

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

POLÍTICAS ENERGÉTICAS AUTOMOTIVAS E O USO
DOS VEÍCULOS *FLEX FUEL*

Autor: **Tiago Rocha Melo**

Orientador: **Prof. Dr. Rogério José da Silva**

Co-orientador: **Prof. Dr. Marcelo José Pirani**

Itajubá, Junho de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Tiago Rocha Melo

**POLÍTICAS ENERGÉTICAS AUTOMOTIVAS E O USO
DOS VEÍCULOS *FLEX FUEL***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia
Mecânica.

Área de Concentração: **Conversão de Energia**

Orientador: **Prof. Dr. Rogério José da Silva**

Co-orientador: **Prof. Dr. Marcelo José Pirani**

Itajubá, Junho de 2013

M.G. – Brasil

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

M528p

Melo, Tiago Rocha

Políticas energéticas automotivas e o uso dos veículos *Flex Fuel* / Tiago Rocha Melo. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2013.
117 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Rogério José da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo José Pirani

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Eficiência energética automotiva. 2. Veículos *Flex Fuel*. 3. Motores de combustão interna. 4. Motores à Etanol. I. Silva, Rogério José da, orient. II. Pirani, Marcelo José, coorient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Tiago Rocha Melo

POLÍTICAS ENERGÉTICAS AUTOMOTIVAS E O USO
DOS VEÍCULOS *FLEX FUEL*

Dissertação aprovada por banca examinadora em 25 de junho de 2013, conferindo ao autor o título de ***Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica.***

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rogério José da Silva (Orientador) – IEM/UNIFEI

Prof. Dr. Marcelo José Pirani – IEM/UNIFEI

Prof. Dr. Genésio José Menon – IEM/UNIFEI

Prof. Dr. Flávio Neves Teixeira – UFSJ

Itajubá – MG

2013

Dedicatória

Dedico este trabalho.

Aos meus pais, amigos e minha noiva pelo suporte e por entenderem todo o desafio atravessado.

Agradecimentos

Ao meu Orientador e Co-orientador que sem os quais não seria possível realizar a tarefa de me conduzir entre os meandros do conhecimento.

À FAPEMIG por prover a bolsa de mestrado para dar suporte aos estudos e a realização do trabalho

E a todos que contribuíram para a conclusão desta dissertação de alguma forma.

“Tudo tem seu tempo e até certas manifestações mais vigorosas e originais entram em voga ou saem de moda. Mas a sabedoria tem uma vantagem: é eterna.”

Baltasar Gracián

Resumo

MELO, T. R. (2012), *Políticas Energéticas Automotiva e o Uso dos Veículos Flex Fuel*,
Dissertação (Mestrado em Conversão de Energia), Instituto de Engenharia Mecânica,
Universidade Federal de Itajubá, Itajubá - MG, p. 108

Desde os primórdios da indústria automobilística no mundo, o uso da gasolina como principal combustível, trouxe consequências políticas e econômicas, com o crescimento da frota circulante. A gasolina como principal derivado do petróleo, gerou a necessidade de expansão de sua extração e da descoberta de novos campos petrolíferos, para atender ao crescente mercado consumidor, trazendo problemas financeiros em diversos países a partir das crises de energia, devido às flutuações ou ao aumento de preços. Para evitar maiores problemas decorrentes da dependência do petróleo oriundo de regiões com turbulências políticas e religiosas, vários países se organizaram na busca por alternativas ao uso da gasolina no transporte veicular. Neste trabalho são analisadas as políticas energéticas automotivas dos Estados Unidos, Japão e Europa, o desenvolvimento tecnológico automotivo e a questão do uso do etanol como combustível nos veículos *flex fuel* no Brasil. São analisadas também as implicações do uso da gasolina nos veículos *flex fuel*, pois com o lançamento do novo regime automotivo no Brasil, deve-se estar atento à eficiência energética.

Palavras-chave

Política Energética Automotiva, Veículos Flexíveis, Motores de Combustão Interna, Eficiência Energética, Etanol.

Abstract

MELO, T. R. (2012), *Automotive Energy Policies and the Flexible Fuel Vehicles Usage*, MSc. (Dissertation), Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, p. 108

Since the beginning of automotive industry worldwide, the gasoline use as main fuel brought political and economical consequences, with increasing of vehicles fleet. The gasoline as main product from crude oil, generated the expansion need of its extraction and the discovery of new oil fields for the uprising consumer market, bringing with it financial problems in several countries from the energy crisis, due to the variations or the continuous rising of its prices. To avoid more problems from the dependence of oil that come from regions with political and religious instabilities, several countries organized themselves in search for alternatives to the use of gasoline vehicle transportation. In this dissertation is analyzed the automotive energy policies of United States, Japan and Europe, the automotive technological development and the issue of the ethanol use as fuel in flexible fuel vehicles in Brazil. The implications of gasoline use in the flexible fuel vehicles are analyzed as well, because with the launching of a new automotive policies in Brazil, it's important to pay attention to the energy efficiency.

Keywords

Automotive Energy Policies, Flexible Fuel Vehicles, Internal Combustion Engine, Automotive Energy Efficiency, Ethanol.

Sumário

DEDICATÓRIA _____	i
AGRADECIMENTOS _____	ii
RESUMO _____	iv
ABSTRACT _____	v
SUMÁRIO _____	vi
LISTA DE FIGURAS _____	x
LISTA DE TABELAS _____	xiv
SIMBOLOGIA _____	xv
LETRAS LATINAS _____	xv
SIGLAS _____	xvii
CAPÍTULO 1 _____	1
INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO _____	1
1.1 OBJETIVOS -----	4
CAPÍTULO 2 _____	5
REVISÃO HISTÓRICA DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA ALTERNATIVOS E O CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS _____	5
2.1 O CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NO MUNDO -----	19
2.1.1 DADOS GERAIS -----	22
2.2 OS COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS -----	24
2.2.1 MERCADO DE CARBONO -----	28
2.2.2 PROPRIEDADES DA GASOLINA -----	29
2.2.2.1 Gasolina -----	29

CAPÍTULO 3 _____	33
AS PRINCIPAIS POLÍTICAS ENERGÉTICAS AUTOMOTIVAS _____	33
3.1 A POLÍTICA ENERGÉTICA AUTOMOTIVA DOS EUA -----	33
3.1.1 RECOMENDAÇÕES DE POLÍTICAS VEICULARES -----	38
3.1.2 DESCRIÇÃO DA POLÍTICA -----	39
3.1.3 CONCLUSÃO DA POLÍTICA -----	41
3.2 A POLÍTICA ENERGÉTICA AUTOMOTIVA DO JAPÃO -----	42
3.2.1 DESCRIÇÃO DA POLÍTICA -----	45
3.2.2 A POLÍTICA PARA OS HÍBRIDOS -----	47
3.2.3 O GOVERNO NO DESENVOLVIMENTO VEICULAR -----	48
3.2.4 DESAFIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS -----	49
3.2.5 POLÍTICAS ATUAIS -----	50
3.2.6 ESTUDOS E PERSPECTIVAS FUTURAS -----	51
3.2.7 CONCLUSÃO DA POLÍTICA -----	52
3.3 A POLÍTICA ENERGÉTICA AUTOMOTIVA DA EUROPA -----	53
3.3.1 DESCRIÇÃO DAS POLÍTICAS -----	55
3.3.2 DESAFIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS -----	59
3.3.3 PROGRAMA CARS 21 -----	60
3.3.4 CONCLUSÃO DA POLÍTICA -----	62
CAPÍTULO 4 _____	63
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA ALTERNATIVOS E OS VEÍCULOS <i>FLEX</i>	
<i>FUEL</i> _____	63

4.1 INTRODUÇÃO	63
4.2 DESENVOLVIMENTOS	64
4.3 O USO DOS VEÍCULOS <i>FLEX FUEL</i>	72
CAPÍTULO 5	84
CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	84
5.1 CONCLUSÕES	84
5.2 PERSPECTIVAS FUTURAS	86
APÊNDICE A	88
CONCEITOS TEÓRICOS	88
A.1 INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS DE MCI	89
A.1.1. VOLUME DESLOCADO PELO ÊMBOLO	90
A.1.2. RELAÇÃO DE COMPRESSÃO (TAXA DE COMPRESSÃO)	91
A.2. CONCEITO TERMODINÂMICO DOS MCI	91
A.2.1. PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	93
A.2.2. CALORES ESPECÍFICOS	94
A.2.3. GASES PERFEITOS	95
A.2.3.1. Processo Isocórico	95
A.2.3.2. Processo Isentrópico	96
A.2.3.3. Condições Pré-Combustão	96
A.2.4. SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXO A	113
USO DE MÚLTIPLOS COMBUSTÍVEIS	113

A.1 SISTEMA ASPIRADO MULTI-FUEL-----	113
A.2 TURBO-ALIMENTAÇÃO COM O TRIFUEL -----	114
ANEXO B _____	115
PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM VEICULAR _____	115

Lista de Figuras

Figura 1 – A carruagem motorizada de J. J. Lenoir de 1860. -----	6
Figura 2 – Gráfico de registro de veículos automotores nos EUA de 1900 a 2001, em milhares de veículos (x1.000). -----	8
Figura 3 – Sr. e Sra. Ford no seu primeiro carro, o Quadriciclo. -----	10
Figura 4 – O Mixte, o primeiro veículo híbrido-elétrico. -----	11
Figura 5 – Figura da patente do veículo híbrido de Pieper. -----	11
Figura 6 – Preço médio do galão de gasolina em valores da época e corrigidos para valores de 2011. -----	16
Figura 7 – Histórico do preço do petróleo cru e alguns eventos mundiais 1861-2012. -----	18
Figura 8 – Relação da importação de petróleo da China com os preços. -----	19
Figura 9 – Componentes do consumo final de energia de cada setor da Alemanha. -----	20
Figura 10 – Componentes do consumo final de energia de cada setor da Coreia do Sul. -----	20
Figura 11 – Componentes do consumo final de energia de cada setor dos Estados Unidos. -----	21
Figura 12 – Componentes do consumo final de energia de cada setor da França. -----	21
Figura 13 – Componentes do consumo final de energia de cada setor do Japão. -----	22
Figura 14 – Componentes do consumo final de energia de cada setor do Reino Unido. -----	22
Figura 15 – Consumo final de energia do mundo por combustíveis de 1971 a 2009. -----	23
Figura 16 – Participação dos combustíveis no consumo total de 1973 e 2009. -----	23
Figura 17 – Consumo de derivados de petróleo no mundo em 1973. -----	24

Figura 18 – Consumo de derivados de petróleo no mundo em 2009.-----	24
Figura 19 – Estrutura do consumo no Brasil de energia em geral no setor de transportes. ----	25
Figura 20 – Histórico percentual do consumo de combustíveis no setor de transportes nos EUA. -----	26
Figura 21 – Investimento em fontes de energia renovável de forma geral em vários países.--	27
Figura 22 – Exemplo de anúncio de octanagem obtida da média dos valores RON (R) e MON (M).-----	31
Figura 23 – Emissões alocadas por setores. -----	35
Figura 24 – Exemplo do programa de etiquetagem veicular norte-americano vinculado à informação dos consumidores.-----	37
Figura 25 – Diferença no volume de combustível consumido no Brasil e Estados Unidos. ---	41
Figura 26 – Estatísticas para o número total de BPEV’s e HEV’s rodando no Japão.-----	47
Figura 27 – Participação do diesel no registro de veículos de passeio novos na UE.-----	54
Figura 28 – Tendência da média da frota veicular de peso e eficiência.-----	58
Figura 29 – Tendências de eficiência e massa (1990=1).-----	58
Figura 30 – Comparação de dados de um motor 3,0l de aspiração natural com um de 1,5l e sobre-alimentador (supercharger) de alta eficiência.-----	65
Figura 31 – Comparação do sistema de válvulas de um motor com comando de levantamento fixo (Motor PFI) e um com sistema continuamente variável (Motor EMV). -----	66
Figura 32 – Dados comparando um motor de injeção na entrada de válvula (Motor PFI – “Port Fuel Injection”) com um motor de injeção direta de combustível (Forward-tumble DI). -----	67
Figura 33 – Variações de CO, HC e NOx para vários combustíveis na relação ótima, como referência em gasolina como 100% e proporções de etanol (E15 e E30).-----	68

Figura 34 – Crescimento do núcleo de chama captado por câmera schlieren para diferentes combustíveis. -----	70
Figura 35 – Crescimento do núcleo de chama captado por câmera schlieren para misturas estequiométricas de E15 (15% de Etanol) e Gasolina, intervalo de tempo de 4 ms. -----	70
Figura 36 – Comparação da quantidade de calor liberado pelos combustíveis na combustão em suas relações estequiométricas para um período NVO do motor estudado em caso HCCI.71	
Figura 37 – Evolução percentual do consumo de gasolina e etanol no Brasil. -----	72
Figura 38 – Gráfico do rendimento térmico (η_t) pela taxa de compressão (r_v) com aproximação do ciclo ideal a ar para a utilização dos combustíveis líquidos reais. -----	74
Figura 39 – Limite de detonação de acordo com a taxa de compressão e a porcentagem de etanol adicionado à gasolina. -----	75
Figura 40 – Esquema de combustão: (a) adiantada, e (b) atrasada. -----	76
Figura 41 – Influência do avanço da ignição no torque do motor ensaiado para gasolina tipo C (gasolina com 20 a 25% de etanol) até Etanol Hidratado puro usando dois tipos de bicos injetores (Fire e HiTorque). -----	76
Figura 42 – Influência do ponto de ignição no ciclo Otto real: (a) refere-se à centelha atrasada; (b) refere-se à centelha adiantada. -----	77
Figura 43 – Evolução do excesso de consumo de combustível dos veículos <i>flex fuel</i> utilizando gasolina. -----	82
Figura 44 – Evolução da importação de gasolina e produção de etanol no Brasil. -----	83
Figura Ap.1 – Principais partes do Motor Ciclo Otto. -----	89
Figura Ap.2 – Características geométricas de um motor de combustão interna alternativo. ---	90
Figura Ap.3 – Representação de ciclo Otto real de motor 4T e ciclo Otto Ideal. -----	93
Figura Ap.4 – Variação da pressão pré-combustão da mistura no cilindro de acordo com r_v . -98	

Figura Ap.5 – Variação da temperatura pré-combustão da mistura no cilindro de acordo com r_v .	98
Figura Ap.6 – Diagrama do funcionamento de uma máquina térmica.	99
Figura A.1 – Polo Turbo-TRIFUEL	114

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Evolução aproximada da octanagem média da gasolina e taxa de compressão nos EUA. -----	Erro! Indicador não definido.
Tabela 2 – Octanagem da gasolina de acordo com o método de ensaio e obtenção.-----	30
Tabela 3 – Condições de funcionamento para os métodos RON e MON. -----	31
Tabela 4 – Comparativo entre propriedades da gasolina e do etanol.-----	32
Tabela 5– Metas (revisado em 2001) para veículos de energia limpa no Japão. -----	44
Tabela 6 – Resultados de programas regulatórios e metas voluntárias. -----	56
Tabela 7 – η_t em função de r_v -----	79
Tabela 8 – Número de vendas de veículos por combustível no Brasil (alcool, gasolina e flex).80	
Tabela 9 – Cálculo do excesso de consumo de combustível dos veículos <i>flex fuel</i> usando exclusivamente gasolina. -----	81
Tabela 10 – Evolução do excesso de consumo de combustível dos veículos <i>flex fuel</i> usando gasolina, no Brasil. -----	81
Tabela 11 – Histórico da Importação de gasolina e produção de etanol no Brasil. -----	82
Tabela Ap.1 – Condição Pré-combustão de acordo com a r_v .-----	97
Tabela A.1 – Corsa MultiFUEL -----	113
Tabela A.2 – Polo Turbo-TRIFUEL -----	114
Tabela B.1 – Avaliação de consumo e eficiência do programa de etiquetagem veicular brasileiro. -----	116

Simbologia

Letras Latinas

c_p	Calor específico a pressão constante
c_v	Calor específico a volume constante
d	Diâmetro do cilindro
H	Entalpia
k	Constante adiabática do gás
L	Curso do pistão
m	Massa
n	Número de cilindros do motor
p	Pressão
Q	Calor do ciclo termodinâmico
R	Constante universal dos gases perfeitos
r_v	Taxa de compressão (relação de compressão ou relação volumétrica)
s	Entropia
U_x	Energia interna do sistema termodinâmico no estado x
v	Volume específico
V_c	Volume da câmara, ou volume morto
V_d	Volume deslocado pelo pistão

V_t	Cilindrada total do motor
W	Trabalho do ciclo termodinâmico
Δ	Variação entre dois estados
η_t	Rendimento térmico

Siglas

4WD	“Four Wheel Drive”, (Tração nas Quatro Rodas)
ABS	“Anti-locking Braking System”, (Sistema de Freio Anti-travamento)
ACE	“Advanced Clean Energy”, (Programa de veículos de Energia Limpa Avançada)
ACEA	“European Automobile Manufacturers Association”, (Associação dos Fabricantes de Automóveis da Europa)
AEAC	Álcool Etílico Anidro Combustível
BPEV	“ Battery Powered Electric Vehicle”, (Veículo elétrico à bateria)
BSFC	“Brake Specific Fuel Consumption”, (Consumo de Combustível Específico)
CAFE	“Corporated Average Fuel Economy”, (Média de consumo associada a economia de combustível de veículos norte-americanos)
CCS	“Carbon Capture and Storage”, (Captura e Armazenagem de Carbono)
CEAMAT	“Computer Energy Analysis Model for All Transportation”, (Modelo de Análise Energética Computacional para todos os Transportes)
CEV	“Clean Energy Vehicle”, (Veículos de Energia Limpa)
CNGV	“Compressed Natural Gas Vehicle”, (Veículo a gás natural comprimido)
DI	“Direct Injection”, (Injeção Direta)
DOE	“Department of Energy”, (Departamento de Energia Norte-americano)
E85	Mistura de Etanol na Gasolina com neste caso 85% de Etanol e 15% de Gasolina

EA	“Environmental Agency”, (Agência Ambiental)
EGR	“Exhaust Gas Recirculation”, (Recirculação dos Gases de Escape)
EMV	“ElectroMagnetic Valvetrain”, (Trem de Válvulas Eletromagnéticas)
EPA	“Environmental Protection Agency”, (Agência de Proteção Ambiental)
ETBE	Éter Etil-Terc-Butílico
EUA	Estados Unidos da América
EV	“Electric Vehicles”, (Veículos Elétricos)
FCEV	“Fuel Cell Electric Vehicle”, (Veículo Elétrico à Célula de Combustível)
GASA	Gasolina Tipo A
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
HC	Hidrocarboneto
HCCI	“Homogeneous Charge Compression Ignition”, (Ignição por Compressão de Carga Homogênea)
HEV	“Hybrid Electric Vehicle”, (Veículo Híbrido Elétrico)
HSC	“Heavy Super Charged”, (Alta Sobrealimentação)
IEA	“International Energy Agency”, (Agência Internacional de Energia)
ITS	“Intelligent Transport Systems”, (Sistemas de Transporte Inteligentes)
JAMA	“Japan Automobile Manufacturers Association”, (Associação dos Fabricantes de Automóveis do Japão)

JARI	“Japanese Automotive Research Institute”, (Instituto de Pesquisa Automotiva Japonês)
JEVA	“Japanese Electric Vehicle Association”, (Associação do Veículo Elétrico Japonês)
KAMA	“Korean Automobile Manufacturers Association” (Associação dos Fabricantes Koreanos de Automóveis)
LCA	“Life Cycle Analysis”, (Análise de Ciclo de Vida)
LEV	“Low Emission Vehicle”, (Veículos de Baixa Emissão)
LEVO	“Low Emission Vehicle Organization”, (Organização de Veículos de Baixa Emissão)
MCI	Motores de Combustão Interna
MIT	“Massachusetts Institute of Technology”, (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
MITI	“Ministry of International Trade and Industry”, (Ministério do Comércio e Indústria Internacional)
MOT	“Ministry of Transportation”, (Ministério do Transporte)
Mtoe	Mega tonelada equivalente de Petróleo
NEDO	“New Energy and Development Organization”, (Organização de Desenvolvimento e Novas Energias)
NVO	“Negative Valve Overlap”, (Cruzamento Negativo de Válvulas)
OPEP	Organização dos Países Exploradores de Petróleo
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PBEV	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PCI	Poder Calorífico Inferior
PFI	“Port Fuel Injection”, (Injeção de Combustível na Válvula)
PHEV	“Plug-in Hybrid Electric Vehicle”, (Veículo Híbrido Elétrico Conectável)
PMI	Ponto Morto Inferior

PMS	Ponto Morto Superior
PROÁLCOOL	Programa de Incentivo do Álcool Combustível
RFS	“Renewable Fuels Standard”, (Padrões de Combustíveis Renováveis)
rpm	Rotações por minuto
SOHC	“Single OverHead Camshaft”, (Comando de Válvula Único no Cabeçote)
UE	União Européia
UNECE	Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa
US	“United States”, (Estados Unidos)
V8	Motor de oito cilindros dispostos em V
VTEC	“Valve Timing Electronic Controlled”, (Tempo de Válvula Controlado Eletronicamente)
VVT	“Variable Valve Timing” (Tempo de Válvula Variável)
WE-NET	Programa “World Energy Network”, (Rede Energética Mundial)
ZEV	“Zero Emission Vehicle”, (Veículo de emissão zero)

Capítulo 1

INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

Desde 1858 com a invenção e desenvolvimento dos automóveis houve também o domínio do petróleo e seus derivados como fonte de energia para este meio de transporte tão necessário. No entanto o vínculo de dependência com o petróleo acabou posteriormente gerando outras preocupações no manejo e obtenção para suprir o grande crescimento da sociedade e seus meios de transporte (primeiramente nos EUA com a indústria automobilística).

Crescimento dos veículos que ocorreu no século 20, expandindo a demanda de forma mundial de combustíveis (gasolina e diesel) então, no início do século 21 percebeu-se que a queima destes combustíveis é considerada poluente da atmosfera, causando as alterações climáticas devido à emissão de gases do efeito estufa (GEE) e saturação de carbono.

De acordo com Vianna et al (2009), as mudanças no preço do petróleo (principalmente em 1973 e 1979) ajudaram a impulsionar e viabilizar, mundialmente, o desenvolvimento de tecnologias alternativas para os meios de transporte. Vidal (2005b) descreveu alguns problemas no histórico do Brasil na produção e desabastecimento (durante o Programa Nacional do Álcool - Proalcool) de combustíveis alternativos para motores de combustão interna (MCI) alternativos.

O desenvolvimento mundial na área de fontes renováveis de energia e a diminuição da

dependência do petróleo é uma realidade e no setor dos transportes, não é diferente. Em todos os países de grande economia e consumo de energia há algum tipo de política energética que remete ao desenvolvimento no setor de transportes e a utilização de fontes alternativas e renováveis de energia (GOLDSTEIN E AZEVEDO, 2006).

Fontes do Departamento de Energia dos EUA (DOE – Department of Energy), mostram as ações de incentivo para as tecnologias mais eficientes e limpas (automóveis híbridos dentre outros), ou até de emissão zero, como veículos puramente elétricos mostrados em Progress Report (2010).

O consumo de energia elétrica também é uma preocupação nos transportes, pois necessita de uma fonte limpa para a utilização em veículos puramente elétricos. Atualmente em vários países e de diferentes formas ocorre o incentivo aos veículos híbridos, sendo uma das melhores opções de transição para novas tecnologias limpas, como a célula de combustível por exemplo. Como citado anteriormente, nos EUA ocorre um grande incentivo nesta área, principalmente pelo grande consumo de petróleo e pela variação do preço de acordo com os conflitos das principais regiões produtoras (HEYWOOD et al, 2009).

Por isso, os principais países desenvolvedores de tecnologia automotiva são os que buscam maiores e melhores aprimoramentos na eficiência energética automotiva, conforme o Capítulo 3 mostra para EUA (Estados Unidos da América), Japão e UE (União Européia), a partir da necessidade predominante de melhoria na eficiência energética automotiva.

