51	0,14	0,11	-
2004	Gasolina C	0,35	0,09	0,083	0,0011
	Etanol hidratado	0,82	0,08	0,125	-
	Flex gasolina C	0,39	0,05	0,06	0,0011
	Flex etanol hidratado	0,46	0,14	0,103	-
2005	Gasolina C	0,34	0,09	0,075	0,0011
	Etanol hidratado	0,82	0,08	0,125	-
	Flex gasolina C	0,45	0,05	0,083	0,0011
	Flex etanol hidratado	0,39	0,1	0,103	-
2006	Gasolina C	0,33	0,08	0,06	0,0011
	Etanol hidratado	0,67	0,05	0,088	-
	Flex gasolina C	0,48	0,05	0,075	0,0011
	Flex etanol hidratado	0,47	0,07	0,081	-
2007	Gasolina C	0,33	0,08	0,06	0,0011
	Etanol hidratado	0,67	0,05	0,088	-
	Flex gasolina C	0,48	0,05	0,075	0,0011
	Flex etanol hidratado	0,47	0,07	0,081	-
2008	Gasolina C	0,37	0,039	0,042	0,0011
	Etanol hidratado	0,67	0,05	0,088	-
	Flex gasolina C	0,51	0,041	0,069	0,0011
	Flex etanol hidratado	0,71	0,048	0,052	-
2009	Gasolina C	0,3	0,02	0,034	0,0011
	Flex gasolina C	0,33	0,03	0,032	0,0011
	Flex etanol hidratado	0,56	0,032	0,03	-

Fonte: CETESB, 2010.

4.1.4 Valores monetários de referência (*Vm*)

Os valores monetários de referência multiplicados pelas emissões dos gases selecionados foram desenvolvidos por IPEA e ANTP (1999) e atualizados por LASCALA (2011), conforme metodologia descrita na seção 2.1.4 do capítulo 2 deste trabalho, e são apresentados na tabela 4.5.

Digitized by Google

Tabela 4.5: Valores monetários de referência de gases poluentes.

CO	HC	NO_x	MP
R$ 378,56 t/ano	R$ 2.271,40 t/ano	R$ 2.231,54 t/ano	R$ 1.813,13 t/ano

Fonte LASCALA, 2011.

4.1.5 Equação geral do Indicador Monetário de Emissões

Para a determinação dos valores monetários das emissões de gases poluentes a partir de automóveis do ciclo Otto de 2000 a 2009, foi necessário a construção de uma equação geral contendo as variáveis e equações descritas nos tópicos anteriores. Na equação 18, apresenta-se a equação geral expandida, contendo todas as equações secundárias utilizadas anteriormente. Para fins de simplificação, adotar-se-á a equação 19, que substitui as equações secundárias pela nomenclatura das variáveis consideradas.

$$IME = \{[V_{ano-modelo\,k} \times (1 - S_{ano-calendário\,i,ano-modelo\,k})] \times (Fr_i \times Iu_{i,referência} \div Ql_i) \times (Fe_{referência})\} \times (Vm_{referência}) \quad (16)$$

$$IME = (Fr \times Iu \times Fe) \times Vm \quad (17)$$

A partir da construção da equação geral, adotar-se-á os valores de referência de cada um dos poluentes que se deseja valorar, a partir da subdivisão das variáveis de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e material particulado, conforme apresenta a tabela 4.6.

Tabela 4.6: Equações de estimação dos Indicadores de Monetização de Emissões de CO, NO_x, HC E MP.

IME (Monóxido de carbono)	$IME_{co} = (Fr \times Iu \times Fe) \times Vm_{CO}$	(18)
IME (Óxido de Nitrogênio)	$IME_{NOx} = (Fr \times Iu \times Fe) \times Vm_{NOx}$	(19)
IME (Hidrocarbonetos)	$IME_{HC} = (Fr \times Iu \times Fe) \times Vm_{HC}$	(20)
IME (Material Particulado)	$IME_{MP} = (Fr \times Iu \times Fe) \times Vm_{MP}$	(21)

Fonte: Elaboração das autoras.

A tabela 4.7 apresenta os valores monetários das emissões de monóxido de carbono no período de 2000 a 2009, considerando o preço por tonelada de R$ 378,56, segundo LASCALA (2011). Apresentou-se

Digitized by Google

as equações, os quantitativos totais de emissão, os valores unitários por tonelada e o montante monetário encontrado para as emissões a partir do uso de gasolina C e etanol hidratado, conforme se apresenta.

Tabela 4.7: Emissões de monóxido de carbono (CO) por veículos do ciclo Otto movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009.

Período	Equação de Emissão Gasolina C	Total de emissões (R$)	Equação de Emissão Etanol hidratado	Total de emissões (R$)
2000	IME_{co} = (1.374.125) × 378,56	520.188.760,00	IME_{co} = (599.607) × 378,56	226.987.225,92
2001	IME_{co} = (1.156.046) × 378,56	437.632.773,76	IME_{co} = (502.031) × 378,56	190.048.855,36
2002	IME_{co} = (947.041) × 378,56	358.511.840,96	IME_{co} = (653.362) × 378,56	247.336.718,72
2003	IME_{co} = (864.982) × 378,56	327.447.585,92	IME_{co} = (530.828) × 378,56	200.950.247,68
2004	IME_{co} = (781.325) × 378,56	295.778.392,00	IME_{co} = (547.645) × 378,56	207.316.491,20
2005	IME_{co} = (687.074) × 378,56	260.098.733,44	IME_{co} = (476.143) × 378,56	180.248.694,08
2006	IME_{co} = (598.504) × 378,56	226.569.674,24	IME_{co} = (382.057) × 378,56	144.631.497,92
2007	IME_{co} = (561.936) × 378,56	212.726.492,16	IME_{co} = (561.936) × 378,56	98.801.888,64
2008	IME_{co} = (500.128) × 378,56	189.328.455,68	IME_{co} = (260.994) × 378,56	83.936.216,00
2009	IME_{co} = (429.662) × 378,56	162.652.846,72	IME_{co} = (221.725) × 378,56	62.395.394,88

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

A tabela 4.8 demonstra as emissões de monóxido de carbono por veículos do ciclo Otto com tecnologia *flex-fuel* movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2003 a 2009. O crescimento que observa-se nos valores monetários é atribuído à progressiva substituição da frota de veículos dedicados à etanol hidratado e gasolina C a partir da introdução, em 2003, desta nova tecnologia no mercado brasileiro.

Tabela 4.8: Emissões de monóxido de carbono (CO) por veículos do ciclo Otto com tecnologia *flex-fuel* movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2003 a 2009.

Período	Equação de Emissão Gasolina C	Total de emissões (R$)	Equação de Emissão Etanol hidratado	Total de emissões (R$)
2003	IME_{co} = (138) × 378,56	52.241,28	IME_{co} = (108) × 378,56	40.884,48
2004	IME_{co} = (649) × 378,56	245.685,44	IME_{co} = (2.107) × 378,56	797.625,92
2005	IME_{co} = (2.897) × 378,56	1.096.688,32	IME_{co} = (7.288) × 378,56	2.758.945,28
2006	IME_{co} = (11.692) × 378,56	4.426.123,52	IME_{co} = (9.946) × 378,56	3.765.157,76
2007	IME_{co} = (15.893) × 378,56	6.016.454,08	IME_{co} = (29.706) × 378,56	11.245.503,36
2008	IME_{co} = (25.343) × 378,56	9.593.846,08	IME_{co} = (56.417) × 378,56	21.357.219,52
2009	IME_{co} = (37.484) × 378,56	14.189.943,04	IME_{co} = (71.882) × 378,56	27.211.649,92

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

Digitized by Google

As emissões de óxido de nitrogênio por veículos dedicados à gasolina C e etanol hidratado são demonstradas na tabela 4.9. O preço por tonelada, conforme LASCALA (2011) é R$ 2.231,54.

Tabela 4.9: Emissões de óxido de nitrogênio (NOx) por veículos do ciclo Otto movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009.

Período	Equação de Emissão Gasolina C	Total de emissões (R$)	Equação de Emissão Etanol hidratado	Total de emissões (R$)
2000	$IME_{NOx} = (125.754) \times 2.231,54$	280.625.081,16	$IME_{NOx} = (46.583) \times 2.231,54$	103.951.827,82
2001	$IME_{NOx} = (112.873) \times 2.231,54$	251.880.614,42	$IME_{NOx} = (39.290) \times 2.231,54$	87.677.206,60
2002	$IME_{NOx} = (97.910) \times 2.231,54$	218.490.081,40	$IME_{NOx} = (51.513) \times 2.231,54$	114.953.320,02
2003	$IME_{NOx} = (94.277) \times 2.231,54$	210.382.896,58	$IME_{NOx} = (42.178) \times 2.231,54$	94.121.894,12
2004	$IME_{NOx} = (89.292) \times 2.231,54$	199.258.669,68	$IME_{NOx} = (43.861) \times 2.231,54$	97.877.575,94
2005	$IME_{NOx} = (81.737) \times 2.231,54$	182.399.384,98	$IME_{NOx} = (38.443) \times 2.231,54$	85.787.092,22
2006	$IME_{NOx} = (73.616) \times 2.231,54$	164.277.048,64	$IME_{NOx} = (31.097) \times 2.231,54$	69.394.199,38
2007	$IME_{NOx} = (71.055) \times 2.231,54$	158.562.074,70	$IME_{NOx} = (21.419) \times 2.231,54$	47.797.355,26
2008	$IME_{NOx} = (64.704) \times 2.231,54$	144.389.564,16	$IME_{NOx} = (18.356) \times 2.231,54$	40.962.148,24
2009	$IME_{NOx} = (56.582) \times 2.231,54$	126.264.996,28	$IME_{NOx} = (13.775) \times 2.231,54$	30.739.463,50

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

Já a Tabela 4.10 apresenta as emissões de óxido de nitrogênio por veículos do ciclo Otto com tecnologia *flex-fuel* de 2003 a 2009 que utilizaram a gasolina C e etanol hidratado.

Tabela 4.10: Emissões de óxido de nitrogênio (NOx) por veículos do ciclo Otto com tecnologia *flex-fuel* movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009.

Período	Equação de Emissão Gasolina C	Total de emissões (R$)	Equação de Emissão Etanol hidratado	Total de emissões (R$)
2003	$IME_{NOx} = (11) \times 2.231,54$	24.546,94	$IME_{NOx} = (28) \times 2.231,54$	62.483,12
2004	$IME_{NOx} = (75) \times 2.231,54$	167.365,50	$IME_{NOx} = (569) \times 2.231,54$	1.269.746,26
2005	$IME_{NOx} = 334) \times 2.231,54$	745.334,36	$IME_{NOx} = (1.760) \times 2.231,54$	3.927.510,40
2006	$IME_{NOx} = (1.291) \times 2.231,54$	2.880.918,14	$IME_{NOx} = (1.884) \times 2.231,54$	4.204.221,36
2007	$IME_{NOx} = (1.720) \times 2.231,54$	3.838.248,80	$IME_{NOx} = (4.775) \times 2.231,54$	10.655.603,50
2008	$IME_{NOx} = (2.617) \times 2.231,54$	5.839.940,18	$IME_{NOx} = (7.349) \times 2.231,54$	16.399.587,46
2009	$IME_{NOx} = (3.763) \times 2.231,54$	8.397.285,02	$IME_{NOx} = (7.772) \times 2.231,54$	17.343.528,88

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

As emissões de hidrocarbonetos, que possuem custo por tonelada de R$ 2.271,40, são apresentados na tabela 4.11.

Digitized by Google

Tabela 4.11: Emissões de hidrocarbonetos (HC) por veículos do ciclo Otto movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009.

Período	Equação de Emissão Gasolina C	Total de emissões (R$)	Equação de Emissão Etanol hidratado	Total de emissões (R$)
2000	$IME_{HC} = (186.793) \times 2.271,40$	285.637.635,60	$IME_{HC} = (186.793) \times 2.271,40$	105.808.626,20
2001	$IME_{HC} = (157.752) \times 2.271,40$	256.379.732,20	$IME_{HC} = (77.992) \times 2.271,40$	89.243.306,00
2002	$IME_{HC} = (130.383) \times 2.271,40$	222.392.774,00	$IME_{HC} = (101.122) \times 2.271,40$	117.006.628,20
2003	$IME_{HC} = (120.051) \times 2.271,40$	214.140.777,80	$IME_{HC} = (82.547) \times 2.271,40$	95.803.109,20
2004	$IME_{HC} = (109.658) \times 2.271,40$	202.817.848,80	$IME_{HC} = (85.281) \times 2.271,40$	99.625.875,40
2005	$IME_{HC} = (97.601) \times 2.271,40$	185.657.421,80	$IME_{HC} = (74.465) \times 2.271,40$	87.319.430,20
2006	$IME_{HC} = (85.643) \times 2.271,40$	167.211.382,40	$IME_{HC} = (60.024) \times 2.271,40$	70.633.725,80
2007	$IME_{HC} = (80.450) \times 2.271,40$	161.394.327,00	$IME_{HC} = (41.302) \times 2.271,40$	48.651.116,60
2008	$IME_{HC} = (71.775) \times 2.271,40$	146.968.665,60	$IME_{HC} = (35.198) \times 2.271,40$	41.693.818,40
2009	$IME_{HC} = (61.909) \times 2.271,40$	128.520.354,80	$IME_{HC} = (26.343) \times 2.271,40$	31.288.535,00

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

Na tabela 4.12 são apresentadas as emissões de hidrocarbonetos de veículos com tecnologia *flex-fuel* movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2003 a 2009. Conforme já observado, o crescimento dos valores apresentados é atribuído à substituição da frota de veículos dedicados por veículos de tecnologia *flex-fuel*.

Tabela 4.12: Emissões de hidrocarbonetos (HC) por veículos do ciclo Otto com tecnologia *flex-fuel* movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009.