Em 2012 o governo brasileiro apresentou medidas nesse sentido (Programa Inovar-Auto), então se torna ainda mais importante este levantamento da questão no panorama brasileiro com relação a eficiência energética automotiva e implicações no uso dos veículos *flex fuel* (DECRETO N°7.819, 2012).

Desde a criação no Brasil do programa nacional de incentivo ao álcool etílico ou etanol e do renascimento do uso do etanol em 2005, não houve grandes desenvolvimentos nessa área, o mais recente é a “adaptação” dos motores para utilizarem tanto gasolina como etanol sem distinção simultaneamente. Atualmente no Brasil estão sendo desenvolvidos motores bicomustíveis que começam a se mostrar mais evoluídos em relação à utilização do etanol que pelo programa INOVA ENERGIA (2013) aponta justamente este caminho.

Porém, analisando os combustíveis e como apresentado por Melo (2005) e Heywood et

al (2009) há diferenças na utilização da gasolina e do etanol em motores *flex fuel*, o que dá margem para o estudo de aprimoramento destes motores para melhor utilização de combustíveis específicos.

Sharp (2006), relata o aumento da taxa de compressão e potências específicas maiores mesmo com a pressão das legislações no quesito da emissão de poluentes, pois comparando com os automóveis no início das restrições normativas de emissões de poluentes, houve uma diminuição da potência dos veículos no intuito do maior controle da queima e consequente redução da emissão de poluentes que será comentado dentro das políticas energéticas.

Baseado nestes fatos apresentados, este trabalho está assim estruturado.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da história dos automóveis mostrando quando acontece o início da dependência da gasolina (consequentemente do petróleo), quando ocorreram as evoluções de sua obtenção e a melhoria da qualidade (octanagem e taxa de compressão) para se buscar suprir a demanda crescente de gasolina nos automóveis. Ainda no mesmo capítulo apresenta-se a demanda de combustíveis no mundo atual para o setor de transportes bem como o impacto do setor na consequente emissão de poluentes através da queima dos combustíveis fósseis, assim como a perspectiva dos combustíveis renováveis.

No Capítulo 3 é apresentada a consequência da dependência do petróleo e os problemas relacionados às regiões produtoras, que geraram uma consciência de redução do uso do petróleo, investimentos e cobrança por parte da iniciativa privada e pública para que ocorra avanços na eficiência da utilização dos combustíveis por parte do setor dos transportes, através das políticas energéticas automotivas, mostrando inclusive, comparativos de avanços entre as principais regiões do mundo desenvolvidoras de tecnologia veicular.

No Capítulo 4 é feita a apresentação de algumas das principais evoluções recentes relacionadas a MCI (Motores de Combustão Interna) alternativos a gasolina, e mostrados trabalhos relacionados ao aprimoramento de MCI utilizando o etanol como combustível. Dentro da utilização bem difundida dos veículos *flex fuel* com relação aos combustíveis gasolina e etanol, é discutido o uso destes veículos e seu consequente prejuízo na busca da eficiência energética veicular almejada e salientada por Heywood et al (2009).

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões sobre a utilização dos veículos *flex fuel* exclusivamente com gasolina, os impactos na evolução da eficiência energética brasileira,

bem como, o início de políticas mais concretas para tal, propondo a continuidade dos estudos através de trabalhos futuros.

No Apêndice A é apresentado o desenvolvimento da teoria que serve de base para a discussão a ser apresentada na utilização dos MCI, uma análise de condições pré-combustão e do equacionamento do rendimento térmico baseado em parâmetros do motor e do combustível.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desta dissertação são:

- Analisar as políticas energéticas automotivas nos principais países desenvolvedores de tecnologia veicular (considerando EUA, Japão e UE);
- Analisar a utilização dos veículos *flex fuel* com relação à utilização de gasolina e etanol no panorama brasileiro;
- Dar perspectiva de melhora da eficiência energética automotiva brasileira juntamente com a evolução da motorização a etanol.

Capítulo 2

REVISÃO HISTÓRICA DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA ALTERNATIVOS E O CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS

Considerando que o início da história dos automóveis começa com a utilização dos motores de combustão interna alternativos alimentados por derivado líquido de petróleo, que é o conceito da atualidade para motores, então iniciado na França Jean Joseph Etienne Lenoir inventou um motor de combustão interna em 1858, que patenteou em 1860 seguindo estes princípios (FERNANDES, 2002).

Usando ignição por centelha elétrica porém sem compressão, Lenoir mostrou um motor para a imprensa com uma carburação primitiva (sistema de alimentação do motor), construída em 1862 e instalada em 1863 em uma carruagem de três rodas (Figura 1). Com este veículo, Lenoir percorreu 18 km de ida e volta de Paris a Joinville-le-Pont, demonstrando o primeiro veículo abastecido com derivado de petróleo e ignição por centelha com utilidade rodoviária. Contudo esta atuação de Lenoir não perseverou (FERNANDES, 2002 e MOTORERA.COM, 2012).

No texto de Motorera.com (2012), são relatados outros desenvolvimentos que aconteciam na época.

Alphonse Beau de Rochas foi um engenheiro civil auto-didata que

trabalhando em um laboratório em Paris, em 1861 foi o primeiro a mostrar teoricamente um ciclo de quatro tempos e seu diagrama de pressões, porém nunca construiu um motor.

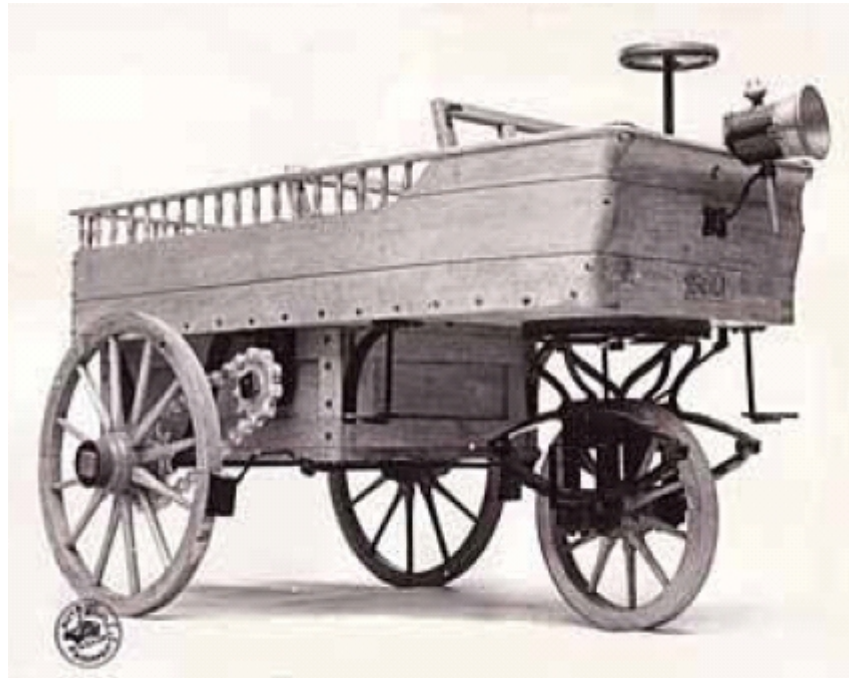


Figura 1 – A carruagem motorizada de J. J. Lenoir de 1860.

Fonte: FAIRBANKS (2004).

Nikolaus August Otto foi um mercador que deixou os negócios para realizar experimentos em motores a gasolina aos 22 anos. Em 1862 tinha um motor em Cologne que funcionava a pressão atmosférica e produziu por volta de 50 unidades por ano. Ele percebeu a importância da compressão, ainda inventando a estratificação da carga do cilindro e seu primeiro motor de quatro tempos experimental funcionou em 1876.

Siegfried Marcus foi um inventor que viveu em Viena. Ele tinha um motor quatro tempos funcionando em 1870. Entre 1870 e 1875, instalou em uma pequena carruagem, então é de 1875 o veículo de quatro rodas de Marcus, apesar de ser datado no Museu Técnico de Viena de 1888, porém na descrição é um veículo de 1875.

George Brayton de Boston nos EUA desenvolveu um motor com pré-combustão, funcionando com combustível leve de petróleo, em 1874 e este foi

considerado o primeiro motor construído a derivado de petróleo prático e seguro. Porém para a compressão da carga o motor necessitava de dois cilindros de bombeamento externo.

George B. Selden, advogado de patentes de Rochester, N. Y. nos EUA, preencheu uma patente para “motor rodoviário” em 1879, que devido as leis de patentes liberais na época conseguiu retroceder a data de patente para 1877 e constantemente promovia emendas e expansões na patente. Quando em 1895 esta patente abrangia uma carruagem de tração dianteira, de três cilindros e com motor transversal. Embora ele nunca tenha construído um carro, Selden usava suas patentes para extrair pagamentos de direitos dos novos fabricantes americanos em cada carro construído. Porém quando processou Ford por não pagar seus direitos teve de construir um veículo em 1904 aproveitando os avanços da época, no entanto o dito veículo de “1877” de Selden não funcionava bem e sua patente foi fechada em 1911.

Em 1886, Karl Benz e Gottlieb Daimler (Daimler-Benz, fabricantes dos carros Mercedes-Benz) inventaram um veículo de transporte pessoal de três ou quatro rodas com motor de combustão interna que usava combustível líquido.

Tendo os carros experimentais de Daimler e Benz, outros iniciaram a produção de automóveis como, Panhard e Levassor em 1889 e Peugeot em 1891 (ambos utilizavam motores de Daimler no início da produção). Em 1894 na França desenvolveu-se as corridas para os motores, que alavancavam os desenvolvimentos dos entusiastas.

A estruturação da indústria automotiva iniciou-se na década de 1890, com centenas de fabricantes desbravando o novo mercado e isto em grande parte nos EUA, que lideravam a produção.

Segundo a Popular Science (1929) em 1929 antes da grande depressão norte-americana o mundo tinha 32.028.500 automóveis em uso e a indústria automotiva dos EUA produziu mais de 90% destes. O volume de veículos registrados segundo a Figura 2 do censo norte-americano, onde em 1900 foram 8.000 veículos registrados e em 2001 foram 235.331.000 veículos.

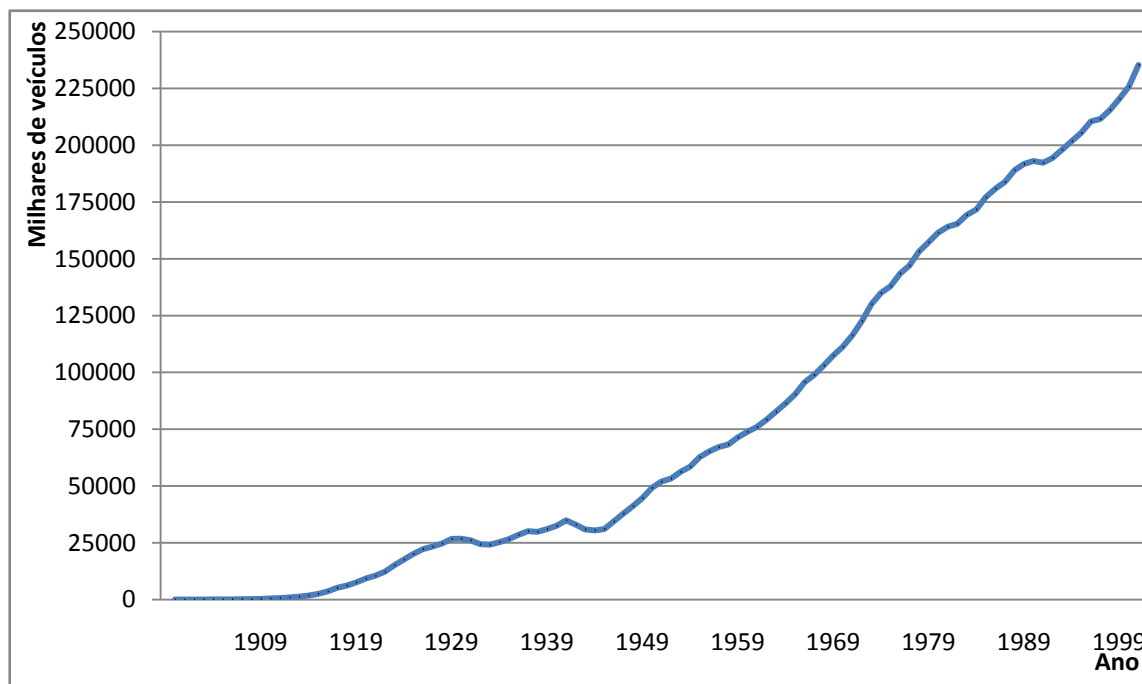


Figura 2 – Gráfico de registro de veículos automotores nos EUA de 1900 a 2001, em milhares de veículos (x1.000).

Fonte: United States Census Bureau (2012)

A evolução dos MCI ocorreu juntamente com o desenvolvimento dos derivados do petróleo (diesel e principalmente gasolina). No início do mercado petrolífero existia o monopólio americano de Rockefeller que em 1880 detinha 90% da capacidade de refino de petróleo, sendo que duas décadas após surgiu o início da difusão da gasolina como combustível nos automóveis (GASOLINE, 2001).

Também, dentro do desenvolvimento dos MCI é importante citar uma primeira visão e utilização com biocombustíveis, apresentada por Rudolf Diesel, que criou o motor à diesel visando a utilização de óleos vegetais para uma melhor e prática maneira de abastecer os motores em 1895, considerando a produção descentralizada do combustível vegetal (BLUME, 2007).

Considerando então a diferença entre o Ciclo Otto (objeto do trabalho) que abrange os motores com ignição por centelha (taxas de compressão menores) e o Ciclo Diesel como os motores onde a ignição é realizada pela compressão do combustível (taxas de compressão maiores).

No caso do Ciclo Otto, é comprimida a mistura ar e combustível para a centelha inflamar a mistura, sendo no Ciclo Diesel a compressão somente do ar e injetado diretamente

o combustível sob alta pressão que inflama pelas condições de compressão da câmara de combustão (sem necessidade de centelha), que conduz a combustíveis de características diferentes para os motores que funcionam com Ciclo Otto e os motores que funcionam baseados no Ciclo Diesel.

Foi apresentado em 1900 na Exposição Mundial de Paris o motor de Diesel funcionando com óleo de amendoim. Isto mostra a visão do seu inventor, que depois de muito tempo através da viabilidade econômica e a necessidade ambiental para voltar ao seu pensamento de origem (biodiesel e óleos vegetais in natura como combustíveis), porém na época o óleo diesel derivado do petróleo cumpriu bem o papel de funcionar nos motores do ciclo criado por Rudolf Diesel com preços mais competitivos (SZWARC, 2003).

Além disso Rudolf Diesel projetou o motor ciclo Diesel para uma taxa de compressão de 30:1 em 1893, mas na prática foi construído em 18:1 devido aos vazamentos pelos anéis e válvulas por causa do nível tecnológico da época para a precisão de fabricação (PLETCHER, 1998).

Assim como Rudolf Diesel, em 1896, Henry Ford, o fundador de uma das maiores companhias automotivas (Ford Motor Company, fundada em 1903) e criador da produção em série de automóveis, projetou seu primeiro carro, o “Quadriciclo” para rodar com etanol puro (Figura 3).

Em 1908, Ford produziu o famoso Ford Modelo T, capaz de rodar a gasolina, etanol ou com a combinação de ambos. Fato é que Henry Ford se interessou e via o álcool (etanol) como um combustível do futuro (mesma motivação de Rudolf Diesel). Ele defendeu o álcool até mesmo durante a proibição nos EUA, porém a gasolina prevaleceu como opção mais barata (GOLDENSTEIN, 2006 e DATTA, 2010).



Figura 3 – Sr. e Sra. Ford no seu primeiro carro, o Quadriciclo.

Fonte: BUSHNELL, 1922.

Segundo Blume (2007) o modelo T de Ford (produzido de 1908 a 1927) consumia por volta de 14 km/l de gasolina, que é uma autonomia interessante, desconsiderando potência e conforto. Tinha um motor de 2,9 l de cilindrada (volume total deslocado de 4 cilindros), potência de 20 hp (14,92 kW ou 20,28 cv) a 1800 rpm e velocidade máxima de 68 km/h (AUTOEVOLUTION.COM, 2013). Na primeira década do século XX a quantidade de veículos movidos a gasolina passou de 10.000 para mais de 500.000, o que criou uma enorme demanda para o consumo do combustível (GASOLINE, 2001).

Com o consumo de combustível aumentando de forma muito rápida, fazia-se necessário mais petróleo para se extrair o máximo possível de gasolina dele, iniciando a busca mundial por petróleo.

No desenvolvimento dos veículos, também ocorreram desenvolvimentos em veículos híbrido-elétricos (HEV) que serão abordados posteriormente (Capítulo 4). Em 1900, Ferdinand Porsche enquanto empregado na Fábrica Lohner Coach desenvolveu o Mixte (Figura 4), um veículo híbrido de quatro rodas tracionadas (4WD – tração nas quatro rodas), de produção em série, sendo uma versão da Carruagem elétrica do “Sistema Lohner-Porsche” que apareceu anteriormente na Feira Mundial de Paris de 1900 (LAWRENCE, 2009).

O Mixte incluía um par de geradores comandados por MCI’s Daimler de 2,5 hp para aumentar a faixa de operação, um motor a gasolina alimentando um gerador, e um pequeno conjunto de baterias que dava estabilidade de fornecimento de potência elétrica para os motores elétricos (LAWRENCE, 2009).

Este veículo foi apresentado no Paris Auto Show em 1901 e quebrou vários recordes de velocidade austríacos, também ganhou o Rally Exelberg em 1901 com o próprio Porsche pilotando (THEAUTOPARTSSHOP.COM, 2013).

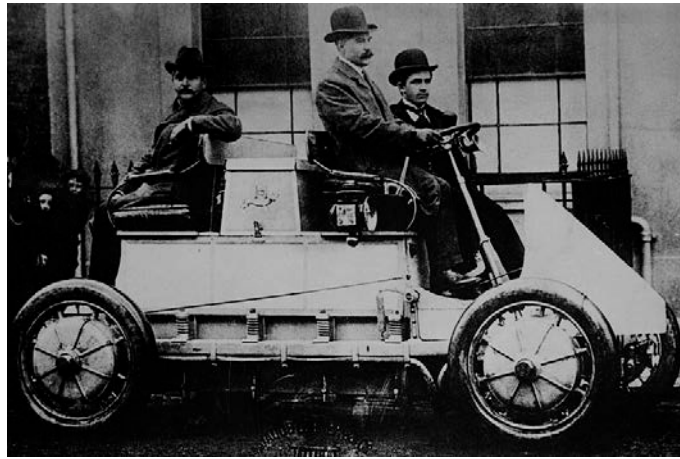


Figura 4 – O Mixte, o primeiro veículo híbrido-elétrico.

Fonte: REVISTA AUTOMOBILE, 2009.

Em 1905, Henri Pieper introduziu um veículo híbrido com motor/gerador elétrico (Figura 5 da patente de Pieper), baterias e um pequeno motor a gasolina. Este usava o motor a combustão para carregar suas baterias na velocidade de cruzeiro e usava ambos os motores (combustão e elétrico) para acelerar ou subir uma elevação. Então a fábrica de Pieper foi tomada pela fabricante Imperia (empresa germano-belga) depois de sua morte (WOUK, 1997).

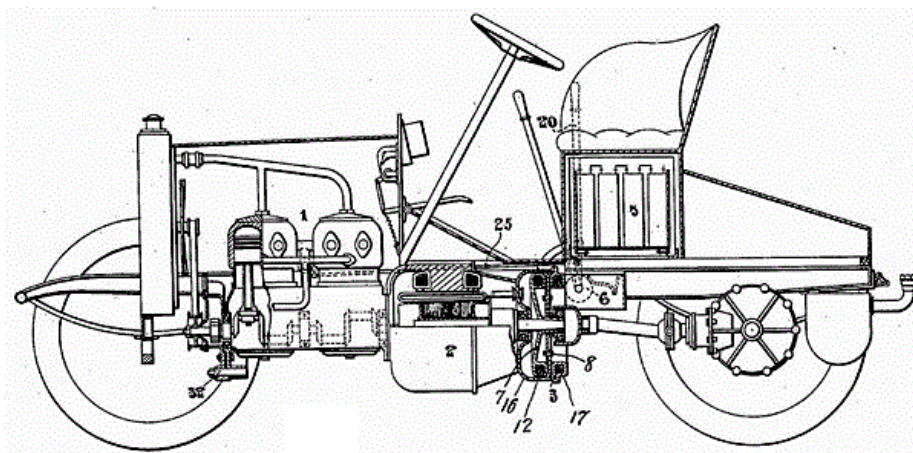


Figura 5 – Figura da patente do veículo híbrido de Pieper.

Fonte: VOELCKER, 2009.

O “Dual Power” de 1915, feito pelo fabricante de carros elétricos Woods Motor Vehicle, tinha um MCI de quatro cilindros e um motor elétrico, que abaixo de 15 mph (25

km/h) funcionava sozinho através da energia da bateria, e acima desta velocidade o motor “principal” atuava para impulsionar o carro a 35 mph (55 km/h) de velocidade máxima. Foram produzidos 600 unidades até 1918 (HYBRID INFO, 2007).

No Brasil apesar de não haver o mesmo desenvolvimento da época, na década de 1920, a Usina Serra Grande (Alagoas) produziu o ‘Usga’, combustível para automóveis a gasolina feito de etanol, éter etílico (fabricado com etanol, conhecido como ETBE) e óleo de mamona, pois a produção e aproveitamento de gasolina advindo do petróleo ainda era fraca e ruim na época (GALEMBECK, 2011).

Nesta mesma época, de 1920 a 1933, foi imposta nos EUA a Lei Seca, que proibia a produção e o comércio de bebidas destiladas. Com esta manobra a indústria petrolífera também conseguiu acabar com a produção do etanol que competia para abastecimento dos carros da época (várias fazendas destilavam álcool, enquanto existiam poucos postos de abastecimento de gasolina).

As melhorias dos motores se devem principalmente ao aumento da octanagem da gasolina (resistência a auto-detonação nas condições pré-combustão), pois no início dos motores ciclo Otto a taxa de compressão (r_v) era de 4:1 (ver Apêndice A sobre a taxa de compressão) em consequência da baixa octanagem. Porém melhorias em 1922 com a adição do ChumboTetraEtila (aditivo anti-detonante) e melhorias do processo de refino (como o craqueamento térmico inventado em 1913), obteve-se gasolinas com melhores octanagens que permitiram o aumento da taxa de compressão (PLETCHER, 1998). Segundo Pletcher (1998), em 1932 os Modelos A e B de Ford tinham r_v respectivamente de 4,2 e 4,6:1, sendo que os primeiros motores V8 “flathead” (válvulas laterais ao pistão) tinham $r_v = 5,5:1$. Já em 1935 devido a melhorias na qualidade e processos de obtenção de gasolinas (craqueamento catalítico de 1937) mais resistentes à detonação (número de octanas) a taxa de compressão acompanhou e já estava tipicamente entre 6 e 7:1.

Com a crescente demanda por gasolina nos maiores mercados da época de automóveis, EUA e Europa, necessitavam da produção de mais gasolina do que estes conseguiam prover na época (perdura atualmente), a descoberta de petróleo no Oriente Médio em 1938 veio resolver o fornecimento de petróleo. Mesmo sendo continuamente aprimorado o processo de obtenção de gasolina a partir do petróleo, assim como sua qualidade, que vinha ditando a melhoria dos motores como a octanagem, que inicialmente era entre 20 e 30 e depois

aprimorada para o patamar de 50 com a mistura com gasolina de 70 octanas (obtenção mais nobre como pelo craqueamento), isto por volta da década de 1930 como ilustra a Figura 6.