Período	Equação de Emissão Gasolina C	Total de emissões (R$)	Equação de Emissão Etanol hidratado	Total de emissões (R$)
2003	$IME_{HC} = (28) \times 2.271,40$	24.985,40	$IME_{HC} = (48) \times 2.271,40$	63.599,20
2004	$IME_{HC} = (176) \times 2.271,40$	170.355,00	$IME_{HC} = (934) \times 2.271,40$	1.292.426,60
2005	$IME_{HC} = (832) \times 2.271,40$	758.647,60	$IME_{HC} = (3.331) \times 2.271,40$	3.997.664,00
2006	$IME_{HC} = (3.210) \times 2.271,40$	2.932.377,40	$IME_{HC} = (4.137) \times 2.271,40$	4.279.317,60
2007	$IME_{HC} = (4.136) \times 2.271,40$	3.906.808,00	$IME_{HC} = (11.501) \times 2.271,40$	10.845.935,00
2008	$IME_{HC} = (6.011) \times 2.271,40$	5.944.253,80	$IME_{HC} = (18.161) \times 2.271,40$	16.692.518,60
2009	$IME_{HC} = (8.138) \times 2.271,40$	8.547.278,20	$IME_{HC} = (19.715) \times 2.271,40$	17.653.320,80

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

As emissões de material particulado de 2000 a 2009 apresenta-se na tabela 4.13.

Digitized by Google

Tabela 4.13: Emissões de material particulado (MP) por veículos do ciclo Otto dedicados e com tecnologia *flex-fuel* movidos à gasolina C de 2000 a 2009.

Período	Equação de Emissão Gasolina C	Total de emissões (R$)	Equação de Emissão Etanol hidratado	Total de emissões (R$)
2000	IME_{MP} = (389) × 1.813,13	705.307,57	IME_{MP} = (0) × 1.813,13	-
2001	IME_{MP} = (365) × 1.813,13	661.792,45	IME_{MP} = (0) × 1.813,13	-
2002	IME_{MP} = (333) × 1.813,13	603.772,29	IME_{MP} = (0) × 1.813,13	-
2003	IME_{MP} = (337) × 1.813,13	611.024,81	IME_{MP} = (0) × 1.813,13	-
2004	IME_{MP} = (334) × 1.813,13	605.585,42	IME_{MP} = (2) × 1.813,13	3.626,26
2005	IME_{MP} = (318) × 1.813,13	576.575,34	IME_{MP} = (6) × 1.813,13	10.878,78
2006	IME_{MP} = (293) × 1.813,13	531.247,09	IME_{MP} = (24) × 1.813,13	43.515,12
2007	IME_{MP} = (287) × 1.813,13	520.368,31	IME_{MP} = (31) × 1.813,13	56.207,03
2008	IME_{MP} = (264) × 1.813,13	478.666,32	IME_{MP} = (46) × 1.813,13	83.403,98
2009	IME_{MP} = (233) × 1.813,13	422.459,29	IME_{MP} = (68) × 1.813,13	123.292,84

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

As emissões de material particulado por veículos dedicados a etanol hidratado ou com tecnologia *flex-fuel* que utilizam etanol hidratado não são consideradas, de acordo com MMA (2011), por não constituírem grandezas significativas.

4.2. Análise dos resultados

Este estudo teve como meta calcular e apresentar a monetização de gases poluente de veículos do ciclo Otto, dedicados ou com tecnologia *flex-fuel*, movidos à gasolina C e etanol hidratado. Utilizou-se para o alcance dos objetivos a frota total de veículos, sua respectiva intensidade de uso, os fatores médios de emissão por unidade de veículos e os valores monetários de referência.

A frota total de automóveis circulantes no Brasil de 2000 a 2009 é apresentada na tabela 4.14. Percebe-se, a partir da introdução da tecnologia *flex-fuel* no mercado brasileiro, a substituição gradativa dos automóveis dedicados.

Digitized by Google

Tabela 4.14: Evolução da frota de veículos do ciclo Otto, dedicados e com tecnologia *flex-fuel* de 2000 a 2009, em unidades.

Período	Gasolina	Etanol	*Flex-Fuel*	Total (un)
2000	12.211.559	2.887.047	-	15.098.606
2001	13.074.519	2.687.104	-	15.761.623
2002	13.806.723	2.522.469	-	16.329.192
2003	14.366.308	2.348.921	39.002	16.754.231
2004	14.805.615	2.199.508	316.991	17.322.114
2005	14.845.015	2.040.147	1.042.657	17.927.819
2006	14.492.867	1.861.606	2.329.582	18.684.055
2007	14.025.561	1.692.239	4.104.220	19.822.020
2008	13.462.424	1.533.926	6.143.193	21.139.543
2009	12.824.412	1.386.679	8.325.421	22.536.512

Fonte: MMA, 2011.

Em 2000, a frota total de automóveis dedicados à gasolina C era de 80,8%, enquanto que os automóveis movidos à etanol hidratado representavam 19,2%. Entretanto, a frota de automóveis com tecnologia *flex-fuel* passou a representar 36% de toda a frota circulante em 2009.

Após cálculo o total de emissões por poluentes, verificou-se que as emissões de monóxido de carbono (CO) representaram 45,7 % aproximadamente do total de poluentes, já o óxido de nitrogênio, (NO_x) teve 26,8%, o hidrocarboneto (HC) representou 27,3% e o material particulado (MP) em torno de 0,05% das emissões da frota de veículos entre 2000 e 2009.

O valor monetário total da emissão representa o custo social e ambiental da externalidade gerada a partir da emissão de gases poluentes que a população nacional reparte de forma equitativa. O ar sendo poluído e não existindo ainda tecnologia para despoluí-lo (o que acarretaria também em custos), é possível concluir que a parcela da sociedade que não se beneficia do uso desses automóveis, estaria sendo penalizada em ter que suportar esses custos.

Entretanto, na análise da série temporal e individual dos gases selecionados, é possível observar a redução no decorrer do período considerado dos valores totais de emissões atmosféricas. Tal fenômeno pode ser atribuído a perspectiva tecnológica. O valor monetário das emissões de monóxido de carbono no período selecionado passou de R$ 747.175.985,92 para R$266.449.834,56, uma redução em torno de 64% em comparação com o período inicial, embora a frota total de automóveis no mesmo período tenha crescido em torno de 34%.

Digitized by Google

Tabela 4.15: Emissões de monóxido de carbono (CO), por veículos movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009, em tonelada (t/ano) e valores monetários (R$).

	Emissões (t/ano)			Emissões (t/ano)			
Período	**Gasolina C**	***Flex* gasolina C**	**Total das emissões gasolina C (R$)**	**Etanol**	***Flex* Etanol**	**Total das emissões etanol (R$)**	**Total de emissões (R$)**
2000	1.374.125	-	520.188.760,00	599.607	-	226.987.225,92	747.175.985,92
2001	1.156.046	-	437.632.773,76	502.031	-	190.048.855,36	627.681.629,12
2002	947.041	-	358.511.840,96	653.362	-	247.336.718,72	605.848.559,68
2003	864.982	138	327.499.827,20	530.828	108	200.991.132,16	528.490.959,36
2004	781.325	649	296.024.077,44	547.645	2.107	208.114.117,12	504.138.194,56
2005	687.074	2.897	261.195.421,76	476.143	7.288	183.007.639,36	444.203.061,12
2006	598.504	11.692	230.995.797,76	382.057	9.946	148.396.655,68	379.392.453,44
2007	561.936	15.893	218.742.946,24	260.994	29.706	110.047.392,00	328.790.338,24
2008	500.128	25.343	198.922.301,76	221.725	56.417	105.293.435,52	304.215.737,28
2009	429.662	37.484	176.842.789,76	164.823	71.882	89.607.044,80	266.449.834,56
							R$ 4.736.386.753,28

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

As emissões de monóxido de carbono de veículos dedicados à gasolina C ou *flex-fuel* que utilizaram gasolina C no período relacionado diminuíram 66%, enquanto que os automóveis dedicados à etanol hidratado ou *flex-fuel* que utilizaram etanol hidratado diminuíram em torno de 60%.

Movimento semelhante ocorre com as emissões de óxido de nitrogênio e hidrocarbonetos. De 2000 a 2009, as emissões tanto de óxido de nitrogênio como de hidrocarbonetos reduziram em torno de 52%. As emissões oriundas de automóveis dedicados a gasolina C e veículos *flex-fuel* que utilizaram gasolina C reduziram 52% tanto nas emissões de oxido de nitrogênio, como de hidrocarbonetos.

Digitized by Google

Tabela 4.16: Total das emissões de óxido de nitrogênio (NO_x), por veículos movidos à gasolina C e etanol hidratado, em tonelada (t/ano) e valores monetários (R$).

	Emissões (t/ano)			Emissões (t/ano)			
Período	**Gasolina C**	***Flex* gasolina C**	**Total das emissões gasolina C (R$)**	**Etanol**	***Flex* Etanol**	**Total das emissões etanol (R$)**	**Total de emissões (R$)**
2000	125.754	-	280.625.081,16	46.583	-	103.951.827,82	384.576.908,98
2001	112.873	-	251.880.614,42	39.290	-	87.677.206,60	339.557.821,02
2002	97.910	-	218.490.081,40	51.513	-	114.953.320,02	333.443.401,42
2003	94.277	11	210.407.443,52	42.178	28	94.184.377,24	304.591.820,76
2004	89.292	75	199.426.035,18	43.861	569	99.147.322,20	298.573.357,38
2005	81.737	334	183.144.719,34	38.443	1.760	89.714.602,62	272.859.321,96
2006	73.616	1.291	167.157.966,78	31.097	1.884	73.598.420,74	240.756.387,52
2007	71.055	1.720	162.400.323,50	21.419	4.775	58.452.958,76	220.853.282,26
2008	64.704	2.617	150.229.504,34	18.356	7.349	57.361.735,70	207.591.240,04
2009	56.582	3.763	134.662.281,30	13.775	7.772	48.082.992,38	182.745.273,68
							R$ 2.785.548.815,02

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

Tabela 4.17: Emissões de hidrocarbonetos (HC), por veículos movidos à gasolina C e etanol hidratado de 2000 a 2009, em tonelada (t/ano) e valores monetários (R$).

	Emissões (t/ano)			Emissões (t/ano)			
Período	**Gasolina C**	***Flex* gasolina C**	**Total das emissões gasolina C (R$)**	**Etanol**	***Flex* Etanol**	**Total das emissões etanol (R$)**	**Total de emissões (R$)**
2000	186.793	-	424.281.620,20	92.825	-	210.842.705,00	391.446.261,80
2001	157.752	-	358.317.892,80	77.992	-	177.151.028,80	345.623.038,20
2002	130.383	-	296.151.946,20	101.122	-	229.688.510,80	339.399.402,20
2003	120.051	28	272.747.440,60	82.547	48	187.606.283,00	310.032.471,60
2004	109.658	176	249.476.947,60	85.281	934	195.828.751,00	303.906.505,80
2005	97.601	832	223.580.716,20	74.465	3.331	176.705.834,40	277.733.163,60
2006	85.643	3.210	201.820.704,20	60.024	4.137	145.735.295,40	245.056.803,20
2007	80.450	4.136	192.128.640,40	41.302	11.501	119.936.734,20	224.798.186,60
2008	71.775	6.011	176.683.120,40	35.198	18.161	121.199.632,60	211.299.256,40
2009	61.909	8.138	159.104.755,80	26.343	19.715	104.616.141,20	186.009.488,80
							R$ 2.835.304.578,20

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

O mesmo desempenho observou-se com os veículos dedicados a etanol hidratado e de automóveis que utilizaram etanol hidratado em veículos *flex-fuel*, com reduções em torno de 53% dentro do período observado, como apresentam as tabelas 4.16 e 4.17.

Digitized by Google

Na análise do comportamento monetário das emissões de material particulado, pode-se concluir a redução de suas emissões, entretanto, numa grandeza consideravelmente menor que os resultados encontrados para os gases analisados anteriormente. A redução se deu em torno de 22,6% das emissões de material particulado no período de 2000 a 2009, conforme apresenta a tabela 4.18.

Tabela 4.18: Emissões de material particulado (MP), por veículos movidos à gasolina C, em tonelada (t/ano) e valores monetários (R$).

Período	Motor Dedicado gasolina C (t/ano)	Motor *flex-fuel* (t/ano)	Total de emissões (t/ano)	Total de emissões (R$)
2000	389	-	389	705.307,57
2001	365	-	365	661.792,45
2002	333	-	333	603.772,29
2003	337	-	337	611.024,81
2004	334	2	336	609.211,68
2005	318	6	324	587.454,12
2006	293	24	317	574.762,21
2007	287	31	318	576.575,34
2008	264	46	310	562.070,30
2009	233	68	301	545.752,13
				R$ 6.037.722,90

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

De forma a identificar anualmente a redução gradativa das emissões poluentes, a tabela 4.19 expõe os resultados das emissões de todos os poluentes propostos por este estudo. Conforme já citado, as emissões foram reduzidas gradativamente, pela introdução da tecnologia *flex-fuel* e a utilização de etanol hidratado (combustível limpo e renovável). Sendo o monóxido de carbono o poluente mais emitido por veículos automotores, observa-se também, que foi o poluente que apresentou reduções mais acentuadas.

Digitized by Google

Tabela 4.19: Valores totais das emissões de gases CO, NO_x, HC e MP por automóveis dedicados ou de tecnologia *flex-fuel* por ano, em valores monetários (R$).