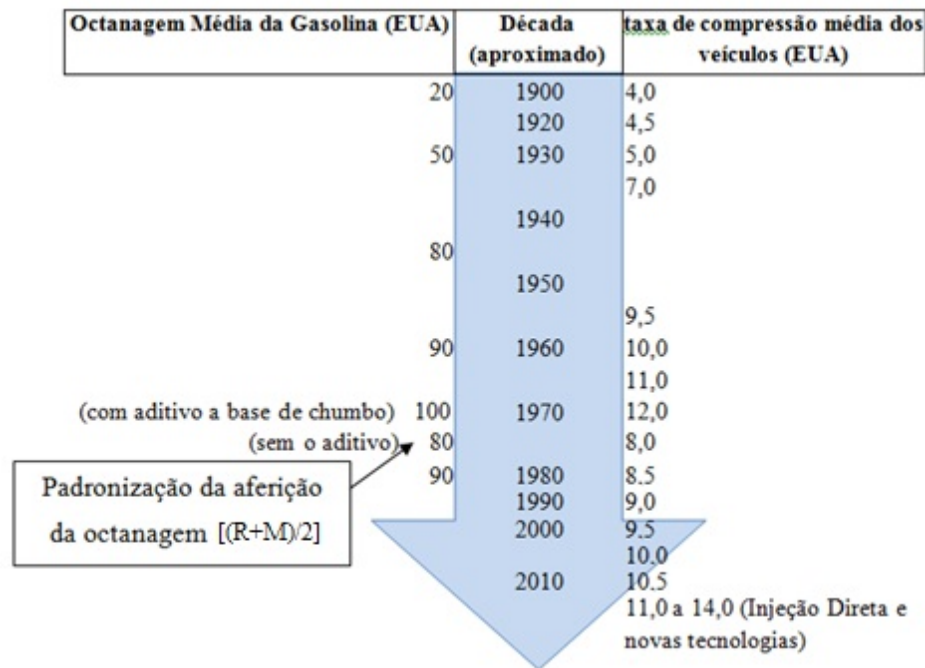


Figura 6 – Evolução aproximada da octanagem média da gasolina e taxa de compressão nos EUA.

Fonte: Dados de Pletcher (1998) e Stevenovosite.com (2010).

Em 1942, no Brasil, que ainda não aspirava à produção de gasolina foi instalada uma grande usina alcoolquímica em uma área vizinha a Campinas (SP), hoje pertencente ao município de Paulínia. Essa foi uma das primeiras grandes usinas alcoolquímicas no mundo relatado por Galembeck (2011) e que depois teve sua importância na produção de álcool combustível.

Daí então o mercado dos combustíveis e motores foi se desenvolvendo, havendo um grande salto de melhoria dos combustíveis na 2ª Guerra Mundial, para suprir as necessidades da guerra. Posteriormente, todo o desenvolvimento automotivo foi voltado ao mundo capitalista e ao seu consumismo. Então o estilo de vida americano e o alto consumo dos automóveis grandes e pouco eficientes gerou uma época de grande crescimento econômico.

Portanto, houve saltos na octanagem da gasolina, que tinha em 1946 o valor de 79 octanas na regular e 85 para a premium, conseqüentemente as taxas de compressão melhoraram também. Em 1951 quase todos os carros tinham r_v entre 6,5 e 7:1. Na segunda metade da década de 50 a gasolina regular já se encontrava com 86 octanas e a Premium 94.

Em 1958 a octanagem da gasolina regular (comum) tinha em média 90 octanas e a Premium em torno de 98-99 octanas. Com isto, em Detroit nos EUA, cidade das grandes fabricantes de automóveis da época, eram produzidos motores com taxas de compressão que chegavam até 10:1, que é algo dentro da atual realidade, com boa octanagem e motores com melhor desempenho (STEVENOVASITE.COM, 2010).

A corrida por melhoria na octanagem da gasolina e a consequente melhoria dos motores pelos fabricantes manteve-se até a década de 70, com taxas de compressão variando entre 9 e 10:1 e, com casos particulares de até 11:1 para alta performance onde os aditivos eram os responsáveis (incluindo os aditivos à base de chumbo).

Contudo, ao se descobrir a toxicidade dos aditivos à base chumbo e sua utilização, ocorreu o banimento dos mesmos na década de 70, pelo Ato do Ar Puro dos Estados Unidos da América (Capítulo 4 em ACES, 2009). Consequentemente as taxas de compressão caíram para algo entre 8:1 por causa na queda na octanagem do combustível. Somando aos fatos, houve alteração do método de teste da octanagem, fazendo alusão a uma maior queda dos valores (média dos métodos RON e MON). No entanto, melhorias ocorreram no decorrer desse período para recuperar o desempenho dos motores e também suprir características como a lubrificação das válvulas do motor, realizada pelos aditivos à base de chumbo (WILLIAM E ANDERSON, 2013).

Após a descoberta da grande quantidade de petróleo no Oriente Médio, esta região passou a ser a principal fornecedora deste produto. EUA e Europa compravam o petróleo a preços baixos, para produzir os combustíveis utilizados para movimentar suas economias, que utilizavam grandes volumes de gasolina.

Porém, em 1973 conheceu-se a primeira crise do petróleo, consequência da guerra do Yom Kippur, cujo nome representa um feriado santo para os judeus. No dia 6 de outubro de 1973, vários povos islâmicos atacaram de surpresa o estado de Israel que posteriormente contra-atacou. O contra-ataque de Israel foi intenso a ponto de chamar a atenção da Rússia que dava suporte aos islâmicos e dos EUA que davam suporte aos israelenses. Diante do panorama de avanço de Israel, os países árabes organizados na OPEP para se defender do apoio dos EUA ao povo Israelense que avançava seu contra-ataque e também, do monopólio dos preços praticados pelas empresas de petróleo ocidentais (que mantinham o preço baixo), fez restrições às exportações para os países aliados de Israel (basicamente os EUA)

(PEREIRA, 2008).

Ocorrido o embargo aos EUA e aliados, o preço do petróleo aumentou em mais de 300%, criando uma crise na economia mundial, que era movimentada pelos derivados do petróleo (principalmente gasolina). Tanto no Brasil quanto nos EUA ocorreu o fechamento de postos de combustíveis aos domingos no intuito de conter o consumo e a falta de gasolina (PEREIRA, 2008).

Na Figura 7 é apresentada a influência das crises do petróleo no preço da gasolina mostrando os preços da época e os representados em valores corrigidos para o valor monetário de 2011. Com isso exibe a variação do preço da gasolina em relação ao poder aquisitivo corrigido para a data do levantamento, percebendo que nos últimos anos o custo do combustível realmente representa um maior gasto.

Portanto, na década de 70, já chamando a atenção para a alta dependência do petróleo e iniciando a preocupação com o consumo dos automóveis, os EUA através da CAFE (Corporated Average Fuel Economy – Média de economia do consumo dos veículos norte-americanos) iniciaram métodos de controle da melhoria dos automóveis (ACES, 2009).

Em 1979, em decorrência da revolução islâmica no Irã, houve novamente grande variação no preço do petróleo (acima de 100%), aumentando a preocupação mundial quanto à dependência dos combustíveis derivados do petróleo. No caso, houve uma total reestruturação do governo iraniano, que anteriormente era favorável aos países ocidentais com suas orientações financeiras (petróleo) e políticas (ocidentalização). Sendo o Irã um dos principais produtores, uma diminuição interna drástica na produção de petróleo, modificou totalmente o preço praticado pelo barril (PEREIRA, 2008 e BOSCO,2003).

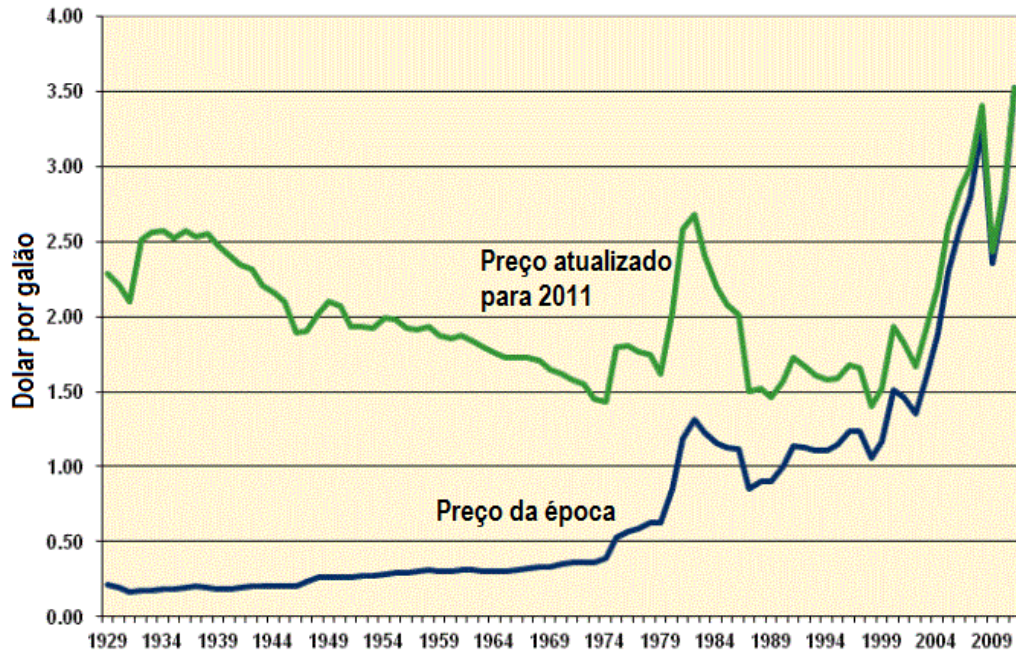


Figura 7 – Preço médio do galão de gasolina em valores da época e corrigidos para valores de 2011.

Fonte: US DOE (2012) (www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/facts/2012_fotw741.html).

No Brasil na década de 1970 (1973 e 1979), com as instabilidades ocasionadas pelas variações do preço do petróleo, e a escassez do produto e seus derivados, houve esforços em usinas voltadas para a produção de álcool etílico carburante (a ser usado como combustível).

Através dos engenheiros Lamartine Navarro Jr, Cícero Junqueira Franco, Urbano Ernesto Stumpf (conhecido como “pai” do motor a álcool) e o físico José Walter Bautista Vidal, criou-se o PROALCOOL (Programa de Incentivo ao Álcool Combustível), pois visualizava-se a possibilidade de independência/redução do combustível fóssil e contribuir de maneira mais ecologicamente correta no uso de combustíveis renováveis na matriz energética (BERTELLI, 2005).

Sendo o desenvolvimento para uso comercial do álcool etílico como combustível veicular um resultado nacional, e ainda utilizado como elevador de octanagem para a gasolina (realizando uma das funções dos aditivos à base de chumbo, porém sem sua toxicidade).

Considerando que o petróleo é a fonte dominante de energia das economias mundiais por causa principalmente dos muitos automóveis, a maior parte da influência na utilização do petróleo na forma de gasolina vai então para o setor rodoviário, que, refletido nos estudos atuais, mostram que tem grande contribuição nas emissões de gases do efeito estufa (GEE), correspondendo a 26% do total das emissões de gases no mundo segundo Moreira (2004)

apud Ross et al (2006). No caso da distribuição brasileira tem-se 38,1% da emissão de CO₂ total do setor energético pertencente ao setor de transportes (WRI-CAIT, 2007 apud VIANNA, 2009).

Vidal (2005a) e (2005b) relatou os problemas que ocorreram no declínio do PROALCOOL, que não são relacionados com o lado das possibilidades na área de engenharia dos motores de combustão interna, mas foram causados por entraves políticos e pressões internacionais que desestabilizaram as bases do PROALCOOL. Quando ocorreu um conhecido desabastecimento de álcool, este causou o descrédito quanto ao programa por parte da população (VIDAL, 2005b). Porém os preços do petróleo estabilizaram-se novamente apresentando vantagem econômica e tecnológica ao uso amadurecido da gasolina.

Vale salientar que na época do programa de incentivo ao álcool combustível, houve um período muito interessante de pesquisas no desenvolvimento e aprimoramento dos motores de combustão interna ciclo Otto para utilizarem o combustível vindo da cana-de-açúcar.

Obtiveram assim interessantes marcas de consumo com uma tecnologia não muito avançada para a época, apenas tendo a engenharia brasileira da época focada no uso do combustível vegetal (MELO, 2005).

E em 1990 os EUA visando o meio ambiente e a redução no consumo dos combustíveis fósseis revitalizou o “Clean Air Act”, através do Decreto do Ar Puro de 1970, para melhorar a frota veicular americana e iniciar um controle da poluição veicular que será abordado posteriormente no Capítulo 3.

Então se percebe uma tendência mundial que desenvolveu-se no decorrer dos percalços passados com os preços do petróleo como a Figura 8 pode elucidar, gerando o desenvolvimento de políticas energéticas de forma geral para poder reduzir a dependência do petróleo (PEREIRA, 2008).

A medida que foi se comprovando, que a queima dos combustíveis fósseis é uma das principais fontes de GEE, então seria mais um motivo para se reduzir/extinguir os causadores das mudanças climáticas levantadas por volta do ano 2000 (PEREIRA, 2008).

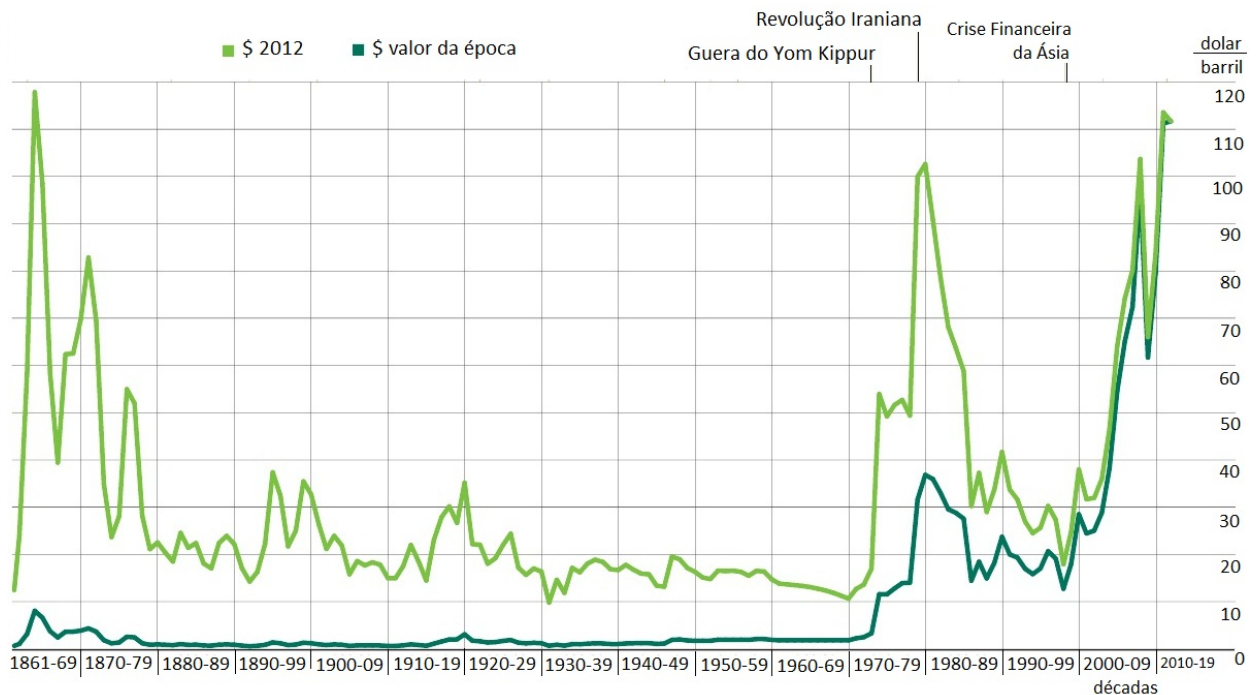


Figura 8 – Histórico do preço do petróleo cru e alguns eventos mundiais 1861-2012.
Fonte: British Petroleum (2013).

Em 2008, com um aumento considerável do consumo de petróleo na China e de suas importações, conforme mostra a Figura 9, e movimentos especulativos de forma global, houve mundialmente uma grande elevação dos preços do petróleo entre janeiro e julho do ano em questão (variando também o preço da gasolina, conforme mostra a Figura 7).

Esta associação de fatos gerou uma crise financeira no âmbito global, com reações em cadeia, mostrando a fragilidade do funcionamento da sociedade, bem como, sua dependência do petróleo (recurso externo).

Com mais essa grande ameaça à economia norte-americana (e mundial), este para poder equilibrar os gastos teria de reduzir a dependência do petróleo o máximo possível e com medidas firmes (políticas e regulamentação), pois o volume consumido pelos EUA de petróleo é grande e a maior parte deste vai do setor dos transportes na forma de gasolina.

Tem-se o panorama para a intensa atenção voltada para as políticas energéticas automotivas e dentro destas a utilização de fontes alternativas de energia e combustível para se atingir os objetivos propostos nas políticas.

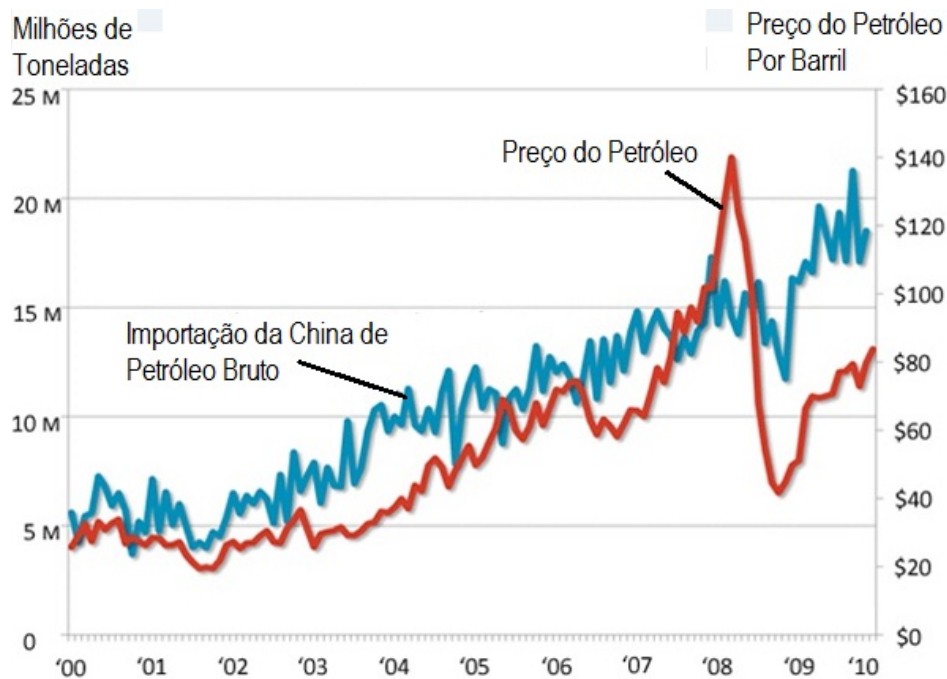


Figura 9 – Relação da importação de petróleo da China com os preços.

Fonte: <http://www.declineoftheempire.com/2010/09/the-next-oil-price-shock-an-update.html>

2.1 O CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NO MUNDO

Desde o advento do automóvel foram utilizados derivados de petróleo e em alguns casos o etanol com soluções técnicas notáveis, principalmente por Henry Ford por volta das décadas de 20 e 30 (BLUME, 2008).

A utilização dos combustíveis fósseis em grande escala, juntamente com o desenvolvimento da indústria automotiva, criou a forte dependência da sociedade com o uso dos derivados de petróleo.

Durante a década de 70 e 80 nos EUA, iniciou-se um processo de redução nas emissões de poluentes (devido à preocupação ambiental e à dependência do petróleo) e aumento na segurança passiva (itens de segurança que atuam independente da vontade do condutor, como Freio ABS e Airbags) dos veículos, que aconteceu também no Brasil, porém mais de uma década após.

No Brasil, durante a década de 90 os carros foram ficando menores, mais pesados e não

necessariamente mais econômicos, pois o objetivo era de se obter um nível de emissão de poluentes menor com maior segurança passiva, seguindo tendências de EUA e UE.

Segundo dados estatísticos da Agência Internacional de Energia (IEA), percebe-se o uso intenso de petróleo, dentre estes a gasolina e o diesel. Os dados refletem que mesmo sendo a emissão de poluentes de um automóvel muito menor do que uma indústria, o consumo de energia no setor de transportes é comparável ao gasto do setor industrial ou além, o que mostra a importância de atitudes nessa área como mostram as Figuras de 10 a 15, onde “Óleo” representa o Petróleo (IEA, 2010).

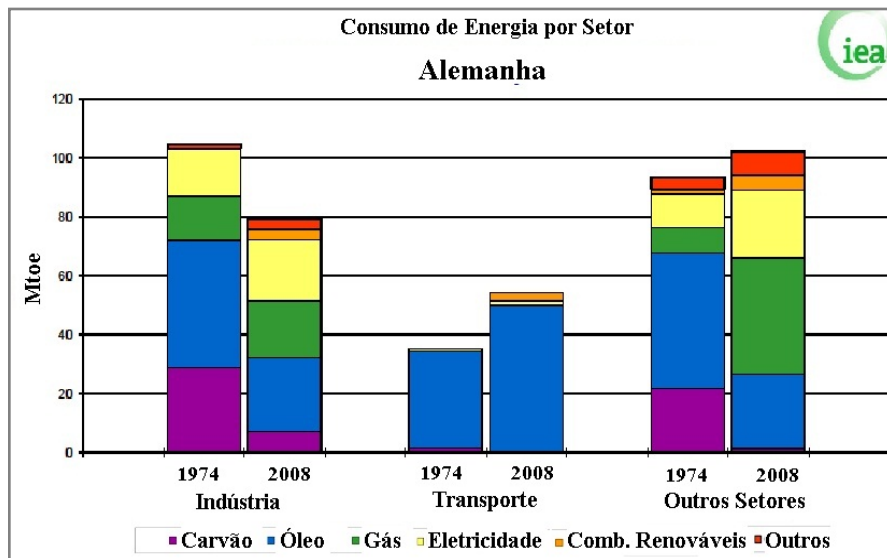


Figura 10 – Componentes do consumo final de energia de cada setor da Alemanha.

Fonte: IEA, 2010

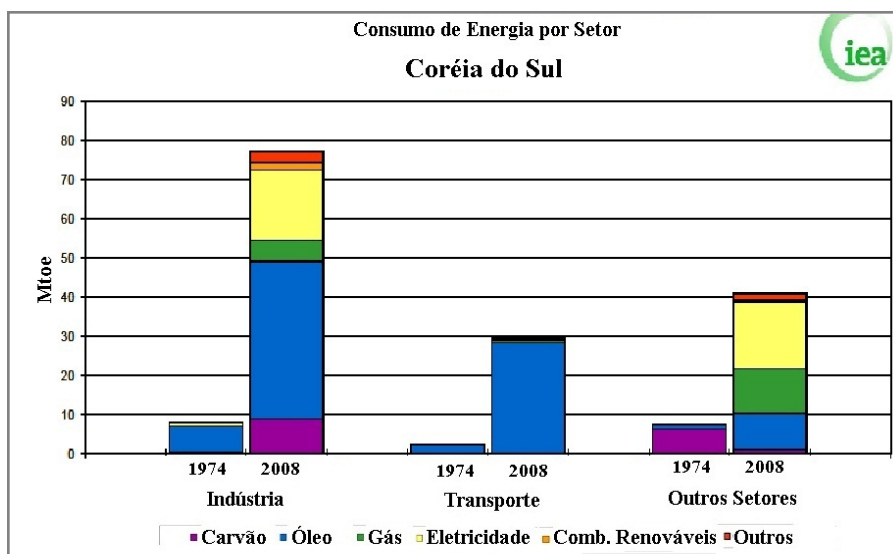


Figura 11 – Componentes do consumo final de energia de cada setor da Coreia do Sul.

Fonte: IEA, 2010

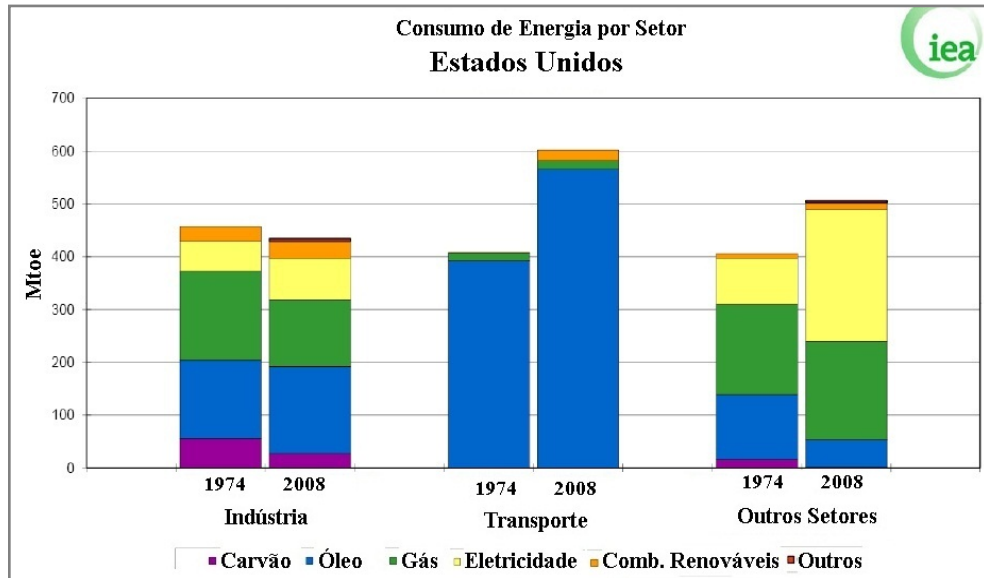


Figura 12 – Componentes do consumo final de energia de cada setor dos Estados Unidos.

Fonte: IEA, 2010

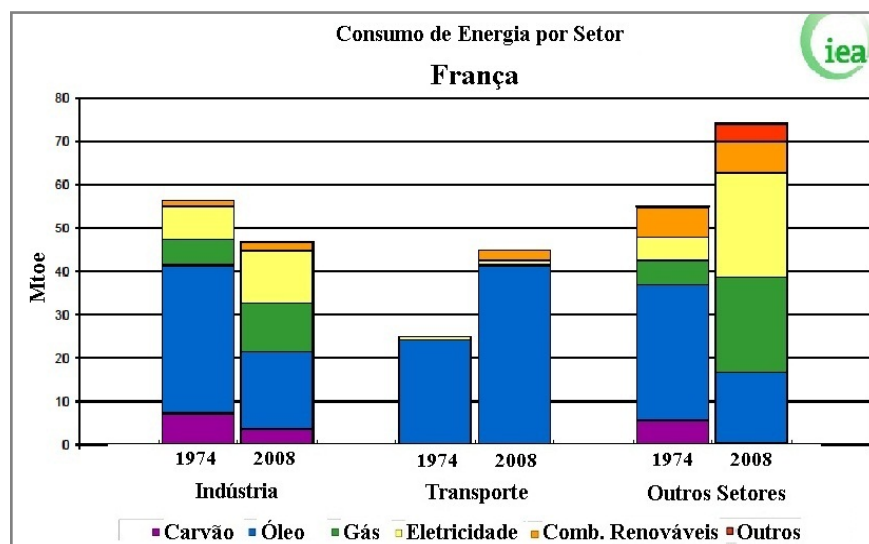


Figura 13 – Componentes do consumo final de energia de cada setor da França.

Fonte: IEA, 2010

O uso de combustíveis fósseis, como principal fonte de energia no setor de transportes, é uma questão que se discute atualmente por causa das emissões dos GEE e todo o impacto ambiental causado por estes combustíveis.

Nesse contexto várias pesquisas estão viabilizando (tecnológica e economicamente) a utilização dos combustíveis renováveis por todo o mundo como uma tendência.

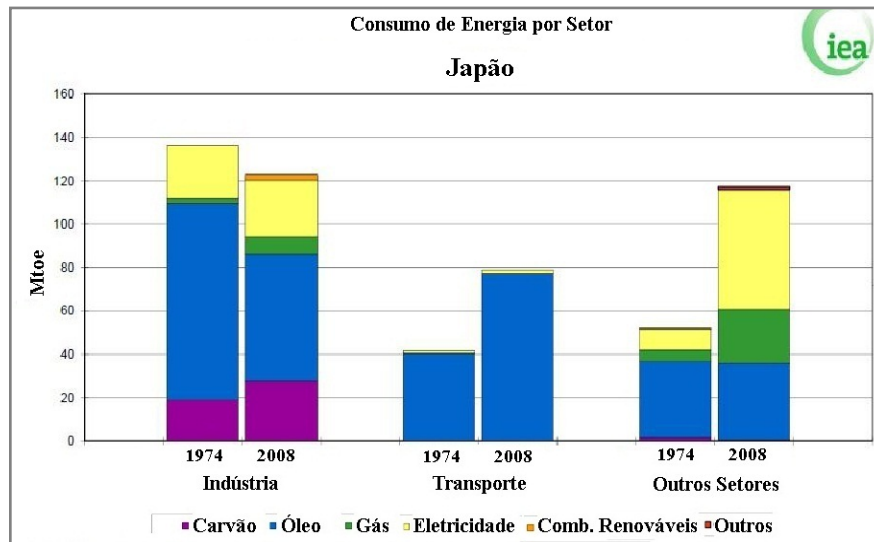


Figura 14 – Componentes do consumo final de energia de cada setor do Japão.

Fonte: IEA, 2010

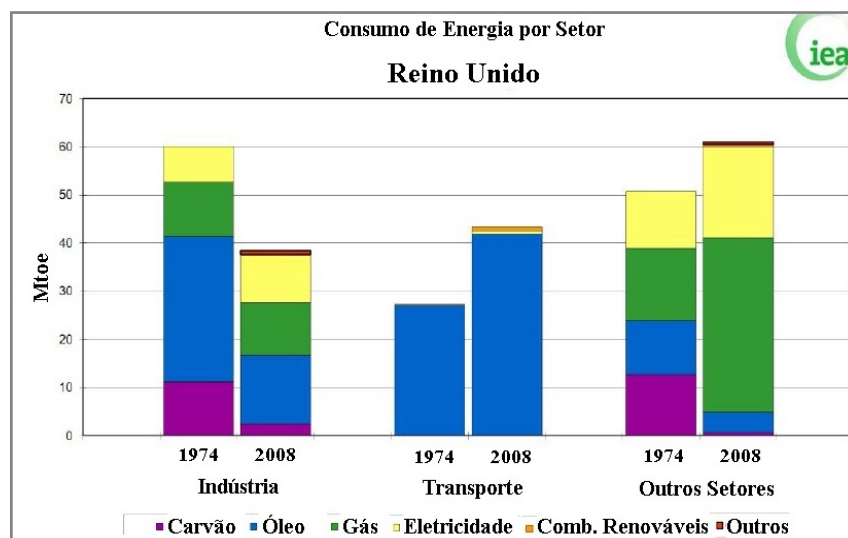


Figura 15 – Componentes do consumo final de energia de cada setor do Reino Unido.

Fonte: IEA, 2010

2.1.1 DADOS GERAIS

Em IEA (2011) são apresentadas as estatísticas de consumo de combustíveis como fonte de energia do mundo, nas Figuras 16 e 17 é possível verificar a maior utilização do petróleo como fonte de energia.

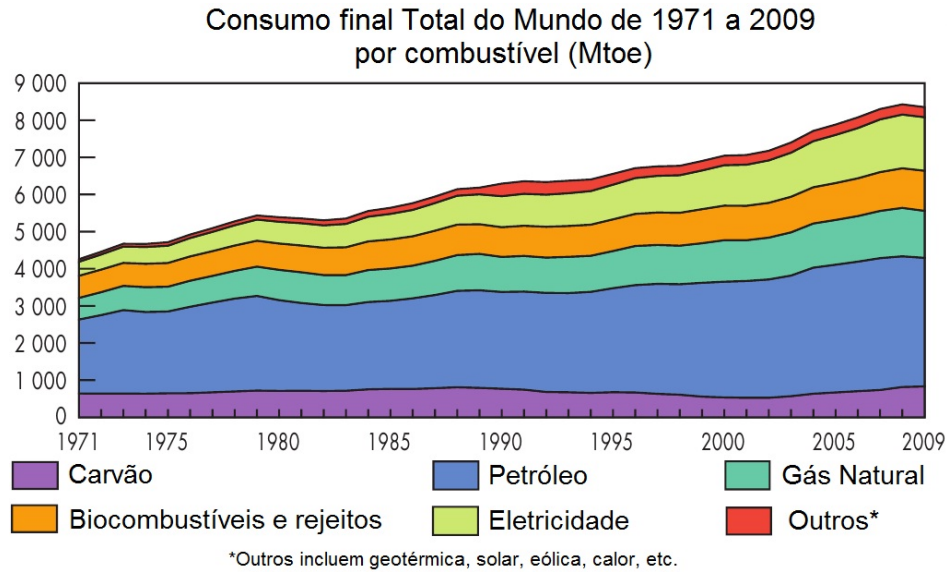


Figura 16 – Consumo final de energia do mundo por combustíveis de 1971 a 2009.

Fonte: IEA (2011)

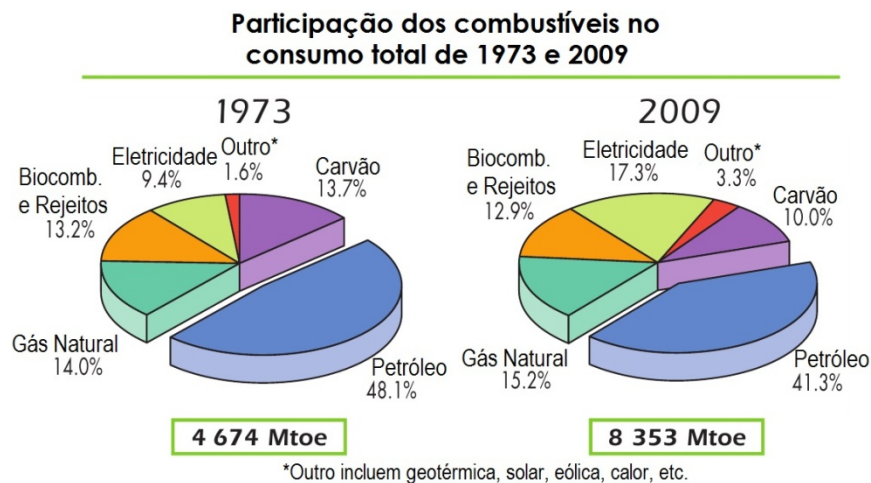


Figura 17 – Participação dos combustíveis no consumo total de 1973 e 2009.

Fonte: IEA (2011)

Nas Figuras 16 é mostrado o histórico e na Fig. 17 a comparação do consumo de energia no âmbito mundial apresentada por fontes combustíveis.

A grande utilização do petróleo desde os períodos pré-crise até a virada do milênio não era questionada seriamente quanto aos danos ambientais causados, então com a importância da segurança energética, estabilidade financeira e a citada preocupação ambiental (inclusive os distúrbios climáticos), vêm-se os motivos das iniciativas de desenvolvimento de combustíveis alternativos.

Observando os dados fornecidos por IEA (2011) quando apresentados por setor então se

têm a seguinte distribuição nas Figuras 18 e 19 de um total de 2901,32 Mtoe em 1973 e 4330,99 Mtoe em 2009, com predominância do uso de combustíveis derivados do petróleo no setor de transportes.

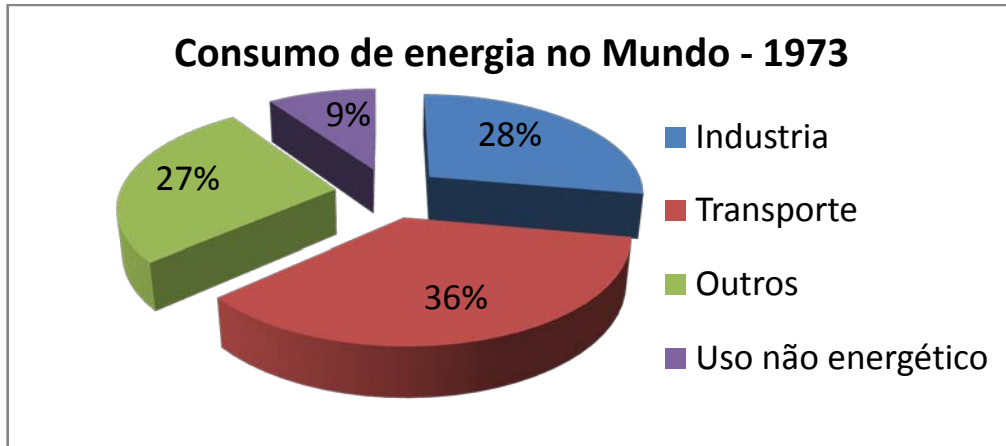


Figura 18 – Consumo de derivados de petróleo no mundo em 1973.

Fonte: Dados de IEA, 2011.

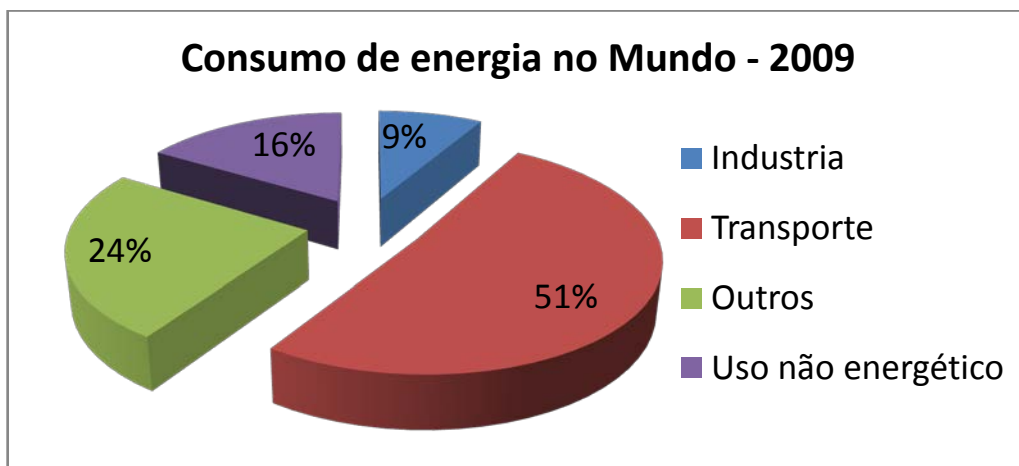


Figura 19 – Consumo de derivados de petróleo no mundo em 2009.

Fonte: Dados de IEA, 2011.

2.2 OS COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS

Dentro do âmbito da utilização dos combustíveis renováveis têm-se os biocombustíveis como o biodiesel, o próprio óleo vegetal e o etanol.

Analisando a questão do uso como combustível entre óleo vegetal e etanol tem-se que: segundo informações da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária) o

rendimento da área plantada para se obter óleos vegetais é de no máximo 2.500 litros de óleo por hectare, e no caso do etanol é de 8.000 a 9.000 litros por hectare, 3 vezes mais em litros para uma mesma área plantada, justificando o estudo do uso do etanol.

Blume (2007) ainda escreve das possibilidades de aproveitamento do plantio de matéria-prima para produção de etanol e aproveitamento de subprodutos (produção sustentável e ecológica), adicionando-se aos motivos a questão da utilização do etanol misturado a gasolina.

A proporção de uso percentual de etanol e gasolina no Brasil é uma questão diferente da utilização de outros países, segundo mostra os dados nacionais na Figura 20, comparado a outros países mostrados através dos dados estatísticos do IEA citados anteriormente e na Figura 21. Isto ocorre, mesmo sem incentivos apropriados para tecnologias mais avançadas e alternativas para a redução ou até anulação da emissão de poluentes por parte dos veículos automotores, respectivamente como híbrida e elétrica, que começa a mudar devido a incentivos à inovação em 2013 (DECRETO N°7.819, 2012 e INOVA ENERGIA, 2013).

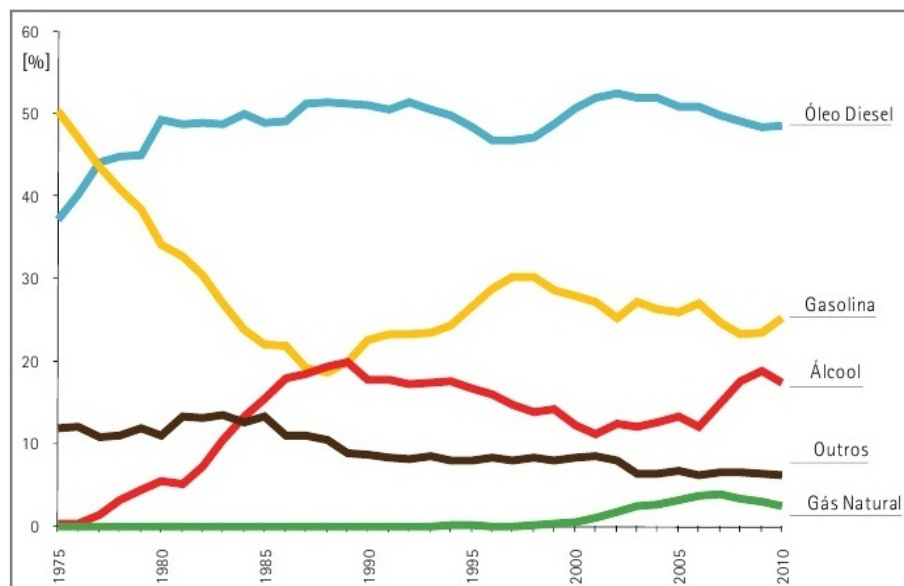


Figura 20 – Estrutura do consumo no Brasil de energia em geral no setor de transportes.

Fonte: BEN (2010)

Portanto, diante de um panorama de pesquisas na área de combustíveis renováveis e fontes alternativas de energia para o setor de transporte a ser desenvolvido nacionalmente e internacionalmente, existe uma alta expansão na área dos biocombustíveis e no intuito de trabalhos voltados para a sustentabilidade.

Vários desenvolvimentos na parte dos motores de combustão interna (MCI) alternativos foram feitos, porém quase que exclusivamente alimentados com gasolina como combustível, então atualmente existe a necessidade de se voltar a atenção para desenvolver motores voltados para o aproveitamento dos “novos” combustíveis.

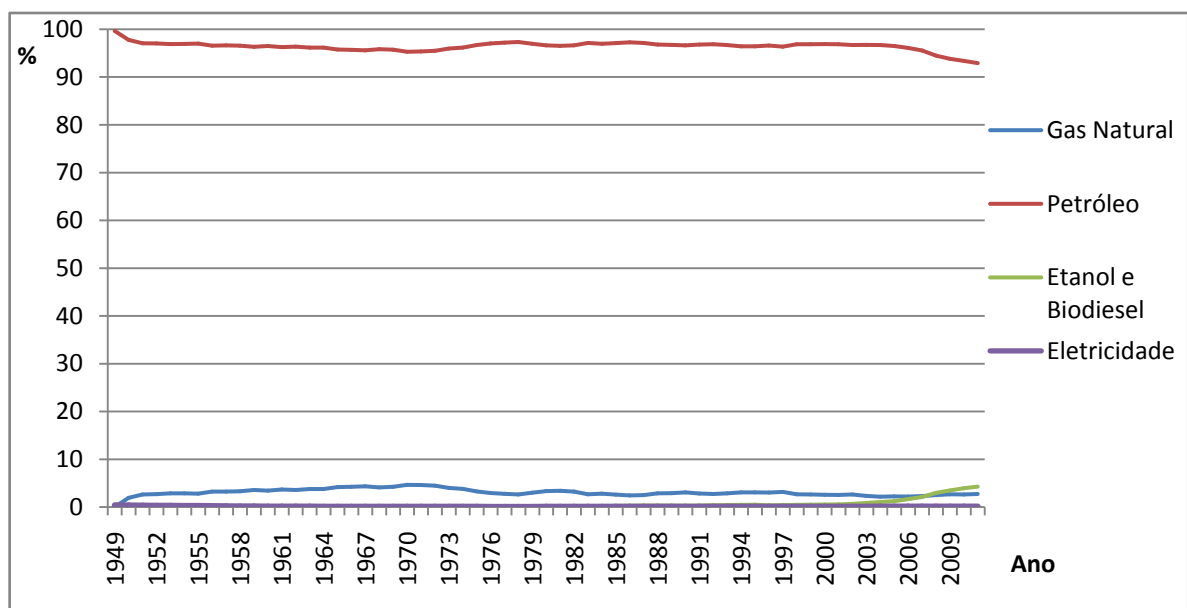


Figura 21 – Histórico percentual do consumo de combustíveis no setor de transportes nos EUA.

Fonte: Dados da Administração da Informação de Energia dos EUA (IEA).

Com relação a incentivos (tanto para fabricantes como para consumidores, na sua maioria incentivos financeiros) no caminho de se reduzir a emissão de poluentes, do ponto de vista ambiental e na redução da dependência da utilização do petróleo, do ponto de vista político-financeiro, os EUA possuem um extenso programa de aprimoramento que está forçando as melhorias e implementações de tecnologias, a serem continuamente agregadas nos veículos produzidos.

Com esse objetivo comum de reduzir ou zerar as emissões de GEE, são criadas várias siglas para representar os tipos de tecnologias veiculares e suas conseqüentes emissões e autonomies ligadas ou não a consumo de combustíveis líquidos (veículos elétricos), como apresentado no Progress Report (2010).

Tendo em vista que o consumo geral de energia dos EUA corresponde a 25% da energia consumida em todo o mundo, com 5% da população mundial, e de sua energia 80% tem origem em combustíveis fósseis, o que acarreta a maior emissão de GEE do mundo, consequência do padrão de vida norte-americano de alto consumo de energia e desenvolvimento não-sustentável.

Contudo as novas políticas energéticas principalmente nos transportes, como apresentado em Progress Report (2010), vem alterando esta utilização dos combustíveis fósseis e consequente emissão de poluentes.

Segundo as estatísticas, dados e notícias da Agência Internacional de Energia (IEA), desde o ano 2000 vem ocorrendo um aumento no uso de fontes de energia renovável, sendo maior a partir de 2006. Isto ocorre pela expansão nos investimentos em energias renováveis no mundo, diante das questões citadas anteriormente dos combustíveis fósseis e como mostra a Figura 22, pois o preço do petróleo vem aumentando e isto vem a viabilizar fontes alternativas e renováveis de energia de forma geral.

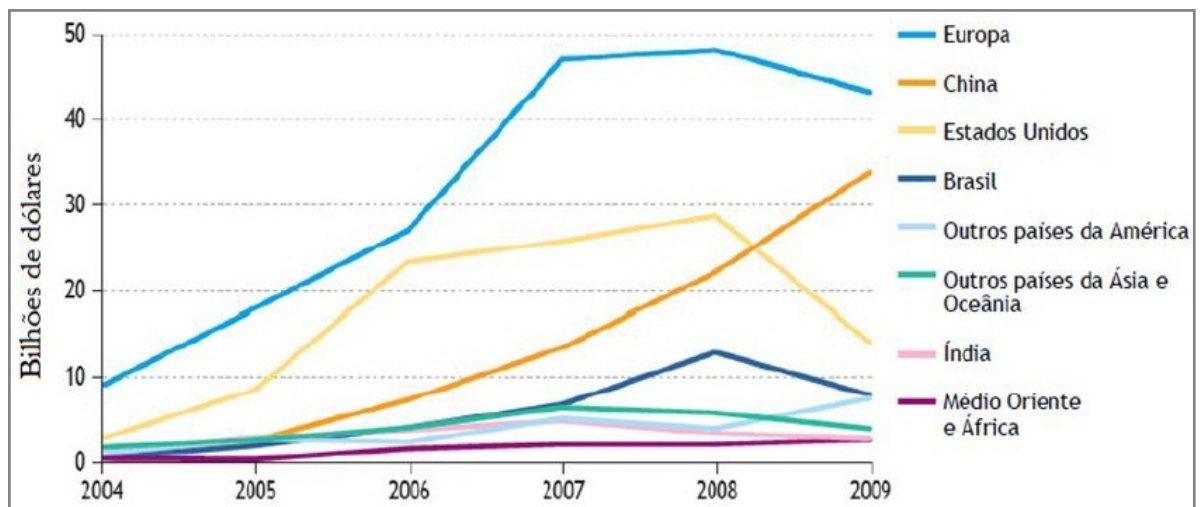


Figura 22 – Investimento em fontes de energia renovável de forma geral em vários países.