Período	CO	NO_x	HC	MP
2000	747.175.985,92	384.576.908,98	391.446.261,80	705.307,57
2001	627.681.629,12	339.557.821,02	345.623.038,20	661.792,45
2002	605.848.559,68	333.443.401,42	339.399.402,20	603.772,29
2003	528.490.959,36	304.591.820,76	310.032.471,60	611.024,81
2004	504.138.194,56	298.573.357,38	303.906.505,80	609.211,68
2005	444.203.061,12	272.859.321,96	277.733.163,60	587.454,12
2006	379.392.453,44	240.756.387,52	245.056.803,20	574.762,21
2007	328.790.338,24	220.853.282,26	224.798.186,60	576.575,34
2008	304.215.737,28	207.591.240,04	211.299.256,40	562.070,30
2009	266.449.834,56	182.745.273,68	186.009.488,80	545.752,13

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

A tabela 4.20 apresenta os valores monetários totais dos gases atmosféricos selecionados no total do período proposto. De 2000 a 2009, as emissões de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e material particulado foram responsáveis por aproximadamente 10 bilhões de reais em emissões atmosféricas.

Tabela 4.20: Valor total monetário (R$) de emissões atmosféricas de 2000 a 2009 de CO, NO_x, HC e MP por combustível.

	Gasolina	Etanol	Total
Monóxido de Carbono	3.026.556.536,64	1.709.830.216,64	4.736.386.753,28
Oxido de Nitrogênio	1.958.424.050,94	827.124.764,08	2.785.548.815,02
Hidrocarbonetos	1.993.405.625,40	841.898.952,80	2.835.304.578,20
Material Particulado	6.037.722,90	-	6.037.722,90
Total	**R$ 6.984.423.935,88**	**R$ 3.378.853.933,52**	**R$ 10.363.277.869,40**

Fonte: Elaboração das autoras a partir de IPEA e ANTP (1999); LASCALA (2011); MMA (2011); CETESB (2010).

Como é possível observar nos resultados apresentados, o desenvolvimento de veículos que utilizam de combustível alternativo em substituição aos combustíveis de origem fóssil, favorecem para a redução das emissões de gases atmosféricos causadores do efeito estufa, além de outros distúrbios ambientais. Nos motores a gasolina, as principais inovações da última década foram a utilização dos sistemas de injeção eletrônica de combustível em substituição aos carburadores e a introdução de filtros catalisadores no escapamento dos veículos. Com a injeção eletrônica, tornou-se possível dosar a mistura ar-combustível em todos

Digitized by Google

os regimes de trabalho do motor, reduzindo o consumo e maximizando sua potência (BOSCH, 2005).

Para a redução do lançamento de CO_2 na atmosfera, as duas principais linhas adotadas pelas montadoras foram a utilização de veículos de menor potência (consequentemente de menor consumo) e de fontes alternativas de energia, como o uso do etanol hidratado (ANFAVEA, 2015).

O etanol foi o primeiro combustível renovável a ser utilizado em larga escala no mundo. Ao contrário do petróleo, não prescinde da descoberta de novas reservas e possui potencial de aumento de produção, seja via expansão da área plantada, seja por meio do aumento na produtividade agrícola, ou na diversificação de sua matéria prima. Este, pode ser produzido a partir da cana-de-açúcar, beterraba, milho, batata-doce e trigo, permite a produção em diferentes regiões geográficas e em quantidades diversificadas. Ainda, a rota tecnológica dos motores à álcool é plenamente compreendida para motores do ciclo Otto. Ainda que a combustão do álcool provoque emissões que se assemelham às emissões de gasolina C, seu diferencial está na captura de CO_2 durante o cultivo da cana-de-açúcar por meio do processo de fotossíntese, como visto no tópico 2.4 do capítulo 2 (GOLDENSTEIN e AZEVEDO, 2006).

É significativo mencionar que a utilização de sistemas computadorizados de reconhecimento de combustível por meio de sensores físicos, tornou o motor dos veículos *flex-fuel* muito vantajosos. Essa tecnologia transformou o motor convencional em um motor moderno, permitindo que o usuário do veículo escolha qual combustível utilizar em qualquer proporção. A tecnologia contribui para o aquecimento do mercado interno, como verificado nos gráficos de produção de veículos montados no Brasil de 2000 a 2014. Esses sistemas *flex-fuel* permitem o uso de combustível mais limpo, além de se tornar alternativa contra as pressões exercida pelo preço do petróleo em situações de diminuição de oferta (GOLDENSTEIN e AZEVEDO, 2006).

A poluição atmosférica está diretamente relacionada a poluição do ar. E o acúmulo de poluentes emitidos a partir de indústrias e veículos, aumenta as taxas de mortalidade por câncer e doenças dos sistemas cardiovascular e respiratório. Consequentemente há redução na expectativa de vida, aumento do risco de arritmias e infarto agudo do

Digitized by Google

miocárdio; bronquite crônica e asma, obesidade, câncer do pulmão e depressão. (INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2014).

Somente em 2012, cerca 7 milhões de pessoas foram a óbito no mundo como consequência da poluição do ar; 3,6 milhões devido à poluição externa do ar e 3,4 milhões devido à poluição intradomiciliar. Isto significa que uma em cada oito mortes no mundo está relacionada à exposição ao ar contaminado (VORMITTAG e RODRIGUES, 2014). Estes números provam que as alterações do ambiente desencadeiam impactos sobre a saúde tanto nos aspectos físicos e psíquicos, global ou individual.

Digitized by Google

CONCLUSÃO

Entre os anos de 2000 a 2009 a frota total de automóveis do ciclo Otto no Brasil foi de 22.536.512 unidades, sendo 6% dedicados a etanol, 57% dedicados a gasolina C e 37% com tecnologia *flex-fuel*. Com a inserção da tecnologia Flex no mercado brasileiro em meados de 2003, foi possível observar a diminuição gradativa da fabricação de automóveis exclusivamente dedicados a etanol hidratado e, a partir de 2007, a descontinuação completa da fabricação de veículos deste tipo, sendo assim possível observar o processo de substituição dos automóveis dedicados pelos de tecnologia Flex.

Com o aumento dos carros de tecnologia *flex-fuel*, observou-se a redução das emissões totais dos gases atmosféricos, embora a frota tenha aumentado em valores absolutos. Essa redução pode ser percebida nas emissões de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, e em menor quantidade, pelas partículas sólidas.

As emissões de monóxido de carbono caíram 64,3% dentro de período estudado. Essa redução é importante porque diminui os efeitos negativos das emissões atmosféricas sobre a camada de ozônio e impacta direta e positivamente a saúde da população, uma vez que o óxido de nitrogênio é um gás prejudicial às fossas nasais, as membranas dos pulmões e impede a oxigenação cerebral. No ano de 2000, as emissões de óxido de nitrogênio foram de 172 mil toneladas, e em 2009, 81 mil toneladas, uma redução de 52% das emissões totais. Para os hidrocarbonetos, as reduções foram de 53%, sendo um valor expressivo na contabilidade das emissões totais dos gases atmosféricos. As menores reduções encontradas foram de material particulado, em torno de 23%. Essa redução foi associada a substituição do uso de gasolina C por etanol hidratado. Como se demonstrou nos resultados analisados, o aumento da frota de veículos que utilizam combustível alternativo em substituição aos combustíveis de origem fóssil favoreceram para a redução das emissões de gases atmosféricos causadores do efeito estufa.