Fonte: IEA, 2010

Dentro dos investimentos em energias renováveis ligados ao setor de transporte estão várias alternativas, como os biocombustíveis, fontes alternativas sustentáveis e com baixo impacto e riscos ambientais de produção de energia elétrica (comparado aos combustíveis fósseis e energia nuclear).

Atualmente os veículos híbridos são realidade em várias partes do mundo, e estes veículos podem diminuir o uso do motor a combustão para obtenção de energia elétrica, por

exemplo com relação aos veículos elétricos que, existe na Europa uma meta de até 2020 substituir cerca de 10% dos combustíveis (petróleo) do transporte rodoviário.

O consumo de energia elétrica como alternativa no uso em veículos então necessita do planejamento e previsão deste maior uso da rede elétrica para comportar esta nova aplicação.

Dentro da meta europeia que remete ao início de uma busca energética no intuito de se desvincular ao máximo do petróleo, seus derivados e os gases emitidos por eles, como mostra investimentos em energia eólica e solar dentro da política energética que faz parte do programa Meta 20-20-20 (tendência até 2020), que é no âmbito de seu consumo global (BARROSO, 2011):

Reduzir emissões dos GEE em 20%;

Aumentar a proporção de energias renováveis em 20%;

Reduzir o consumo de energia em 20%.

Este programa será avaliado pelos implementadores na Europa em 2014.

2.2.1 MERCADO DE CARBONO

Sendo a emissão de CO₂ na atmosfera o principal causador do aquecimento global e sabendo das alterações climáticas em decorrência da poluição fez-se necessário, organizar maneiras de se reduzir as emissões na atmosfera e poder comparar os diferentes poluentes e suas intensidades de influências nas mudanças climáticas.

Criado na ECO92 no Rio de Janeiro, a partir da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, em inglês), o mercado de carbono iniciou-se em 1997 a partir do protocolo de Quioto no Japão, porém a plena funcionalidade do protocolo viria quando os países que assinassem representassem pelo menos 55% das emissões de GEE do planeta, que até então não havia acontecido. Contudo a meta de emissões somente ocorreu em novembro de 2004 com a entrada da Rússia (RETTMANN, 2013).

Então o mercado de carbono procura através das emissões de dióxido de carbono e seus equivalentes (CO₂ equivalente) administrar as emissões de poluentes em várias esferas

mundiais e regionais, de forma compulsória e voluntária para equilibrar e mitigar as emissões, através de muitos projetos de vários países, aprovados por comissões designadas para a tarefa, em cada região do planeta (RETTMANN, 2013 e INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2012).

Dentro do mercado de carbono e tecnologias, existe também a chamada captura e armazenamento de carbono (CCS) que são métodos em desenvolvimento de se reter o carbono emitido pela queima de combustíveis fósseis, como exemplo em termelétricas (CENTRO CHINA-BRASIL, 2013).

2.2.2 PROPRIEDADES DA GASOLINA

2.2.2.1 Gasolina

A gasolina é uma mistura de vários hidrocarbonetos de diferentes tamanhos, porém uma molécula média que representa a gasolina é o C_8H_{18} . Dentro do processo de obtenção da gasolina através do petróleo existem várias maneiras, que foram desenvolvidas no decorrer da necessidade mundial de se obter cada vez mais gasolina e com maior qualidade (octanagem).

Seguem algumas propriedades importantes da gasolina e também utilizadas para o etanol como parâmetros de dimensionamento de MCI.

2.2.2.1.1 Octanagem

A octanagem indica a resistência à detonação (auto-ignição) do combustível comparado com a iso-octana, que seria a graduação 100 e a heptana que é a graduação 0 (zero), definida assim a escala para o número de octanas (NO).

O número de octanas de um determinado combustível é definido por referência à mistura de trimetilpentano (iso-octano) e de heptano, sendo uma característica principal da gasolina no desenvolvimento de MCI alternativo, pois permite utilizar taxas de compressão maiores e conseqüentemente maiores rendimentos, como ilustra a Tabela 1 (GARCIA E BRUNETTI, 1992).

Tabela 1 – Octanagem da gasolina de acordo com o método de ensaio e obtenção.

Fonte: GARCIA E BRUNETTI, 1992.

Gasolina	RON	MON
Natural	72 - 82	71 - 79
Destilação direta	58 - 62 - 70	58 - 62 - 68
Craqueamento térmico	64 - 70 - 77	63 - 65 - 70
Craqueamento catalítico	93 - 87	80 - 78
Reforma catalítica	98 - 83	87 - 78
Polimerização	97 - 95	85 - 88
Alquilação	94 - 93	93 - 91

Para se medir a octanagem do combustível para aplicação automotiva existem dois métodos de ensaio, o RON (Research Octane Number) e o MON (Motor Octane Number).

O método MON, definido pela ASTM (*Sociedade Americana para Testes e Materiais*, do inglês) na norma D-2699, mostrada na Tabela 2, possui condições de teste mais severas (maior rotação), pois em altas rotações, a temperatura da câmara de combustão aumenta facilitando a detonação, apresentando normalmente valores menores que o RON.

O método RON definido na norma D-2700 da ASTM, representa o comportamento do combustível no motor em baixas rotações como mostra a Tabela 3. Em baixas rotações, o requisito da temperatura é menor, logo o RON é maior que o MON geralmente (associado à temperatura de auto-ignição).

Tabela 2 – Condições de funcionamento para os métodos RON e MON.

Fonte: HEYWOOD, 1988.

Métodos	RON	MON
Temperatura de Admissão [°C]	52	149
Pressão na Admissão	Atmosférica	
Umidade [kg/kg de ar seco]	0,0036 - 0,0072	
Temperatura do Refrigerante [°C]	100	
Rotação do Motor [rpm]	600	900
Avanço da Centelha [°APMS]*	13 (constante)	19 - 26 (varia com a taxa de compressão)
Relação Ar/Combustível	Ajustada para máxima detonação	

* graus antes do ponto morto superior

Os métodos MON e RON são realizados no motor CRF (*Pesquisa de Combustíveis Cooperativos*, do inglês) definido por Comitê em 1931. O motor CRF é um robusto monocilíndrico de 4 tempos com válvulas no cabeçote, com diâmetro e curso de 82,6 e 114,3 mm respectivamente, taxa de compressão variável de 3 a 30:1 durante o funcionamento (GARCIA E BRUNETTI, 1992 e HEYWOOD, 1988).

Sendo que o valor que é anunciado como a octanagem do combustível ou Índice Anti-Detonante (IAD) do inglês Anti-Knock Index (AKI) atualmente representado pela média do valor dos dois ensaios $[(R+M)/2]$, como mostra a Figura 23.



Figura 23 – Exemplo de anúncio de octanagem obtida da média dos valores RON (R) e MON (M).

Fonte: The Fuel & Engine Bible, 2012.

2.2.2.1.2 Poder Calorífico

É a energia liberada na forma de calor por unidade de massa, quando o combustível é queimado em uma bomba calorimétrica, tendo-se uma medida com os gases resfriados e o vapor de água dos gases da combustão condensados, que é o Poder Calorífico Superior (PCS). Se retirar a energia da condensação da água presente nos gases da queima, então obtém-se o Poder Calorífico Inferior (PCI) que é o utilizado no Brasil em cálculos envolvendo o uso dos combustíveis em MCI (GARCIA E BRUNETTI, 1992).

Porém nos EUA ocorre de se usar o Poder Calorífico Superior (PCS) nos cálculos em motores, então dependendo da padronização utiliza-se uma referência para os cálculos envolvendo o poder calorífico dos combustíveis.

A Tabela 3 faz um comparativo de propriedades da gasolina e do etanol, bem como proporções utilizadas comercialmente, que para os dados de Garcia e Brunetti (1992) tem ainda relações proporcionais à gasolina onde é 1 (um) para a gasolina como referência e a relação da quantidade para o etanol de diversas características (ex.: densidade, PCI, etc.).

Tabela 3 – Comparativo entre propriedades da gasolina e do etanol.

Propriedade	Garcia e Brunetti, 1992		Filho, 1983			Heywood, 1988	
	Gasolina com 22% de AEAC	Etanol Hidratado (93,2 INPM)	Gasolina (CH _x)	Etanol Anidro (C ₂ H ₅ OH)	Etanol Hidratado (C ₂ H ₅ OH 19H ₂ O)	Gasolina	Etanol (C ₂ H ₅ OH)
Massa específica [kg/l]	0,74	0,81	0,73	0,79	0,81	0,74	0,794
	1	1,095	-	-	-	-	-
Poder Calorífico Inferior - [kcal/kg (MJ/kg)]	9400 (39,3)	5970 (25,0)	10500 (43,9)	6400 (26,8)	5952 (24,9)	10516 (44)	6400 (26,8)
	1	0,695	-	-	-	-	-
Relação A/C esteq. C/A esteq.	14,3	8,6	15,2	9	8,3	14,6	9
	0,07	0,116	-	-	-	0,0685	0,111
	1	1,66	-	-	-	-	-
Temperatura de Auto-ignição	400	420	367	550	580		
Ponto de ebulição [°C]	40 a 220	78	40 a 250	78,3	78,2	27 - 227	78
Calor Latente [kcal/kg (kJ/kg)]	105 (440)	237 (992)	90	216	237	(350)	(840)
Octanagem RON MON	-	106	73	106	110	91 - 99	107
	80	87	73	89	92	82 - 89	89
Octanagem Calculada			73	158	162		
Número de Cetana	10	8					
Poder Calorífico da mistura esteq. [kcal/kg de mistura] (MJ/kg)	615 (2,573)	620 (2,594)				676,4 (2,83)	642,9 (2,69)
	1	1,008				-	-
Acréscimo do n° de moles na combustão (comb. Líquido)	1,075	1,14	1,055	1,063	1,077		
	1	1,06					
pme bar (kJ/l)	27,5 (2,75)	29 (2,9)					
	1	1,05					
Graus INPM (%peso)	-	93,2	-	99,2	93,5		
Graus GL (%Volume)	-		-	99,5	95		
Efeito de Superalimentação			1,68%	7%	9%		

CAPÍTULO 3

AS PRINCIPAIS POLÍTICAS ENERGÉTICAS AUTOMOTIVAS

3.1 A POLÍTICA ENERGÉTICA AUTOMOTIVA DOS EUA

Em 2009 o MIT (Massachusetts Institute of Technology) redigiu um relatório intitulado, “Um plano de ação para carros” que possui o subtítulo de “As políticas necessárias para reduzir o consumo de petróleo e emissão dos GEE (gases do efeito estufa) dos Estados Unidos” que aborda as medidas realizadas e a serem realizadas, no intuito de se reduzir a dependência sobre o petróleo e combustíveis fósseis convergindo também para reduzir a poluição gerada pelos mesmos (HEYWOOD ET AL, 2009).

O relatório aborda ações para reduzir a dependência dos combustíveis à base de petróleo:

- pois o alto consumo produz evasão de divisas;
- as regiões produtoras instáveis podem afetar a economia doméstica (crises econômicas);
- a frota leve de veículos é responsável por 47% do consumo de petróleo dos EUA que

depende do petróleo em 90% do uso de energia no transporte (Davis, Diegel, & Boundy, 2009).

E ações para reduzir as emissões dos GEE dos automóveis:

- pelo aprimoramento da eficiência dos veículos;
- pelo uso de combustíveis alternativos para substituição de derivados do petróleo (porém salienta que não há grandes reduções de GEE de acordo com as alternativas nos EUA);
- pois as emissões da frota leve somam 16% do total dos EUA (US EPA, 2009).

Também pesquisando os dados de US EPA (2012), tem-se que em 2010, da energia consumida nos EUA aproximadamente 85% foi a partir da combustão de combustíveis fósseis.

Considerando as emissões com base em sua queima por setor, o de transportes reflete 23,64% (1750 Tg CO₂ eq.) a mais do que a indústria (1415,4 Tg CO₂ eq.) e em relação a geração de eletricidade representa 77,5% (2258,4 Tg CO₂ eq.) do seu valor segundo os dados de US EPA (2012). Cerca de 65% das emissões dos transportes é resultado do consumo de gasolina em veículos de uso pessoal. Os transportes também contribuíram com 32% das emissões de CO₂ a partir da queima de combustíveis fósseis em 2010 que representa um terço do total como citado no texto de Heywood et al (2009).

Como fonte de emissões de GEE no geral, o setor de energia (incluindo os transportes neste setor) representa 87% do total de emissões de GEE dos EUA em 2012.

Para comparar os setores de Transporte e Industrial os dados de US EPA (2012) para divisões por setores econômicos, em 1992, mostram que o setor de transportes ultrapassou o setor industrial em emissões de GEE, chegando em 2010 a 31,5% acima das emissões do setor industrial, em geral a representatividade dos principais setores nas emissões de GEE são, a Indústria de Geração de Eletricidade com 34%, Transportes com 27% e Indústria em Geral com 20% do total.

Percebe-se na Figura 24, extraída de US EPA (2012) que com o passar das décadas as emissões da indústria declinaram enquanto nos transportes aumentaram.

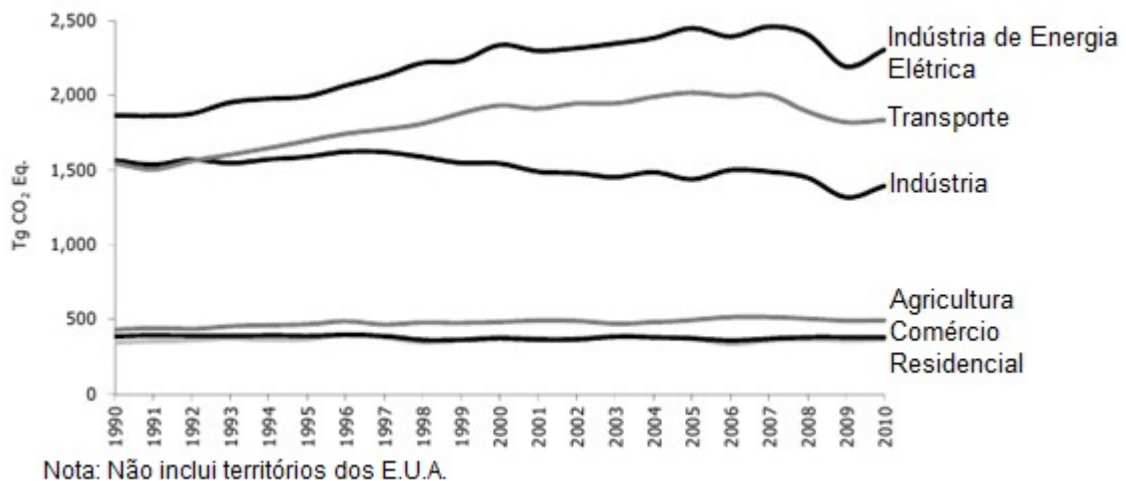


Figura 24 – Emissões alocadas por setores.

Fonte: US EPA (2012)

Dentro da geração de eletricidade ainda há uma alocação de emissões por setores econômicos, que em 2010 foi de:

- Indústria, 29,60% (2019,0 Tg CO₂ eq.);
- Transportes, 26,95% (1838,6Tg CO₂ eq.);

Sendo estes acima os setores mais representativos para este estudo.

Em 2009 foi citado no relatório de Heywood et al (2009) que a política energética norte-americana se encontrava no limite (devido às crises financeiras) para haver mudanças e melhorias no sistema devido aos motivos citados anteriormente. Por isso em 2009 houve desenvolvimento no sentido da política energética voltada para os automóveis, o “American Clean and Security Act” da câmara dos representantes, o ACES (2009).

Dentro deste ato, o ACES (2009) aborda o transporte limpo, a infra-estrutura para veículos elétricos e o programa de eletrificação de veículos em larga escala.

Também aborda os pontos:

- Fabricação de veículos elétricos conectáveis (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle, veículo híbridos passíveis de ser recarregada a porção elétrica pela rede elétrica doméstica) e seu manejo;

- Investimento público-privado em veículos (para haver cobrança de desenvolvimento por parte do governo) que compartilha com a orientação de empréstimos, o incentivo e mecanismo regulatório para fabricação de veículos de tecnologia avançada;

- Emenda relativa ao padrão de combustíveis renováveis, como o “Clean Air Act” USC 7545(o), e também a orientação sobre os veículos *flex fuel* com relação ao combustível (álcool/gasolina);

- Misturas de Etanol (sendo o maior teor o E85, 85% etanol e 15% gasolina);

- Abrir o padrão de combustível para o transporte (Open Fuel Standard).

O ACES (2009) propõe ainda programa de substituição de veículos que converge com a proposta do relatório de redução das emissões quando utilizado o Óleo Diesel, um mecanismo de renovação da frota pesada além das ferramentas gerais da frota leve (automóveis e utilitários). Também neste documento a questão da eficiência dos transportes e padrões de emissão de GEE em fontes móveis que vale destacar dois pontos citados:

- Implantação de novos motores para veículos e aviões dentre outros (PROGRESS REPORT, 2010);

- Redução das emissões pela eficiência dos veículos, assim como o seu planejamento no setor de transportes.

Sendo os dois pontos acima citados no “Clean Air Act” (ACES, 2009).

O documento cita um pequeno texto chamado de “Soluções à dependência do Petróleo” onde consta que os transportes representam 69% do consumo total de petróleo dos EUA, e nos transportes 95% depende do petróleo, que confirmam os dados descritos em US EPA (2012) anteriormente. A solução seria uma conjunção dos fatores de eficiência dos veículos, o combustível que os movimenta e o quanto estes veículos rodam.

Em relação a veículos e combustível, o documento aponta o caminho de aumentar a economia de combustível no intuito da transição para um uso elétrico veicular, apresentado pelo ACES (2009) que, para isso, tem algumas metas traçadas como a etiquetagem veicular em exemplo a avaliação do consumo de combustível de veículos tradicionais e híbridos na Figura 25:

- Alcançar uma média de 35,5 mpg (milhas por galão) (≈ 15 km/l) até 2016 utilizando-se da CAFE (Corporated Average Fuel Economy) como uma média na padronização da etiquetagem veicular;

- Desenvolvimento de PHEV's, veículos híbridos conectáveis, através, por exemplo, da utilização de combustível para trabalho útil (otimização do motor em espera) e utilização de freios regenerativos;

- Desenvolvimento de baterias avançadas;

- Cobrança do desenvolvimento dos fabricantes nos pontos citados previamente;

- Educação da população com enfoque nos condutores e consumidores para a cultura de eficiência veicular.



Figura 25 – Exemplo do programa de etiquetagem veicular norte-americano vinculado à informação dos consumidores.

Fonte: <http://www.ford.com>

Também vale salientar que o documento exibe a evolução das emendas dos atos do governo de acordo com o tempo desde 1975 (US Energy Policy and Conservation Act of 1975), quando das primeiras preocupações com a dependência do petróleo e suas crises (ACES, 2009).

O documento também prevê que a frota do governo seja eficiente e que utilize combustíveis alternativos como um exemplo a ser seguido pela nação.

3.1.1 RECOMENDAÇÕES DE POLÍTICAS VEICULARES

O relatório de Heywood et al (2009) são recomendadas políticas como:

- Redução no consumo de combustível em veículos novos e em uso;
- Melhoria do conjunto do sistema de tração (powertrain) associado ao combustível a ser utilizado na otimização do consumo de combustível (CAFE – Corporated Average Fuel Economy);
- Não substituir a política do mercado de carbono.

Para o caso dos veículos novos o uso de políticas complementares de:

- Aumento claro e definido nos padrões da média associada à economia de combustível a CAFE, além da meta de 34,1 mpg (14,4 km/l) isso em 2009, adequando o prazo das medidas a serem tomadas com os fabricantes;
- Incentivo financeiro na forma de redução de taxas (impostos) para consumidores com ênfase no consumo de combustível;
- Sobretaxas nos combustíveis dos veículos para aumentar o custo de uso e utilizar em infra-estrutura dos transportes coletivos.
- Organização da informação aos consumidores e motoristas com base na etiquetagem de consumo do veículo. E programa de educação e conscientização de motoristas na condução e uso dos transportes.

Outra ação é o fortalecimento da política nacional em combustíveis (exceto derivados de petróleo) com consistência, incluindo-os na política de manejo do mercado de carbono de forma nacional, agir da mesma forma estratégica dando suporte ao desenvolvimento de combustíveis alternativos, com recursos federais e em parceria com o setor privado. Ainda políticas alinhadas com esta mesma estratégia do desenvolvimento na produção, infra-estrutura de distribuição e veículos compatíveis às tecnologias de combustível.

3.1.2 DESCRIÇÃO DA POLÍTICA

Dentro do procedimento das políticas, os desafios em informar, quantificar e dar segurança aos consumidores, de fornecer dados reais em economia de combustível e redução na emissão de poluentes dos veículos são barreiras a se transpor.

Os esforços atuais são modestos segundo o relatório de Heywood et al (2009), no qual as políticas relacionadas a CAFE, taxas e sobre-taxas são ferramentas, que Greene (1997) e Turrentine e Kurani (2007) salientam sobre as melhorias ocorridas nestas ferramentas até a data de seus textos, porém em Greene et al (2009) já é mostrada outra visão que converge com a orientação do relatório do MIT de Heywood et al (2009) para as políticas.

Então há opções para evitar falhas no mercado de combustíveis e seu consumo, como:

- Um progresso sustentável no que diz respeito ao consumo de combustível e padrões de emissões de GEE, medidas citadas em Greene (1997) e Schipper (2009). Dentro desse âmbito novas metas de economia de combustível e padrões de GEE foram propostas pela administração do governo norte-americano em setembro de 2009, que é uma redução de 5% no consumo por ano a partir de 2010 até a média de 34,1 mpg (14,4 km/l) em 2016 nos veículos novos.

- Apesar de Evans (2008) comentar sobre o programa CAFE sabotar a efetividade na melhoria do consumo de combustível, pois, na política energética automotiva dos EUA os carros *flex fuel* recebem créditos de acordo com os padrões CAFE, porém são em pequeno número e são raramente utilizados com combustível alternativo, o que aumenta o consumo de petróleo, também relatado por Nigro e Szwarc (2009) quando comparado a modelos exclusivamente feitos para cada combustível em específico.

- Um programa de redução de taxas baseado no consumo de combustível associado à CAFE, onde os consumidores valorizem o consumo e tempo mínimo de uso, considerando os primeiros 3 anos (GREENE et al, 2009). Segundo Mackenzie (2009) é preciso que haja esforço dos fabricantes em reduzir o consumo, bem como o preço dos automóveis, taxas e incentivo de acordo com o consumo, em suma, iniciativas diversas com o objetivo de reduzir o consumo da frota em geral (política de substituição com recompensas, por exemplo).

Ocorre que a política através das várias iniciativas vem a produzir resultados, como mostra Navarro (2009) na alteração das características dos veículos na França pelo programa de incentivos do País, voltada para redução de consumo de combustível e tamanho médio dos veículos, também salientado no Green Car Congress de 2008 e é similar a tendência direcionada nos EUA.

Dentro das várias iniciativas, Heywood et al (2009) aponta que os esforços de distribuição de combustíveis alternativos focam amplamente em opções específicas de combustível e infra-estrutura, que Morrow et al (2008) e NCEP (2009) exemplificam (inclusive com o Brasil como uma referência de informações sobre o abastecimento de etanol).

O relatório de Morrow et al (2008) explana sobre o potencial da tecnologia PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) para investimento e redução do uso do petróleo através da economia de combustível. Ainda existe uma grande possibilidade de se eliminar o uso de combustível líquido para o uso diário como premissa dos PHEV (porção de uso puramente elétrico), porém o custo desta tecnologia que depende da autonomia necessária, maiores distâncias a serem vencidas e de acordo com região e médias diárias de distâncias percorridas pelos condutores, gerando custo maior de baterias.

Heywood et al (2009) mostra também as vendas de HEV's (Hybrid Electric Vehicle) nos EUA que aumentaram de 9.367 em 2000 para 324.318 em 2007, os HEV's já são bem populares, na frota do governo servindo de exemplo à redução no uso de combustível, assim tornando-se familiares ao público. Por isso a preocupação com o visual do veículo, pois os consumidores são suscetíveis à imagem, (principalmente no Brasil).

O NCEP (2009) descreve que, a RFS (Renewable Fuels Standard) adotada em 2005 e emendada em 2007, sentencia o aumento em cinco vezes do uso de biocombustíveis até 2012, quer dizer passar de 6,89 bilhões de galões (26,11 bilhões de litros) em 2007 para 36 bilhões de galões (136,44 bilhões de litros) em 2012. Para que isto ocorra é necessário uma organização e suporte também na forma de investimentos na padronização, infra-estrutura e utilização destes combustíveis.

Na Figura 26 é apresentada uma comparação no consumo de combustível entre Brasil e EUA.

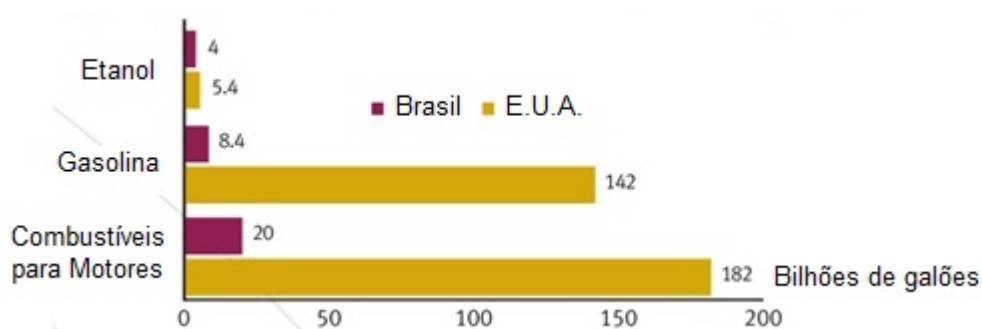


Figura 26 – Diferença no volume de combustível consumido no Brasil e Estados Unidos.

Fonte: Estatísticas da Indústria (<http://ethanolrfa.org/industry/statistics>).

Ainda o Low Carbon Fuel Standard (LCFS) vem como um complemento a toda política energética automotiva e industrial, no intuito de se reduzir a emissão de carbono (ou poluentes equivalentes) na atmosfera, pensando na saturação de carbono como um dos problemas ambientais, incentivando a evolução dos combustíveis alternativos com baixos teores de carbono.

Vale lembrar que todas as iniciativas citadas em hipótese nenhuma virão ou vieram para substituir a política do mercado de carbono, estão certamente a complementar, na busca pelos resultados da redução na dependência do petróleo e aumento da participação dos biocombustíveis, inclusive o seu desenvolvimento na primeira geração existente como nas seguintes, que irão mitigar a preocupação da concorrência com o mercado de alimentos.

3.1.3 CONCLUSÃO DA POLÍTICA

A política energética automotiva norte-americana, desde 2007, segundo mostra os atos de ACES (2009) e reforçada em 2009, vem tomando fortes medidas factíveis que o próprio nome do ato político mostra, a segurança energética nacional que busca isolamento das instabilidades políticas nos países produtores de petróleo, fortalecendo assim a economia interna.

Desta política os relatórios mostram uma interconexão das ações com o objetivo de maximizar os efeitos de economia de combustível, para diminuir a dependência de petróleo e buscar uma redução em poluentes (GEE) da atmosfera, montando assim uma economia mais sustentável.

Do ponto de vista da engenharia mecânica, com o desenvolvimento focado no aumento da eficiência do conjunto motriz do automóvel, são inicialmente os HEV's que estão sendo popularizados nos EUA e surgindo os PHEV's, como uma proposta de versatilizar e economizar na utilização, aproveitamento e reaproveitamento de diversas fontes de energias a suprir o funcionamento do veículo.

Na busca por melhorias existem vários grupos de desenvolvimento e acompanhamento, tantos federais como privados, mantidos através de financiamentos e acordos entre governo e fabricantes, impulsionando um melhor desempenho energético e menor emissão de GEE. Um exemplo de melhorias do sistema propulsor (powertrain) dos veículos é encontrado no Progress Report (2010).

Este estudo mostra um caminho para a transição de tecnologias que tragam sustentabilidade à economia e ao meio-ambiente, por reflexo da grande representatividade do setor de transportes no ramo de consumo de combustíveis e emissão de poluentes em relação, por exemplo, à indústria, perfazendo a importância do estudo pela melhoria, que poderia muito bem servir de exemplo a realidade brasileira, por ser mencionado o Brasil como sendo até pioneiro na utilização em grande escala de etanol como combustível veicular.

3.2 A POLÍTICA ENERGÉTICA AUTOMOTIVA DO JAPÃO

O Japão é um conjunto de ilhas com terreno acidentado e com escassas fontes de energia (petróleo, gás ou carvão). Ocorre que muito do seu consumo de energia é importado, o que torna a segurança energética um ponto de alta prioridade quando se trata de política energética, isto também impulsiona a agressividade nas iniciativas de economia de energia, principalmente no setor de transportes, que é altamente dependente do petróleo (JAPAN REVIEW, 2008).

Portanto desde as primeiras ameaças com a crise do petróleo, no Japão já foi estimulado o desenvolvimento de alternativas energéticas. As ações políticas iniciaram em 1965, havendo alguma funcionalidade em 1978 apesar de tentativas em 1976, que nos EUA ocorreu a partir de 1983. Segundo Ahman (2004), no início o Japão introduziu o desenvolvimento de conceitos alternativos para o setor de transporte, sendo avaliadas alternativas a mais de 30

anos. A principal alternativa avaliada foi de veículos elétricos movidos a bateria (BPEV's, Battery Powered Electric Vehicles), depois os veículos híbridos (HEV, Hybrid Electric Vehicle), os veículos elétricos a célula combustível (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle) e combustíveis alternativos para os MCI (motores de combustão interna) como GNV (Gás Natural Veicular), os CNGV (Veículo a Gás Natural Comprimido), etanol e metanol.

Inicialmente o foco do desenvolvimento japonês foi os BPEV e posteriormente os HEV e FCEV, portanto enquanto no Brasil se iniciava a indústria automotiva (≈ 1965), no Japão já se iniciava a busca por alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis pelas razões inicialmente citadas.

Analisando a macro política no planejamento energético do Japão para veículos alternativos, têm-se uma sequência de eventos:

- Em 1972 ocorreram investimentos em BPEV, para mitigar emissões locais e dependência de petróleo, então o projeto foi revisado em 1983 por alterações no panorama como a estabilização do preço do petróleo e daí menor fluxo de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento);

- Na Rio92 foram retomadas as iniciativas, impulsionadas pelo contrato de demanda de ZEV (Zero Emission Vehicles), veículos de emissão de poluentes zero, por parte dos EUA através do estado americano da Califórnia, o que trouxe à pauta opções sustentáveis a longo prazo no desenvolvimento veicular, e incentivou um aumento no fluxo de P&D novamente;

- Em 1997, foi alterado o que é chamado por Ahman (2004) de 3º plano de expansão, abordando os BPEV, HEV, CNGV, metanol e FCEV;

- Em 2001, foram estabelecidas metas para veículos de energia limpa (CEV's – Clean Energy Vehicles) no Japão mostradas na Tabela 4 com dados de JEVA (2002).

Tabela 4 – Metas (revisado em 2001) para veículos de energia limpa no Japão.

Fonte: JEVA (2002).

CEV (Clean Energy Vehicle)	BPEV (Battery Powered Electric Vehicle)	HEV e FCEV (Hybrid e Fuel Cell Electric Vehicle)	CNGV (Compressed Natural Gas Vehicle)	D-LPG*	Total
Metas para 2010	110.000	2.110.000	1.000.000	260.000	3.480.000

* veículos de gás de petróleo leve (D-LPG) para substituir os veículos diesel.

O governo japonês se baseia em uma estrutura de padronização, onde existem órgãos que são responsáveis em planejar e implementar políticas veiculares (regular emissões veiculares em escala nacional) são eles:

- A Agência Ambiental (EA, Environmental Agency) estruturada com a lei de poluição de 1967 e implantada em 1971 (No Brasil: IRAMA, CONAMA, FEAM);
- Ministério do Transporte (MOT, Ministry of Transportation), responsável pelo programa de inspeção e manutenção veicular (No Brasil: CONPET, INMETRO, IPT);
- Ministério do Comércio e Indústria Internacional (MITI, Ministry of International Trade and Industry), responsável mais propriamente pela política energética do setor de transportes dentre outras atribuições que não abrangem este estudo (No Brasil: MME, MCT).

Aparecem também as subsidiárias desses órgãos governamentais, como a LEVO (Low Emission Vehicle Organization – Organização de Veículos de Baixa Emissão), subsidiária do MOT, cujo foco principal é em caminhões.

O MITI administra os maiores programas de desenvolvimento e difusão de “veículos de energia limpa” (CEV, Clean Energy Vehicle) e é responsável pela lei de conservação da energia.

As subsidiárias do MITI para os novos veículos são:

- NEDO (New Energy and Development Organization) Organização de Desenvolvimento e Novas Energias de 1980;
- JEVA (Japanese Electric Vehicle Association) Associação do Veículo Elétrico

Japonês, de 1976;

- JARI (Japanese Automotive Research Institute) Instituto de Pesquisa Automotiva Japonês.

O MITI é um órgão do governo que realiza a orientação em reestruturação e investimentos para setores estratégicos importantes, que a partir de 1970 com o crescimento da indústria automotiva passou a ter um papel mais independente, guiando e priorizando a P&D e investimento de acordo com suas perspectivas e visões do desenvolvimento futuro necessário à indústria automotiva.

3.2.1 DESCRIÇÃO DA POLÍTICA

Dentro dos suportes dados pelo governo às indústrias, pode-se exibir sua micro política envolvida em P&D, suporte à padronização e suporte ao mercado, ainda investindo em infraestrutura.

Em todas as divisões do investimento havia esforços em P&D com o início das políticas energéticas em 1978, porém a partir de 1992 é que ocorrem os maiores desenvolvimentos e projetos de veículos alternativos com motivação principalmente ambiental (Rio 92), com vários programas nos suportes ao mercado, à infra-estrutura e P&D.

No suporte a P&D, o MITI promoveu os veículos elétricos desde 1971, quando lançou um programa de 5 anos do governo/indústria de P&D, com verba de 5,7 bilhões de JPY (100 JPY \approx 0,8 dólares americanos em 12/12/2002). Então a partir de 1992 iniciou-se o programa de veículos de energia limpa avançada, ACE (Advanced Clean Energy) de 1997 a 2003, no intuito de se desenvolver os veículos híbridos em conceito avançado.

No suporte para a infra-estrutura o Projeto ECO-Posto, em 1993 iniciou com o objetivo de estabelecer 2000 postos de abastecimento de veículos de energia limpa até o ano 2000 (meta não alcançada), basicamente postos de carga rápida para BPEV's. O Programa WE-NET (World Energy Network) da NEDO foca no desenvolvimento da infra-estrutura para abastecimento, obtenção e transporte dos combustíveis alternativos (ex.: obtenção e transporte de hidrogênio e etanol).

No suporte ao mercado, desde 1975 ocorrem incentivos e iniciativas para redução do consumo dos combustíveis derivados de petróleo e emissão de poluentes de 1978 a 1996, conduzido pelo JEVA. Em 1995 o programa de conservação do meio-ambiente do governo japonês anunciou a substituição de 10% da frota de veículos públicos para LEV (Low Emission Vehicle – Veículos de Baixa Emissão) até 2000, em um programa de aquisição. Então em 2001 o governo substituiu toda a sua frota central por LEV até o ano de 2004, destes 60% HEV que corresponde a aproximadamente 4.000 veículos.

O Japão foi o primeiro país a ter no mercado HEV's, em 2002 havia de 3 a 5 opções de modelos HEV.

Desde 1993 nas maiores cidades japonesas, as prefeituras fazem planos de mercado agressivos com respeito às emissões. Em 1996 o governo japonês iniciou o Programa de Incentivo à compra de BPEV, fundado pela MITI e administrado pela JEVA, substituindo programas de compra de 1976, houve então subsídios no incremento de preço das tecnologias, que em 1998 veio acrescentando outros tipos de veículos do programa de introdução de CEV e incluiu pela 1ª vez os HEV's e subsídios para o programa de troca.

O MITI compartilhou 50% do risco das novas tecnologias com o setor privado, o Projeto Millennium para padronização de futuras células de combustível foi outro investimento, assim como o aumento de fundos do governo desde o início do sucesso dos HEV's. Os investimentos menores dos japoneses produziram melhores resultados do que programas americanos (AHMAN, 2004).

Como apresentado por Ahman (2004) os resultados de programas de desenvolvimento de veículos e motoristas, são:

- Desenvolvimento antecipado (1971-1995) – Protótipo de BPEV com autonomia de 455 km em 1976, através dos programas de incentivo de compra e financiamento resultou em 655 veículos BPEV entre 1977 e 1996. O estímulo aos BPEV e seus motivos de origem (preço do petróleo e emissões de poluentes) perderam força, porém a indústria japonesa manteve interesse em P&D.

- A Demanda Californiana (1990-1998): A demanda californiana de ZEV em 1990 por razões ambientais e energéticas renovou o interesse em BPEV e aqueceu o desenvolvimento de baterias (principal componente dos BPEV) pelas empresas japonesas, só que desta vez sem

apoio do governo para P&D de motores ou eletrônica de potência.

- A expansão de mercado para os BPEV's (1995-1998): Apesar de ter havido um certo aumento devido à demanda californiana de ZEV's, após o contrato reduziu-se drasticamente a demanda e ficou pouco difundido no Japão, não alcançando as metas do governo tanto em veículos como em infra-estrutura de abastecimento, por causa do desfavorecimento dos BPEV's pelo panorama econômico. No entanto pesquisas em baterias avançadas e educação de usuários perduram por causa do aproveitamento das tecnologias nos veículos híbridos (HEV e PHEV).

3.2.2 A POLÍTICA PARA OS HÍBRIDOS

Houve novos programas em outros países que estimularam o lançamento do programa ACE do MITI e NEDO focando nos HEV's, pois o governo foi pego de surpresa com o lançamento do Prius pela fabricante Toyota.

Com isso têm-se o conceito de CEV que inclui então na sua classificação os HEV's como receptor de suporte econômico, que no período de 1998 a 2000 então 276 BPEV's e 12.242 HEV's foram subsidiados pelo programa, com um total de 22.400 HEV's vendidos (55% subsidiado). No total em 2004 mais de 50.000 HEV's circulavam pelo Japão com a introdução de vários modelos no mercado como mostra a Figura 27 (JEVA, 2002).

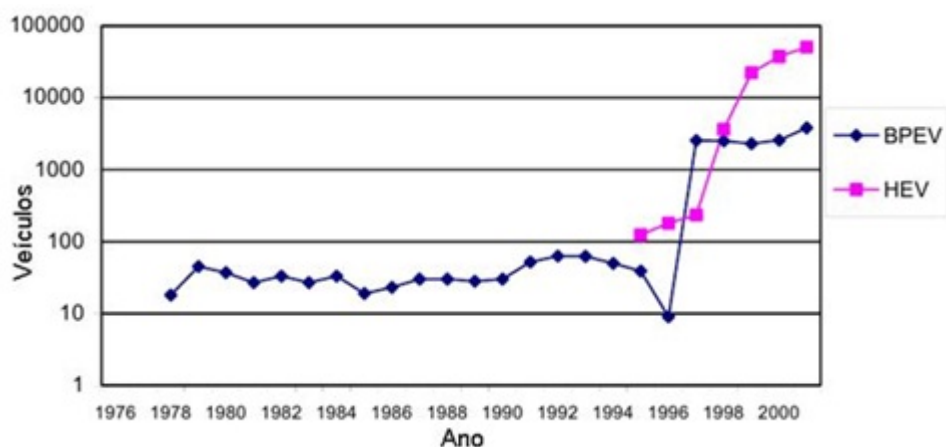


Figura 27 – Estatísticas para o número total de BPEV's e HEV's rodando no Japão.

Fonte: Jeva (2002)

Perante os desenvolvimentos tecnológicos entre 1971 e 2001, apesar de todo o

desenvolvimento da eletrônica de potência, motores elétricos e baterias, com o sucesso dos HEV's como opção, ainda em 2004 os veículos mais ecológicos e econômicos foram 1% dos veículos novos registrados. Por isso políticas complementares para pequenos nichos de BPEV's são exploradas também (ex.: veículos de circulação local, em zonas restritas ou bairros). O Governo previu em 2004 e atualmente acontece, o desenvolvimento de células combustíveis a hidrogênio, bem como padronizações prévias necessárias para fortalecer o método japonês de segurança energética.

3.2.3 O GOVERNO NO DESENVOLVIMENTO VEICULAR

Através do MITI, usou-se a inovação para resolver problemas ambientais e de energia relacionados ao transporte. Tendo uma visão de longo prazo que os veículos elétricos são a resposta, e esta visão do MITI guiou a transformação da indústria japonesa ao longo destes mais de 40 anos de desenvolvimentos.

Dentro da política energética automotiva japonesa e suas escolhas tecnológicas, o governo desde o início deu suporte de P&D em todas as fases, tendo as visões do MITI a longo prazo na utilização de BPEV, para reduzir a utilização de petróleo estrangeiro como prioridade. Por isso que a política não foi tão favorável a utilização de HEV's à base de derivados de petróleo até 2004, mesmo sendo o auxílio principal do governo para os BPEV's, no intuito de acabar com a dependência de petróleo estrangeiro (AHMAN, 2004).

Porém subseqüentemente ocorre apoio ao desenvolvimento dos HEV's, que ajudam na redução do consumo de combustível e emissão de poluentes, porém sem redução significativa no consumo de petróleo.

Então a perspectiva do governo japonês, baseado nas visões que guiam o desenvolvimento da indústria do país, é a flexibilidade do uso da eletricidade e hidrogênio como combustíveis de fonte primária de energia (renováveis). Desde 2004 o suporte do governo abrangeu mais a infra-estrutura e padronização para então deixar a cargo da indústria continuar com o desenvolvimento de tecnologias mantendo a idéia da linha de ação inicial.

Mesmo tendo um grande esforço do governo japonês para desenvolver os BPEV's e atualmente a viabilidade financeira ser favorável aos HEV's, estes puderam aproveitar os

desenvolvimentos realizados. Mesmo com a demanda californiana de ZEV tendo incentivado um caminho de BPEV, atualmente os HEV's são a base para passos seguintes em tecnologias limpas para veículos.

3.2.4 DESAFIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

Segundo Matsunaga (2009), no início de 2009 as vendas de automóveis foram historicamente baixas e o governo interveio com medidas econômicas de empréstimos e incentivos de compra para veículos econômicos e amigáveis ambientalmente.

Ocorre que houve mudanças estruturais na política com base no mercado internacional de energia, devido às variações do preço do petróleo, considerando as emissões mundiais de CO₂ e níveis futuros projetados (aumento da emissão no setor de transporte) associado também, ao potencial de crescimento nas vendas de automóveis em nações emergentes permanecer alto. Portanto, para próximas gerações de veículos poderem atacar os pontos citados acima, serão como as novas tecnologias veiculares de HEV's, EV's, PHEV's, FCV's e baterias de alto desempenho em favor da economia e meio-ambiente.

Para Matsunaga (2009) o governo foca também no desafio da padronização da eficiência no uso de combustível com um método de melhoria contínua sem estagnação chamado de "Top Runner" onde, a média de consumo dos veículos tende sempre a melhorar, isto porque, a referência de economia de combustível, desempenho e incentivos fiscais é concedida baseando-se sempre no melhor veículo em produção, servindo de base para novas metas a serem atualizadas periodicamente.

Associando ao método citado, as melhores práticas no setor de transporte rodoviário a serem compartilhadas como, a diversificação dos combustíveis automotivos, a utilização efetiva de veículos motorizados e aprimoramento no fluxo de tráfego, estruturam uma conjuntura favorável aos desafios das políticas energéticas.

Um plano de ação conjunta de tecnologias limpas, entre Japão e EUA foi idealizado para desenvolvimento em prol da redução da dependência de petróleo e redução de poluentes (captura de carbono) e cooperação entre laboratórios japoneses e norte-americanos (METI, 2009). Dentro dos desenvolvimentos têm-se fotossíntese artificial, produção de H₂, fixação de

CO₂ na forma de CCS (captura e armazenagem de carbono), células combustível, EV's, meios de armazenagem de hidrogênio etc.

3.2.5 POLÍTICAS ATUAIS

A política energética automotiva japonesa, através do IEEJ (2010), diz que no setor de transporte o governo vem reforçar a necessidade de redução do consumo de petróleo e redução na emissão de poluentes com mecanismos como aumentar a parcela de venda de carros eficientes para 50% até 2020 e 70% até 2030, mudar o modal de transporte coletivo para 70% de utilização até 2020 e 80% até 2030, ter foco em iniciativas de veículos elétricos para uso local com projetos municipais e projetos de infra-estrutura de abastecimento. Superar obstáculos com relação ao desenvolvimento de biocombustíveis e energia renovável e viabilidade de 2ª geração de biocombustíveis com baixo teor de carbono.

O IEEJ (2010) também mostra uma previsão de redução na demanda japonesa por petróleo, afinal é este o principal objetivo dos programas de desenvolvimento tecnológico e educacional do Japão.

Para o ano de 2011 houve um grande entrave nas metas governamentais na área da política energética automotiva bem como de outras, pois o maior terremoto do Japão aconteceu em 11 de março de 2011. METI (2011) descreveu que este evento atrasou as políticas de CEV's e reduziu bastante a produção.

Porém devido a uma grande organização, ocorreu uma recuperação antecipada de algumas previsões, então com isto, as projeções do setor privado estão aquém das metas governamentais.

Em contrapartida às adversidades ocorrem incentivos de compra, planejando e investindo em infra-estrutura de abastecimento de PBEV (energia elétrica) com cargas normais e rápidas, mesmo tendo sido comprometida a capacidade energética do Japão (usinas nucleares afetadas).

O planejamento da estratégia de suporte ao mercado, como criação de demanda de EV/PHEV nas cidades e campanhas de uso, dentre outros, são mecanismos utilizados pelo governo para que a evolução não pare. Dentro da política de difusão do EV ocorreu o

financiamento de P&D no ano fiscal de 2011 de:

- Baterias Avançadas: US\$ 40 milhões, projeto de 5 anos (2007-2011);
- Baterias Inovadoras: US\$ 30 milhões, 7 anos (2009-2015);
- Infra-estrutura e incentivos de compra EV/PHEV, sendo US\$ 356 milhões na forma de subsidiar metade do valor do carregador e metade da diferença da nova tecnologia em comparação ao veículo sem a tecnologia.

METI (2011) focou também no desenvolvimento da padronização internacional de equipamentos, como conectores, de segurança, sistemas, no intuito de favorecer a modularização da indústria japonesa ditando a tendência da inovação.

3.2.6 ESTUDOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Alguns estudos sobre perspectivas do desenvolvimento do setor de transporte, no âmbito local do Japão e no mundial foram apresentados no “Transport Future Workshop” no final de março de 2012. Nele Maruyama (2012) explana sobre economia de combustível e perspectiva de melhora, assim como de tecnologias para este objetivo, como a utilização de carros de próxima geração e energias alternativas (HEV, PHEV, Veículos *flex fuel*, EV, FCEV, Veículos a Hidrogênio, CEV), com base na substituição da frota e incentivos para aumentar a participação dos mesmos. Sendo isto um esforço para redução nas emissões de CO₂, Maruyama (2012) explana sobre a interconectividade das tendências de emissões de poluentes e consumo de combustível, com estudo de melhoria em fluxo de tráfego, condução ecológica, sistema de coleta de dados e abordagem integrados.

Os fabricantes japoneses têm grande trabalho em avanços tecnológicos de veículos de nova geração/energia alternativa (método Top Runner), enquanto que o governo em parceria procura o aprimoramento da infra-estrutura, valendo-se da política energética com seus projetos e suas iniciativas inerentes, concatenadas para os resultados.

Uma análise de dados para planejamento do futuro foi exibido por Suehiro (2012), que mostra o Modelo “IEEJ2050” que simula a demanda mundial nos transportes até 2050, com foco no processo de motorização, com relação ao aumento da demanda de veículos e da

emissão de CO₂ em países em desenvolvimento, cuja busca por eficiência energética no uso dos combustíveis não é prioridade de segurança energética. Suehiro (2012) mostra previsões de que a demanda mundial de transporte aumentaria em 3 vezes tendo como base o ano de 2005. A demanda de energia e emissões de CO₂ no transporte aumentaria de 2 vezes comparado a 2005. Estes índices em contrapartida reduziriam no âmbito do Japão, causada pela política energética agressiva e toda ação integrada já mencionada.