Os valores monetários calculados por meio dos Indicadores de

Digitized by Google

Monetização de Emissões demonstraram que o monóxido de carbono é o principal responsável das emissões de automóveis do ciclo Otto no Brasil, representando 45,7% das emissões, com valor monetário de R$ 4.736.386.753,28. Os hidrocarbonetos, o segundo gás mais emitido pela frota de automóveis, foi responsável por 27,3% das emissões e valor monetário de R$ 2.835.304.578,20. Em seguida vem as emissões de óxido de nitrogênio, que reduziram mais de 26% e valor monetário de R$ 2.785.548.815,02. Já as emissões de material particulado, que no ano 2000 foi de R$ 705.307,57, teve redução de 23%, totalizando custo de R$ 545.752,13.

Dessa forma, o custo socioambiental total no período de 2000 a 2009 provocado pela frota de automóveis do ciclo Otto, dedicados ou de tecnologia *flex-fuel*, movidos à gasolina C e etanol hidratado, foi de R$ 10.363.277.869,40. Tal valor representa o custo social da poluição da atmosfera que a população brasileira reparte de forma equitativa, agregando usuários e não usuários de transporte veicular particular. Esse valor representa o custo com as externalidades negativas, resultando em poluição, prejuízo à saúde da população e aumento dos custos de manutenção urbana causada pela depreciação da infraestrutura.

Mesmo nesse cenário, foi possível perceber na análise da série temporal, conjunta e individual dos gases selecionados, uma redução dos valores totais de poluentes. Tal fenômeno pôde ser atribuído à evolução tecnológica dos motores dentro do período estudado. O desenvolvimento tecnológico de veículos que se utilizam de combustível alternativo, em substituição aos combustíveis de origem fóssil, favorece a redução das emissões de gases poluentes causadores do efeito estufa, além de outros distúrbios ambientais e sociais.

Recomendam-se, a partir desse estudo, o uso de ferramentas de comando e controle mais eficientes para inibir as emissões de gases atmosféricos. A exemplo, o recolhimento das taxas de seguro obrigatório no Brasil que são atribuídas no custeio de acidentes de trânsito, o pagamento de taxas para custear as consequências causadas pelas emissões de gases atmosféricos. Atribuir esses valores aos devidos emissores pode desestimular o uso de veículos individuais – consequentemente reduzir as emissões totais – e diminuir as externalidades causadas a terceiros.

Digitized by Google

BIBLIOGRAFIA

ALVES, J. E. D. **A polêmica Malthus versus Condorcet reavaliada à luz da transição demográfica**. Escola Nacional de Ciências Estatísticas do IBGE. Textos para discussão. Nº 4. IBGE. Rio de Janeiro, 2002.

AMAZONAS, M. C. Economia do Meio-Ambiente: **Uma análise da abordagem Neoclássica a partir de marcos Evolucionistas e Institucionalistas**. (Dissertação de mestrado). Instituto de Economia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1994.

AMAZONAS, M. C. **Valor e Meio Ambiente: Elementos para uma abordagem evolucionista.** (Tese de doutorado). Instituto de Economia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássicas e da economia ecológica. **Revista Leituras de Economia Política, (14) pág. 1-31. Campinas, 2008.**

ANDRADE, D. C., ROMEIRO, A. R. **Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano**. Texto para discussão IE/UNICAMP. Nº 155. Campinas, 2009.

ANDRADE, D. C., ROMEIRO, A. R., FASIABEN, M. C. R., GARCIA, J. R. Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para politicas ambientais. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Vol. 25. Editora UFPR. Paraná, 2012.

ANFAVEA. **Anuário da Industria Automobilística**. Associação Nacional dos Veículos Automotores. Centro de documentação da Industria **Automobilistica**, São Paulo, 2015.

Digitized by Google

ARAUJO, J. L., GHIRARDI, A. Substituição de derivados de petróleo no Brasil: questões urgentes. **Revista Pesquisa e Planejamento Econômico**, pág. 745-772. Rio de Janeiro, 1986.

ARAÚJO, M. H. **Fundamentos da Poluição Ambiental**. Trabalho Técnico, Unisa Digital. 2011.

ARIOLI, M. S; LINDAU, L. A; NODARI, C. T. – Mecanismo de desenvolvimento limpo: análise da viabilidade do uso de ônibus híbridos no transporte publico urbano brasileiro.

ARTHMAR. R. Pigou e a Revolução Keynesiana. **Revista Economia e Sociedade**. V. 14, nº 2 (25), Pág. 193-213. Campinas, 2005.

BOLOGNINI. M. F. **Externalidades na produção de alcool combustível no estado de São Paulo**. (Dissertação de mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

BORSARI, V. **Caracterização das emissões de gases de efeito estufa por veículos automotores leves no Estado de São Paulo.** (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BOSCH, R. **Manual de tecnologia automotiva**. 25ª edição alemã. Editora Blucher. São Paulo, 2005.

BRANT, F. F.; FERREIRA, M. I. P. Valoração econômica como ferramenta de conservação dos recursos hídricos: uma proposta de auxílio na gestão da APA do Macaé de Cima, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Aberto Ribeiro Lamengo. Vol. 4. Nº 2, pág. 75-93. Rio de Janeiro, 2010.**

BRASIL. **Código de trânsito Brasileiro**. Disponível em: www.denatran.gov.br/ctb.htm. Acesso em: 21 de janeiro de 2015.

Digitized by Google

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.** Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015.

BRESSER-PEREIRA, L. C. Os dois métodos e o núcleo duro da teoria econômica. **Revista de Economia Politica**, Vol. 29, Nº 2 (114). Pág. 163-190. 2009.

BUENO, R. **Pró-álcool: rumo ao desastre**. Petropólis - RJ: Editora Vozes, 1984.

CAMPOS, C. P. **Emissões históricas de CO_2 na mudança do uso da terra para agricultura e pastagem e a contribuição dos países para a mudança do clima -** a proposta do Brasil para a convenção do clima. (Tese de Doutorado) Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, UFRJ. Rio de Janeiro, 2007.

CANO, W. **Furtado: a questão regional e a agricultura itinerante no Brasil**. UNICAMP, 2001.

CARVALHO, E. G. Globalização e estratégias competitivas na indústria Automobilística: Uma abordagem a partir das principais montadoras instaladas no Brasil. **Revista Gestão e Produção**. Vol. 12, nº 1, pág. 121-133. São Paulo, 2005.

CAVALCANTI, C. **Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental**. Revista Estudos Avançados. 24 (68). 2010.

CAVALCANTI, C. V. Uma tentativa de caracterização da economia ecológica. **Revista Ambiente & Sociedade** – Vol. VII nº 1. 2004.

CETESB. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2013.** Serie Relatórios. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, 2014.

Digitized by Google

CETESB. Plano de Controle de Poluição Veicular PCPV 2011-2013. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, 2011.

CETESB. Plano de Controle de Poluição Veicular PCPV 2014-2016. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, 2014.

CONAMA. Resoluções do CONAMA: **Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Brasilia, 2012.