Outro modelo foi apresentado em contrapartida ao Modelo IEEJ2050, que tem um enfoque mundial. Com administração de várias variáveis, Kanari e Suehiro (2012) expõem um modelo também de longo-prazo (até o ano 2050) para o setor de transporte rodoviário, porém analisando especificamente o Japão.

O CEAMAT (Computer Energy Analysis Model for All Transportation) aborda todas as tecnologias de veículos, de MCI a gasolina/etanol à híbrido conectável de célula combustível à hidrogênio, analisando vários parâmetros, dentre eles a dinâmica do fluxo dos veículos novos bem como ritmo de implementação de tecnologias. O modelo ainda quantifica a redução na emissão de CO₂ através de ações integradas de educação em condução ecológica (ECO-driving – como economizar combustível com a maneira de dirigir) e melhoria do fluxo de tráfego por, como já foi dito, fazerem parte da política energética no setor de transportes.

A ferramenta CEAMAT apresenta perspectiva de redução de 47% no consumo de energia em 2050 (ano base de 2005) no setor de transportes rodoviários, somente com os itens relacionados aos veículos novos e implantação de tecnologias e teria 55% de redução se levar em conta as ações integradas já citadas (melhora no fluxo de tráfego e educação principalmente na forma do ECO-driving).

3.2.7 CONCLUSÃO DA POLÍTICA

A evolução da política energética japonesa para os transportes mostra que, com o governo gerando um ambiente cooperativo e sensível, é possível estimular os grandes fabricantes nacionais a tomar a direção de núcleos de desenvolvimento de tecnologias novas, não oferecendo resistência às mudanças (que no caso dos EUA ocorreu uma certa relutância por parte dos grandes fabricantes norte-americanos, sem uma consciência sólida na segurança energética e na recuperação e conservação do meio-ambiente).

O governo japonês foi o pioneiro na busca do desenvolvimento para a segurança energética no setor dos transportes, foi o primeiro mercado a ter o HEV e isto serve de modelo e parceria tanto com os EUA, como com a Europa na busca de tecnologias que venham a dar suporte a uma política energética automotiva ecológica e sustentável.

3.3 A POLÍTICA ENERGÉTICA AUTOMOTIVA DA EUROPA

A União Europeia (UE), os Estados Unidos da América (EUA) e Japão compõem as principais regiões do planeta onde existe uma preocupação com a política energética automotiva. Os motivos de todos são similares (segurança energética e meio-ambiente), diferindo apenas de quando ocorreu o despertar para a eficiência energética automotiva e preocupação ambiental. Onoda (2008) expõe uma revisão nas políticas para a eficiência veicular passando por alguns pontos positivos e negativos comparando algumas políticas entre si destes países (EUA, Japão e UE), assim como o Cars 21 (2012) que é relatório das atitudes em prol da evolução automotiva europeia para a segurança energética e os aspectos ambientais das emissões da queima dos combustíveis.

Porém na UE ocorre uma peculiaridade na utilização dos combustíveis fósseis, pois existe uma representativa presença dos automóveis movidos a diesel, competindo com os movidos a gasolina. Existem vários trabalhos que levantam as questões que motivaram e motivam a utilização. Alguns que tratam de análises regionais e da Europa são Hivert (2011), Zachariadis (2011) e Kageson (2012) chamando o fenômeno de dieselização.

Esta questão da evolução da utilização dos veículos a diesel na Europa se deu pelo preço do Óleo Diesel por volta de 1980 ser menor que o da gasolina, além de possuir maior durabilidade mecânica do automóvel. Então na época de grande diferença no preço da gasolina em relação ao Óleo Diesel (menor valor para este), os cidadãos migraram para o uso do diesel, criando todo um desenvolvimento e mercado de veículos a diesel chegando em algumas regiões como a França a 77,3% dos veículos novos vendidos serem a diesel em 2008 (HIVERT, 2011). A Figura 28 mostra o panorama dos principais países componentes da UE com relação nas vendas, a porcentagem de veículos novos a diesel.

As iniciativas sobre eficiência veicular na UE vieram a partir dos acordos voluntários

feitos pela ACEA (European Automobile Manufacturers Association) em 1999 e por JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association) e KAMA (Korean Automobile Manufacturers Association) em 2000, como apontado por Onoda (2008), com metas de emissão de poluentes para melhorar o desenvolvimento automotivo da UE.

Também (por volta do ano 2000) na mesma época se buscou balancear os preços de utilização de veículos a gasolina e a diesel para não haver grande discrepância na utilização entre os combustíveis derivados do petróleo (HIVERT, 2011).

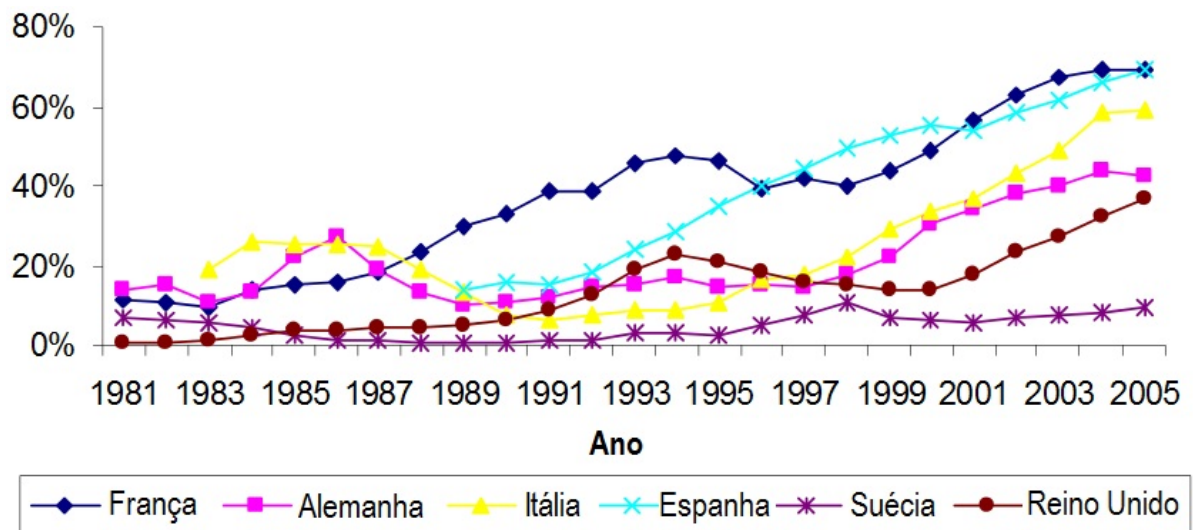


Figura 28 – Participação do diesel no registro de veículos de passeio novos na UE.

Fonte: R. L. Polk & Co. apud Zhang (2007)

A política energética automotiva da UE é basicamente montada em programas voluntários, como mostra Schipper (2008) e Onoda (2008) e será explanado a seguir.

O texto de Westphal (2006) salienta a preocupação da UE com a segurança energética, a necessidade de cooperação multilateral para dirimir conflitos energéticos e a negociação do comércio de energia (gás e petróleo). Schnepf (2006) mostra o lado renovável das políticas energéticas para produção e comércio de biocombustíveis (etanol e biodiesel) e diz, “...como resultado, o comércio de biocombustíveis e sua matéria-prima demonstra ter um crescente papel importante na UE no futuro.”

Fica claro através de afirmações de Hivert (2011), que a grande migração do uso da gasolina para o diesel, por causa das variações do preço da gasolina não contribui em nada para amenizar as crises econômicas e da ascensão dos preços da gasolina, pois a segurança energética atual vem de diminuir a dependência do petróleo assim como seus derivados

(gasolina e diesel), portanto a análise é feita sem dar grande destaque para a grande porção de veículos leves movidos a Diesel.

3.3.1 DESCRIÇÃO DAS POLÍTICAS

Na UE as políticas energéticas para os veículos começaram pouco ambiciosas e voluntárias por volta das décadas de 80 e 90, quando os impactos da poluição pareciam menos urgentes, porém Onoda (2008) mostra que em fevereiro de 2007, a UE em prol de melhorias automotivas publicou um comunicado intitulado “Results of the Review of the Community Strategy to Reduce Emissions from Passenger Cars and Light-commercial Vehicles”. Onde exibe reduzida evolução na redução (de 183 gCO₂/km em 1995 para 163 gCO₂/km em 2004) das emissões de poluentes, enquanto nesse período os carros novos na UE ficavam significativamente maiores, mais potentes e os preços subiam menos que a inflação, o que forçou a medidas mais firmes de incentivos em geral (meta de 140 gCO₂/km para 2008/2009 e 120 gCO₂/km para 2012) (ONODA, 2008).

Dentro dos programas de regulação até 2008 não houve imposição de padrões somente metas voluntárias, e na Tabela 5 obtida de Onoda (2008) é mostrada a falta de resultados por parte destes programas voluntários em contrapartida aos resultados dos programas regulatórios.

Tabela 5 – Resultados de programas regulatórios e metas voluntárias.

Fonte: Onoda (2008)

	Medidas Regulatórias			Metas Voluntárias		
	Ano início	Ano alvo	Resultado	Ano início	Ano alvo	Resultado
Japão	1999 2007	2010 2015	A*	1978 1993	1985 2002	F** F
União Européia				1995 1999	2012 2008	F
Estados Unidos da América	1975 2006	Cada ano	A			
Canadá				1976 2005	Cada ano 2010	A
China	2004 2004	2005 2008	A			
Austrália				1978 1987 2005	1987 2000 2009	F F
Coréia	2005	2006		2005	1996 2000 2009	

A* : alcançou as metas F** : falhou

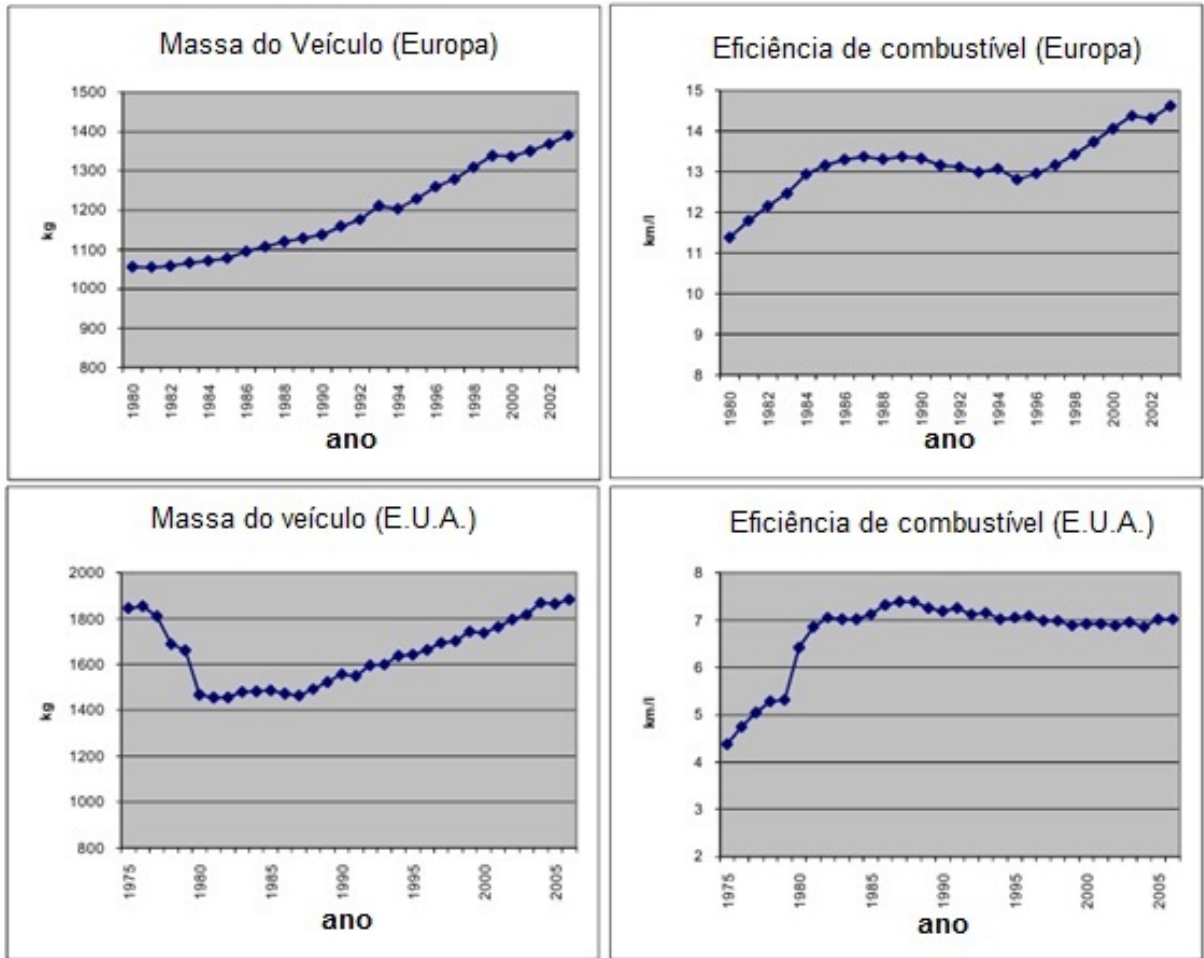
Portanto diante dos relatos de Onoda (2008) da necessidade de resultados este também propôs melhorias na política para que, relacionada a padrões que produzam avanços, dentro de vários pontos que colocou como descobertas. Onoda (2008) apontou na proposta de melhorias a interação da política com os padrões que segundo ele, só fazer carros eficientes não é suficiente (padrões regulatórios), os consumidores tem de comprar os veículos eficientes (política de informação e incentivos).

Dentro das proposições de Onoda (2008) aparecem similaridades nos programas entre UE, EUA e Japão como a Etiquetagem Veicular, que em 2007 na UE ocorreu indicação de aprimoramento nas informações fornecidas (informações claras para mostrar, da melhor forma, os benefícios dos carros mais eficientes), os Incentivos Financeiros, para incentivar a aquisição de veículos eficientes (obteve bons resultados no Japão). Na UE a taxaço é sobre a emissão de CO₂ (no Japão é sobre o consumo km/l) e sua adoção estimou reduzir custo para a implantação de tecnologias (favorecer financeiramente os veículos menos poluentes com a sobretaxa dos mais poluentes), onde os motores a diesel encontram dificuldade por causa das maiores emissões de CO₂ do que os motores a gasolina, apesar de sua maior autonomia.

Onoda (2008) aponta também um quesito importante, a Rigidez Regulatória, que mostra

o nível de ambição na melhoria da eficiência no uso de combustíveis das principais nações (ou emissões de CO₂, que é o caso da UE). Compara os avanços ao longo dos anos de acordo com os tipos de abordagem (classificação por peso ou tamanho, de acordo com a adoção em cada região, no Japão os veículos são classificados por peso e na UE e EUA é por tamanho ou área projetada), com importantes reflexos da evolução automotiva em eficiência energética e peso de acordo com as Figuras 29 e 30.

Na Figura 30 vale destacar o desempenho do Japão nos resultados do controle para que não houvesse aumento de peso dos carros (peso específico adimensionalizado em relação a valores de 1990) e por isto traduziu em um aumento na eficiência específica de consumo de combustível (consumo de combustível específico adimensionalizado em relação a valores de 1990) sem aumento expressivo da relação da massa, que no caso da UE já atrapalhou o aumento da massa na evolução da eficiência e mostrando também a ineficiência do já citado programa de metas voluntárias utilizadas desde o início do controle europeu da emissão de poluentes dos automóveis.



Nota: na Europa, a parcela de veículos diesel começou a aumentar por volta do meio da década de 90.

Figura 29 – Tendência da média da frota veicular de peso e eficiência.

Fonte: Onoda (2008)

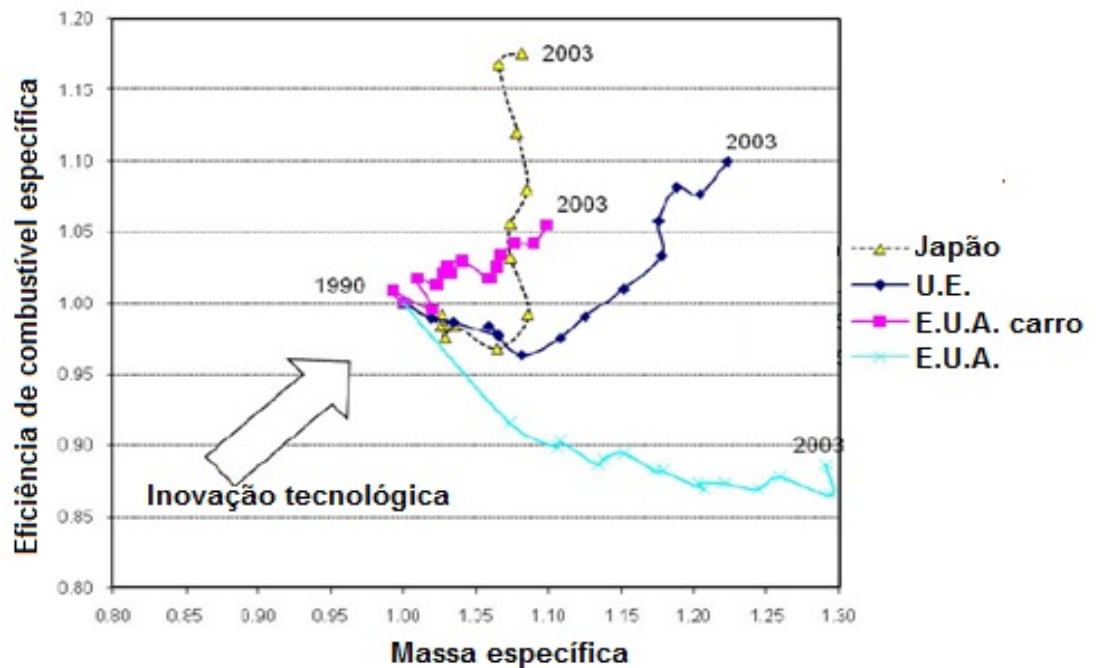


Figura 30 – Tendências de eficiência e massa (adimensionalizados com valores do ano de 1990 = 1).

Fonte: Onoda (2008)

3.3.2 DESAFIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

No documento “Directory of European Union Legislation in Force” sub-título “Transport Policy” de 1 de setembro de 2010, é mostrado, na política do transporte da UE com relação a eficiência energética, que:

- Regula padrões de desempenho de emissão para carros de passeio novos, como parte da abordagem integrada da Comunidade (UE) para reduzir as emissões de CO₂ dos veículos leves (light-duty vehicles);
- Aprovação de veículos rodoviários (avaliações mais realistas);
- Diretiva (08/05/2003) na promoção do uso de biocombustíveis renováveis para o transporte;
- Diretiva para testes rodoviários confiáveis (realistas) para veículos automotores e trailers;
- Aprovação de motores de acordo com as emissões de poluentes, abastecidos com gás liquefeito de petróleo (GLP);
- Coleta de dados de condução de motoristas.

No geral os itens da legislação remetem a uma política energética automotiva com um enfoque no incentivo dos biocombustíveis e alternativas renováveis ou não (caso do GLP) para diminuir as emissões de poluentes da área automotiva. Ainda com o enfoque nos combustíveis renováveis, o documento de outubro de 2010 “Renewables make the difference” do Diretório Geral para Energia da Comissão Europeia explica:

- Do incentivo aos combustíveis renováveis na diversificação das fontes energéticas por questões ambientais e de segurança energética;
- Das metas para 2020 da UE (como a média de uso de 20% dos combustíveis no transporte serem renováveis);
- Que 96% da energia nos transportes é derivada dos produtos do petróleo (realidade a mudar);

- Sobre o uso da eletricidade renovável (ex.: eólica, solar) para veículos híbridos/elétricos.

Estes avanços e preocupações, na diversificação do uso e produção de energia para o transporte são introduzidos na política com os incentivos a produção, infra-estrutura e uso dos combustíveis renováveis. Então, além do enfoque na eficiência dos automóveis, ainda há que observar o quesito que Onoda (2008) chama de neutralidade tecnológica, pois é preciso que haja o desenvolvimento dos motores para os combustíveis alternativos/renováveis, além dos contínuos avanços das tecnologias baseadas em derivados de petróleo.

3.3.3 PROGRAMA CARS 21

O relatório final de CARS 21 (2012) é um relançamento do programa “CARS 21 High level Group”, original de 2005 (adotado em 28/04/2010), que aponta as mudanças da indústria automotiva europeia, descobertas tecnológicas em avanços dos Motores de Combustão Interna com Veículos Elétricos (EV-Electric Vehicle) e combustíveis alternativos ao diesel e gasolina (combustíveis derivados do petróleo). O Objetivo do grupo é de produzir recomendações de políticas para suporte da competitividade e crescimento sustentável da indústria automotiva europeia (como no caso do Japão da ação do governo estrategicamente associada a grandes empresas privadas do ramo automotivo). Este relatório dá uma visão do setor automotivo para 2020 e orienta nas áreas de políticas onde é de importância do setor automotivo.

O relatório foi dividido nos seguintes enfoques:

1. Visão estratégica
2. Aprimoramento das condições de negócios
3. Melhoria da competitividade no mercado global
4. Diminuição das emissões de CO₂
5. Implementação de novas soluções de mobilidade
6. Redução das emissões de poluição e ruído.

Os principais pontos a observar dentro dos enfoques são que:

No item 1. Visão estratégica: o incentivo e recomendação de um portfólio de tecnologias de propulsão ecológicas, infra-estrutura de reabastecimento e recarga (veículos elétricos) pensando também nos combustíveis alternativos, também aponta como Onoda (2008) a neutralidade tecnológica como chances iguais para todas as tecnologias. Dentro da parte de política integrada, que é um ponto importante, também salienta as medidas combinadas voltadas para os veículos, infra-estrutura e usuários bem como medidas políticas e sociais efetivas de longo prazo.

O item 2 apesar de ser um enfoque não é objeto de estudo desse trabalho o detalhamento de políticas de auxílio ao comércio, sem o foco do desenvolvimento tecnológico.

No item 3. Melhorando a competitividade no mercado global: CARS 21 (2012) monta uma discussão sobre tarifação alfandegária em relação a comunidade europeia e a cooperação com EUA e Japão, como foi apontado na revisão da política energética do Japão pela UNECE em 1958.

No item 4. Diminuição das emissões de CO₂: O relato da continuidade da estratégia de 2007 de emissão para veículos leves (novas tecnologias de motores), isto se estende aos veículos pesados com metas para 2020 e abordagem de combustíveis alternativos, comportamento do motorista, política integrada e etiquetagem de emissões de CO₂ complementando as tecnologias dos motores. A meta definida para 2020 do limite de CO₂ é de 95 g/km, para os carros e 147 g/km para vans (alguns automóveis estão próximos da meta desde 2009, como mostra os dados dos fabricantes em <http://www.energy.eu/car-co2-emissions>).

No item 5. Implementando novas soluções de mobilidade: Diversificar as fontes de energia utilizadas no transporte, no entanto cada benefício deve ser estudado incluindo a Análise do Ciclo de Vida (LCA – Life Cycle Analysis), penetração dos combustíveis alternativos bem como sua infra-estrutura, inovação para manter a competitividade e a sustentabilidade no transporte como misturas de biocombustíveis, carga de veículos elétricos (economia de CO₂) e metas de desenvolvimentos na questão da segurança e sistemas de transporte inteligentes (ITS – Intelligent Transport Systems) com uniformidade no incentivo

das várias tecnologias.

No item 6. Redução das emissões de poluição e ruído: Participando da política integrada, novos ciclos de teste de condução, no intuito de se obter maior realidade nos dados de consumo e emissões, em relação às medidas no uso real e uma regulação da intensidade do ruído veicular mais próximo do real.

3.3.4 CONCLUSÃO DA POLÍTICA

A evolução na política de metas da UE é coerente com o relatório final de CARS 21 (2012), sendo um foco lógico no rumo da eficiência veicular no uso dos combustíveis (origem fóssil ou renovável) e redução nas emissões de poluentes, pela concatenação das medidas de padrões e políticas na obtenção dos resultados.