CONPET. **Promovendo a eficiência energética nos automóveis brasileiros**. Relatório para o Conpet. Intituto Nacional de Eficiência Energética. Disponível em: www.etanolveicular.inee.org.br. Acesso em: 21 de dezembro de 2014. Petrobrás, 2005.

CORAZZA, G. **Teoria econômica e estado (de Quesnay a Keynes)**. Biblioteca da Fundação de Economia e Estatistica. Nº 11. Porto Alegre, 1986.

DALY, H. **A Big Idea. A State-Steady Economy. Economics**. Towards a Steady-State Economy, a paper Herman Daly wrote for the UK Sustainable Development Commission in 2008. Disponível em: www.theoildrum.com. Acesso em: 19 de fevereiro de 2015.

DALY, H. **Políticas para o Desenvolvimento Sustentável**. In: CAVALCANTI, C. (org.) Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas. Pág. 179-192. S. Paulo: Cortez, 1997.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2014 – ano base 2013.** Relatório Síntese. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: www.ben.epe.gov.br. Acesso em: 23 de janeiro de 2015. Rio de Janeiro, 2014.

EPE. **Estudo das condições estabelecidas no Tratado de Quioto e resoluções internacionais de sua atualização.** Estudos EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2007.

Digitized by Google

EPE. **Guia de referência para o encaminhamento de projetos de produção e uso de biodiesel e etanol ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.** Estudos EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2009.

EPE. **Potencial de redução de emissões de CO_2 em projetos de produção e uso de Biocombustíveis**. Estudo EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2007.

ERBER, F. S. O padrão de desenvolvimento Industrial e Tecnologico e o futuro da Industria Brasileira. **Revista de Economia Conteporânea**. Vol. 5. Edição Especial. 2000.

FAOSTAT – **Banco de dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.** Direção de Estatística. Disponível em: www.faostat3.fao.org. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015.

FRONZA, L. **Capacidade de Liberação de Hidrocarbonetos dos Sedimentos de Áreas Contaminadas do Estuário da Lagoa dos Patos – RS**. (Dissertação de mestrado). Pós-graduação em oceanografia, física, química e geológica. Rio grande do sul, 2006.

GERENT, J. Direito ambiental e a teoria econômica neoclássica – valoração do bem ambiental. **Revista Jurídica Cesumar. Vol. 8. Nº 2, pág. 273-289. 2008.**

GOMIDE, A. A. **Transporte Urbano e Inclusão Social: Elementos para Políticas Públicas**. Texto para discussão nº 960. IPEA, Brasília, 2003.

GUERRA, A J T.; CUNHA, S B.; MACEDO, L. S. V. **Problemas Ambientais Urbanos Causados pelo Trânsito na Região Metropolitana de São Paulo**. In: Guerra, A J T; Sandra B. Cunha. (Org.). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. 2ª ed. Editora Bertrand Brasil Ltda. Vol. único, p. 13-416. Rio de Janeiro, 2004.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO_2 decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto.** (Tese de Doutorado) Escola Superior de agricultura, USP, São Paulo, 2004.

Digitized by Google

IBAMA. **Programas de Controle de Emissões Veiculares**. Limites Máximos de emissão de Poluentes para Veículos Automotores. Disponível em: www.ibama.gov.br. Acesso em 4 de janeiro de 2015.

IPCC. **Mudança do Clima 2007: A base das Ciências Físicas.** Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Sumário para os formuladores de Políticas. Paris, 2007.

IPEA e ANTP – Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada e Associação Nacional dos Transportes públicos. **Revista dos Transportes Públicos ANTP**. Ano 21 – 1999.

KNIGHT, V. M.; YOUNG, C. E. F. **Custo da poluição emitida pelos veículos a diesel na RMSP**. In: Rio Oil & Gás Expo and Conference, 2006, Rio de Janeiro. Rio Oil & Gás Expo and Conference, 2006.

LAGEMANN, E. Tributação Ecológica. **Revista Ensaios FEE. Vol. 23. Nº 1, pag. 301-324. Porto Alegre, 2002.**

LASCALA, T. L. S; **Externalidades da substituição do diesel pelo etanol no transporte público urbano da Região Metropolitana de São Paulo**. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MACEDO, L. S. V. **Problemas ambientais urbanos causados pelo trânsito na região metropolitana de São Paulo – RMSP**. Disponível em: www.nossasaopaulo.org.br. Acesso em: 21 de dezembro de 2014.

MALTHUS, T. R. **Princípios de Economia politica e considerações sobre sua aplicação prática. Ensaio sobre a população**. (Coleção Os Economistas). Editora Nova cultural. São Paulo, 1996.

MANKIW, G. **Introdução à Economia: Princípios de Micro e Macroeconomia**. 2ªed. Editora Elsevier. 2001.

Digitized by Google

MATTOS, L. B. R. A. **Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O Caso do Município do Rio de Janeiro**. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE, Rio de Janeiro, 2001.

MAY, P. H. **Economia ecológica e o desenvolvimento equitativo no Brasil**. In: MAY, Peter H. (Coord.). Economia Ecológica: aplicações no Brasil. Editora Campus. Rio de Janeiro, 1995.

MCT. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões antrópicas de Gases de Efeito Estufa.** Emissões de Gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético. Relatórios de Referência. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006.

MILHOR, C. E. **Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto.** (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

MIRANDA, M. M. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MMA. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.** Relatório Final. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2011.

MMA. **Programa Nacional de Controle de Qualidade do ar – Pronar**. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: www.mma.gov.br. Acesso em: 02 de dezembro de 2014.

MONTEIRO, A. C. G. **Avaliação dos impactos ambientais e Socioeconômicos da queima de cana-de-açúcar no município de Campos dos Goytacazes - RJ**. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. (Dissertação de Mestrado). Mestrado em Produção Vegetal. Rio de Janeiro, 2011.

Digitized by Google

MOTTA, R. S. **Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais.** Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. IPEA/MMA/PNUD/CNPq. Rio de Janeiro, 1997.

MOTTA, R. S. **Padrão de consumo, distribuição de renda e o meio ambiente no Brasil**. Texto para discussão nº 856. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IPEA. Rio de Janeiro, 2002.

MOTTA, R. S. Um estudo de custo-benefício do Proálcool. **Revista Pesquisa e Planejamento Econômico**. 65-92, 1987.

MOTTA, R. S., RUITENBEEK, J., HUBER, R. **Uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental da América Latina e Caribe: Lições e recomendações**. Texto para discussão nº 440. Instituto de pesquisa Econômica Aplicada. IPEA. Rio de Janeiro, 1996.

NITSCH, M. O Programa de Biocombustiveis Proálcool no contexto da estratégia energética brasileira. **Revista de Economia Política**, 123-138, 1991.

OICA. Séries estatitisticas. **Organização Internacional de Fabricantes de Veículos Automotores.** Disponível em: www.oica.net. Acesso em: 24 de março de 2015.

OLIVEIRA, G. B., SOUZA-LIMA, J. E. **O desenvolvimento sustentável em foco: uma contribuição multidisciplinar**. Editora Annablume. São Paulo, 2006.

PAIVA. R. F.P. S. **A valoração econômica ambiental a partir da economia ecológica: Um estudo de caso para a poluição hídrica e atmosférica na cidade de Volta Redonda/RJ**. (Tese de Doutorado). Instituto de Economia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

PRADO, T. G. F. **Externalidades do ciclo produtivo da cana-de-açúcar com ênfase na produção de energia elétrica**. (Dissertação de mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

Digitized by Google

ROMEIRO, A. R. **Economia ou economia politica da sustentabilidade?** Texto para discussão IE/UNICAMP. Nº 102. Campinas, 2001.

ROSA, M. V. F.; OBELHEIRO, M. R.; BOTTESINI, G.; LINDAU, L. A. **Estimando as emissões atuais e futuras do transporte urbano no Brasil**. Laboratorio de Sistemas de Transporte. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: www.cntdespoluirorg.br. Acesso em: 21 de dezembro de 2014.

SANTILLI, M.; MOUTINHO, P. O desmatamento na Amazônia e a efetividade do Protocolo de Quioto. **Revista Ciência e Ambiente**. (n.º 30), no prelo. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

SANTOS, A. M. M. M.; PINHÃO, C. M. **Panorama da Indústria Automobilística na América do Sul**. BNDES setorial, nº 8, Pág. 171-192. Rio de Janeiro, 1998.

SÃO PAULO. **A história da Industria Automobilistica. Portal do governo do estado de São Paulo**. Dísponivel em: www.saopaulo.sp.gov.br. Acesso em 25 de março de 2015.

SINISGALLI, P. A. A. A eMergia como indicador de valor para a análise econômico-ecológica. **Revista Megadiversidade**. Vol. 2, nº 1-2. 2006.

SOARES, C. A interpretação schumpeteriana da revolução marginalista. **Revista econômica**. Vol. 11, Nº 2, pág. 155-182. Rio de Janeiro, 2009.

STELLA, O.; SMID, B. J.; AZEVEDO, A. STABILE, M. **Compilação dos principais resultados da COP-17 sobre o novo Protocolo de Quioto, salvaguardas de REDD+, níveis de referencia, Fundo Verde Para o Clima e LULUCF**. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Disponível em: www.ipam.org.br. Acesso em: 02 de dezembro de 20I4.

TOMALSQUIM, M. T. As origens da crise energética brasileira. **Revista Ambiente e Sociedade**. Ano III – nº 6/7, 2000.

Digitized by Google

TOMALSQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Revista Estudos Avançados. Nº 26, Vol. 74. 2012.**

TOMALSQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. **Visão prospectiva da matriz energética brasileira: Energizando o desenvolvimento sustentável do país. Vol. 13. Nº 1.**

TOMALSQUIM, M. T.; MOTTA, R. S.; LA ROVERE, E. L.; MONTEIRO, A. G.; BARATA, M. M. L. **Metodologias de Valoração de Danos Ambientais Causado pelo Setor Elétrico**. Editora COPPE. Rio de Janeiro, 2000.

TÔSTO, S. G. **Sustentabilidade e Valoração de serviços Ecossistêmicos no espaço rural do município de Araras, SP**. (Tese de doutorado). Instituto de Economia. Unicamp. Campinas, 2010.

UNFPA. **Situação da população mundial 2014.** Disponível em: www.unfpa.org.br. Acesso em: 01 de dezembro de 2014.

UNITED NATIONS. **The world at six billion. Population Divison**. Department of Economic ans Social Affairs. ESA/P/WP.154. EUA, 1999.

VARIAN, H. R. **Microeconomia – Princípios básicos**. Editora Campus. Rio de Janeiro, 1992.

VASCONCELOS, E. A.; LIMA, I. M. O. **Quantificação das deseconomias do transporte urbano: uma resenha das experiências internacionais. Texto para discussão IPEA nº 586. Brasília, 1998.**

VEIGA, J. E. Indicadores de sustentabilidade. **Revista Estudos avançados**. Vol. 24. Nº 68. São Paulo, 2010.

VICENTE, M. M. **A crise do Estado de bem-estar social e a globalização: um balanço.** Editora Unesp; Cultura Acadêmica, São Paulo, 2009.

Digitized by Google

VIDIGAL, C. B. R. **Índice de bem-estar econômico: uma proposta para os estados brasileiros.** (Dissertação de mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP. Mestrado em Ciências. Piracicaba, 2011.

VINER, J. A economia do desenvolvimento. **Revista Brasileira de Economia**. Vol. 5. Nº 2. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 1951.

VORMITTAG, e. RODRIGUES, C. G. **Avaliação do Impacto da poluição atmosférica no Estado do Rio de Janeiro sob a visão da saúde**. Instituto Saúde e Sustentabilidade. 2014.

ZAULI, E. M. Politicas Públicas e Targeting Social Efeitos da Nova Politica Industrial sobre o setor Automobilistico Brasileiro. **Revista de Economia Politca**. Vol. 20. Nº3 (79). 2000.

Digitized by Google

Esta obra foi composta em Electra
e editada digitalmente em setembro de 2020.

Digitized by Google

Esse trabalho apresentou uma metodologia de cálculo para monetização de gases atmosféricos emitidos por veículos do ciclo Otto no Brasil de 2000 a 2009, baseada no quantitativo da frota de veículos, de sua intensidade de uso, dos fatores de emissão e dos valores monetários de referência para o monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e material particulado. Como resultado, têm-se os valores monetários das emissões dos gases selecionados dentro do período. Embora a frota de veículos tenha aumentado, observou-se a redução das emissões totais dos gases poluentes. Tal fenômeno pode ser atribuído ao desenvolvimento tecnológico dos veículos automotores *flex-fuel*, que substituíram os veículos dedicados. Os valores monetários calculados por meio dos Indicadores de Monetização de Emissões (IME) demonstraram que o monóxido de carbono foi o principal responsável pelas emissões atmosféricas dos automóveis do ciclo Otto no Brasil, representando 45,7% das emissões e custo monetário de R$ 4.736.386.753,28. O hidrocarboneto foi o segundo gás mais emitido pela frota supracitada, sendo responsável por 27,3% das emissões e custo monetário de R$ 2.835.304.578,20. Logo em seguida, as emissões de óxido de nitrogênio, responsável por gerar custo de R$ 2.785.548.815,02 no período. Por último, aparecem as emissões de material particulado, que gerou custo monetário de R$ 6.037.722,90. Por fim, pode-se verificar que o custo ambiental total do período foi de R$ 10.363.277.869,40. Este valor representou o montante do custo econômico e social da emissão dos gases atmosféricos entre os anos 2000 a 2009. A média de 1 bilhão/ano é o custo total dividido equitativamente para toda a sociedade no período estudado, entre beneficiários e não beneficiários de veículos automotores particulares.

Esse estudo foi defendido como dissertação no Mestrado em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins em 2015.

LIFE EDITORA

ISBN 978-65-5887-020-3

Digitized by Google