Baseados num bom projeto da medição de padrões e políticas a serem tomadas no sentido de conduzir a produção e o consumo rumo à eficiência energética e evitar possíveis brechas que possam neutralizar os objetivos pretendidos. Tomando a organização das medidas da seguinte forma, baseado nas recomendações de Onoda (2008):

- Atributos de um padrão efetivo: Escopo, procedimentos de teste, neutralidade tecnológica, flexibilidade regulatória;
- Rigidez dos padrões;
- Políticas associadas aos padrões: Etiquetagem associada a incentivos financeiros.

Sendo estes os principais pontos assim como o CARS 21 (2012) relançado, onde recomenda e prepara para o desenvolvimento sustentável e competitivo rumo às metas de 2020 e toda a estrutura da política integrada.

CAPÍTULO 4

MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA ALTERNATIVOS E OS VEÍCULOS *FLEX FUEL*

4.1 INTRODUÇÃO

Desde a criação do programa nacional de incentivo ao álcool combustível (Proálcool) e a partir de 2005, não houve grandes desenvolvimentos na área de motores, pois o maior esforço foi a “adaptação” dos motores à gasolina ou à álcool para utilizarem ambos combustíveis sem distinção. Porém como apresentado em Melo (2005) dentre outros, há distinções na utilização da gasolina e do etanol, o que dá margem para o estudo de aprimoramento dos motores para melhor utilização de combustíveis específicos.

Trabalhando de forma mais sustentável, existem os veículos híbridos que são a melhor opção atualmente, na melhoria da autonomia e nas emissões de poluentes. Um reflexo de atitude nesse sentido veio dos Estados Unidos, com um direcionamento forte da política energética do seu Departamento de Energia (DOE), como mostra o Progress Report (2010) no intuito de incentivar as fontes renováveis e sistemas híbridos que proporcionem menores emissões de poluentes.

Existem várias fontes relacionadas com o Departamento de Energia dos EUA (US

DOE), que mostram as atitudes de incentivo para as tecnologias mais eficientes e limpas, ou até de emissão zero como veículos puramente elétricos (tendo o Japão como precursor na inovação).

Atualmente os motores de combustão interna, para o caso do uso da gasolina ou óleo diesel estão em grande avanço com vários aprimoramentos obtidos na última década, dentre eles estão os avanços na parte da recirculação dos gases de escape (EGR – exhaust gas recirculation), a variação do sistema do comando de válvulas tanto da admissão quanto da exaustão (VTEC e i-VTEC da Honda, o VVTi e o Dual VVTi da Toyota, Variocam da Porsche, o Duratec da Ford, dentre as tecnologias de cada fabricante), a superalimentação que já tem aplicação de longa data (meados de 1924), a variação no ar de admissão e a injeção direta que é de uso mais recente.

4.2 DESENVOLVIMENTOS

Nas principais melhorias que trouxeram avanços significativos tem-se como exemplo, o trabalho comparativo de um motor de menor cilindrada superalimentado em relação a um de maior cilindrada de aspiração natural, citado em Jost (2002) como mostra a Figura 31, mesmo com metade do volume (cilindrada) a curva de torque (entre o 1,5l superalimentado e um 3,0l naturalmente aspirado, que correspondem às linhas grossas) se equipara porém com menor consumo específico (curvas de nível acompanhadas dos valores de linhas mais finas) no motor de 1,5l, designado por BSFC (Brake Specific Fuel Consumption).

Sendo apenas em baixas rotações que ocorre uma pequena diferença desfavorecendo o motor de 1,5l superalimentado (*downsizing*), no restante da faixa de rotação e carga este tem melhor desempenho.

Na Figura 32 a melhoria no desempenho com base na utilização de válvulas totalmente variáveis no tempo de abertura exhibe curvas de torque melhores (linhas grossas superiores) assim como o consumo específico (curvas de nível acompanhadas dos valores, de linhas mais finas).

As curvas da pressão efetiva indicada mostram o ganho de desempenho nas regiões de

rotação fora do projeto único em comandos de válvulas sem variação do levantamento e/ou tempo de abertura, que no caso da Figura 32 é a faixa de baixas e médias rotações.

Sendo uma tecnologia já bem presente atualmente nos veículos comercializados no Brasil e no mundo, mostrando o ganho de desempenho proporcionado pelas melhorias nas curvas características dos motores com o recurso.

Assim como a Figura 33 onde, a utilização de um sistema de injeção de combustível diretamente dentro do cilindro (Injeção Direta) mostra também uma visível melhora na curva de torque (linha grossa superior) e na curva de consumo específico (linha fina em curvas de nível) onde os valores estão nas próprias curvas.

Mostrando que, o recurso da injeção direta promove também uma melhoria principalmente em baixas e médias rotações e cargas, onde o recurso de mistura ar-combustível estratificada e pobre funciona melhor. Ocorrendo a difusão da tecnologia em veículos atualmente no Brasil e já a alguns anos em outros mercados, porém, com aplicação exclusiva a gasolina (injeção direta com ignição por centelha).

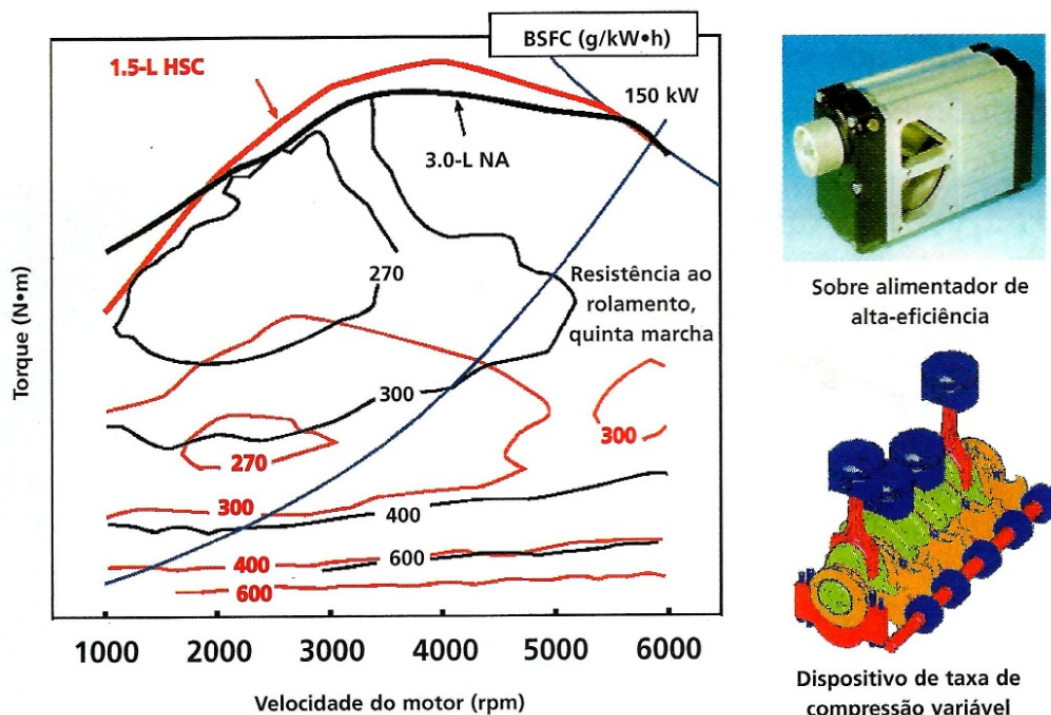


Figura 31 – Comparação de dados de um motor 3,0l de aspiração natural com um de 1,5l e sobre-alimentador (supercharger) de alta eficiência.

Fonte Jost (2002)

Todos estes desenvolvimentos na área automotiva apresentados nas Figuras 31 a 33, juntamente com o desenvolvimento da eletrônica embarcada no automóvel fizeram com que

houvesse uma grande melhoria com relação à emissão de poluentes. Assim se percebe na evolução dos motores que seu tamanho diminuiu (tendência de “*downsizing*”), enquanto que em contrapartida sua potência aumentou, então a potência específica dos atuais veículos são maiores, refletindo assim em sua autonomia (com exceção dos veículos *flex fuel* que será posteriormente abordado).

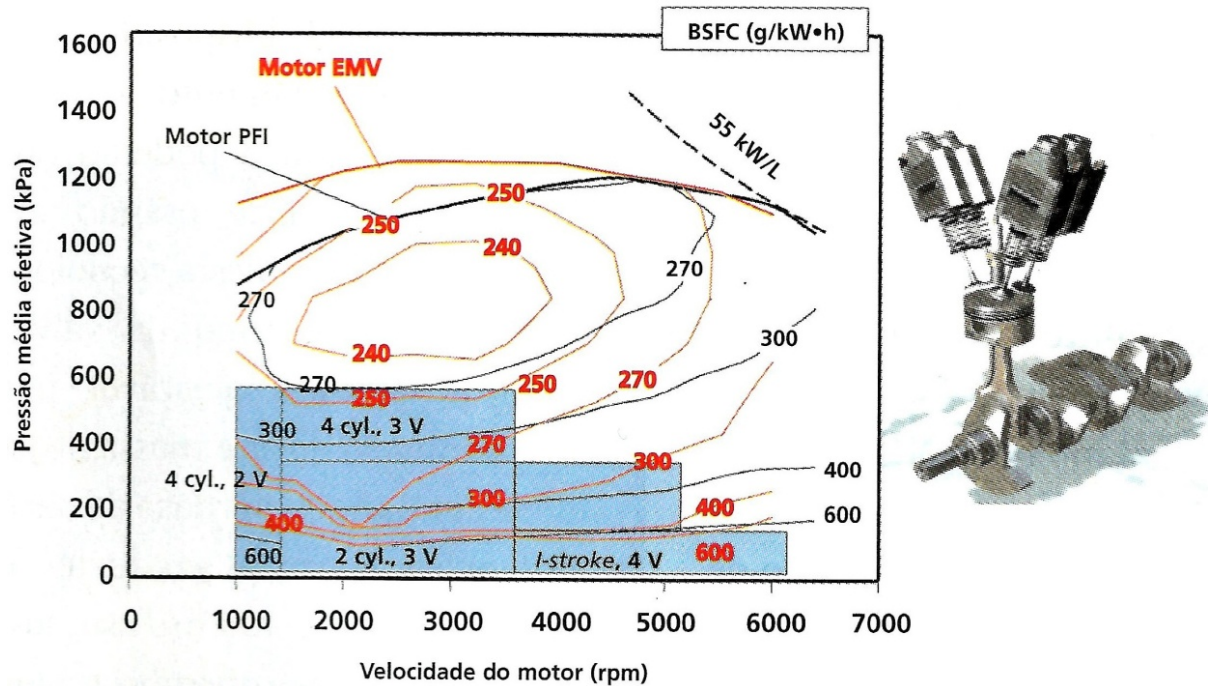


Figura 32 – Comparação do sistema de válvulas de um motor com comando de levantamento fixo (Motor PFI) e um com sistema continuamente variável (Motor EMV).

Fonte Jost (2002)

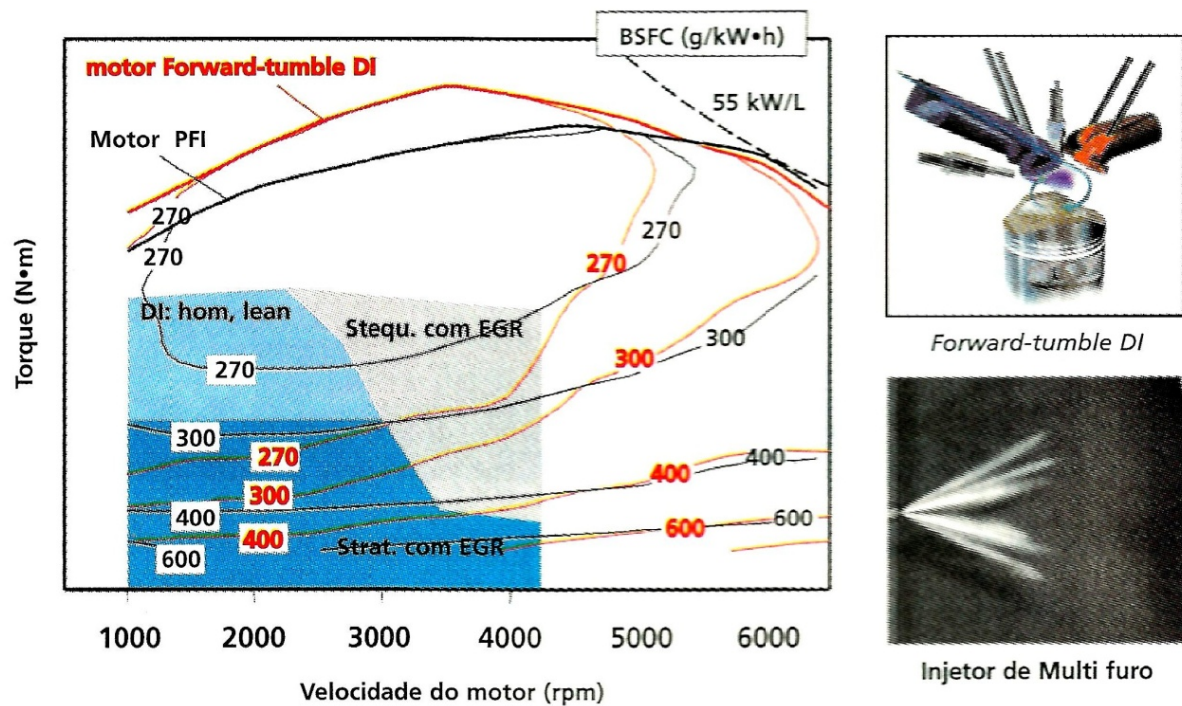


Figura 33 – Dados comparando um motor de injeção na entrada de válvula (Motor PFI – “Port Fuel Injection”) com um motor de injeção direta de combustível (Forward-tumble DI).

Fonte Jost (2002)

Esta tendência de substituição dos derivados de petróleo, é um movimento mundial, como mostra o nível de comprometimento do governo norte-americano com este objetivo, descrito em Progress Report (2010). Este relatório mostra as pesquisas sendo desenvolvidas no foco da melhoria da autonomia e emissão de poluentes, na dependência do petróleo, que dizem respeito basicamente ao programa de avançados motores de combustão e veículos híbridos. Lembrando que no caso dos EUA ainda há o desenvolvimento da tecnologia flexível na utilização de gasolina e etanol (porém com teor máximo de etanol anidro de 84% presente na gasolina), citado anteriormente na política energética automotiva dos EUA por Heywood et al (2009).

A menor emissão de poluentes dos motores que utilizam etanol em relação aos que utilizam gasolina é citado por Vianna et al (2009), e a Figura 34 mostra que em Liao et al (2005) como pequenas proporções de etanol adicionados a gasolina já causaram diferença e que várias fontes apontam na mesma direção como Cooney et al (2009), Yusaf et al (2009), Datta et al (2010) e Jun et al (2010).

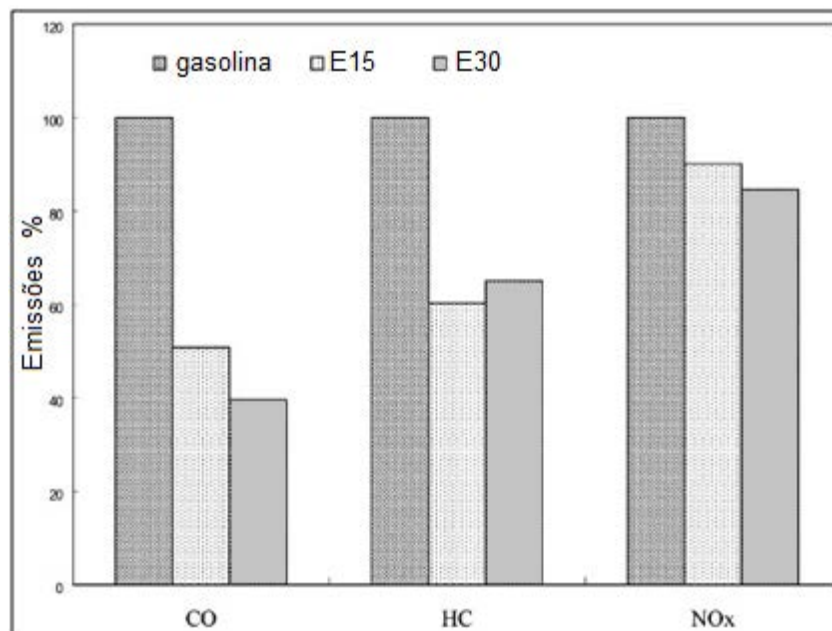


Figura 34 – Variações de CO, HC e NOx para vários combustíveis na relação ótima, como referência em gasolina como 100% e proporções de etanol (E15 e E30).

Fonte: Liao et al (2005).

Diferentes fontes de obtenção e aproveitamento do etanol são descritas por Datta et al (2010) em grandes potenciais como biomassa e gaseificação híbrida com bioconversão. Ainda segundo a pesquisa de Datta et al (2010) menciona-se emissões e eficiência do motor melhorados com uso do etanol, mostra-se também dados da certificação EPA (Environment Protection Agency) para veículos modelos 2006-2007 e 2010 norte-americanos, exibindo o aproveitamento da energia por distância percorrida, inclusive da viabilidade da aplicação da injeção direta mediante o efeito de resfriamento da carga no cilindro pelo alto calor de vaporização do etanol.

Tem-se o trabalho realizado por Jun et al (2010) que mostra uma outra aplicação do etanol, que propõe uma aplicação para o vapor reformado de etanol de fórmula $C_2H_5OH + H_2 + CO$ (Figura 35). Um etanol hidrogenado em vapor como alternativa para reduzir emissões e consumo de energia, inclusive aproveitando o calor rejeitado no sistema de escape, obtendo assim bons resultados na redução das emissões de poluentes, principalmente NOx, CO e xHC (hidrocarbonetos totais não queimados). Exibe também a melhoria na velocidade de chama do etanol reformado, em relação a outros combustíveis pertinentes ao estudo como mostrada da Figura 35. Portanto percebe-se outra vantagem do etanol à gasolina pela sua queima mais rápida e melhor como mostra a Figura 36 que mesmo numa proporção

pequena já se nota a diferença da velocidade de chama.

Vale salientar que apesar do menor poder calorífico do etanol sua mistura tem uma liberação de calor maior (comparando para uma mesma massa de mistura ar-combustível), para um mesmo volume. A Figura 37 do trabalho de Yang et al (2010) mostra que, sendo esta mais uma característica a ser trabalhada para um melhor aproveitamento da capacidade de desenvolver um motor tão eficiente ou melhor que a atual utilização com gasolina.

O trabalho de Yang et al (2010) mostra, que na Figura 37 os valores de calor liberados dos combustíveis não são proporcionais, porque corresponde a um experimento onde se avaliava um ambiente HCCI (Ignição por Compressão de Carga Homogênea). Somente foi exposto os valores de calor liberados no período NVO (Cruzamento de Válvulas Negativo), quando além do fator de relação ar/combustível e PCI (Poder calorífico Inferior) tem considerada a velocidade de chama superior do etanol no tempo limitado avaliado.

O experimento de Yang et al (2010) confirma os dados da Tabela 4 (Poder Calorífico da Mistura) de Garcia e Brunetti (1992) que quando do funcionamento real ocorre um maior desempenho dos motores utilizando etanol, visto também nas potências anunciadas dos veículos *flex fuel* em geral.

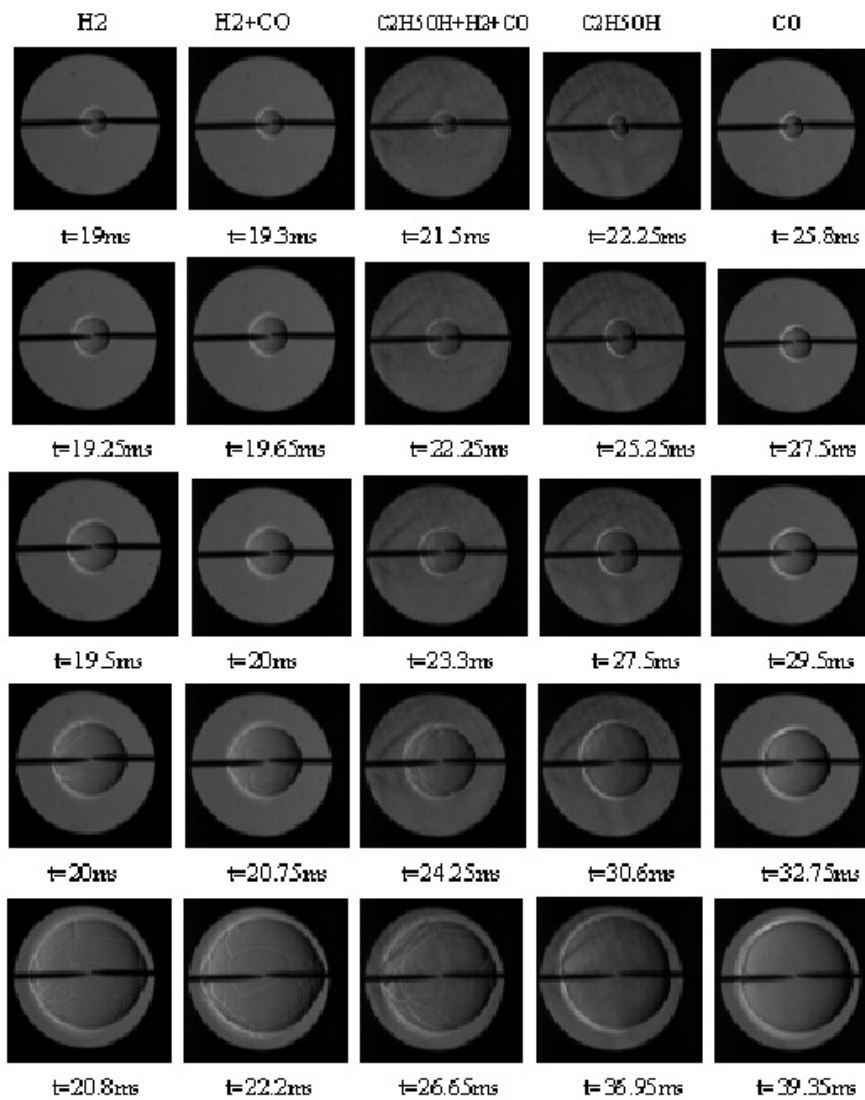


Figura 35 – Crescimento do núcleo de chama captado por câmera schlieren para diferentes combustíveis.

Fonte: Jun et al (2010).

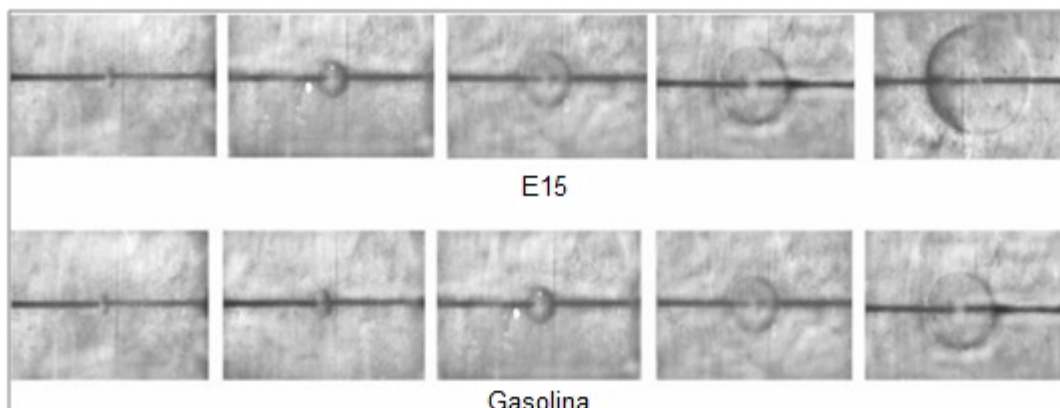


Figura 36 – Crescimento do núcleo de chama captado por câmera schlieren para misturas estequiométricas de E15 (15% de Etanol) e Gasolina, intervalo de tempo de 4 ms.

Fonte: Liao et al (2005).

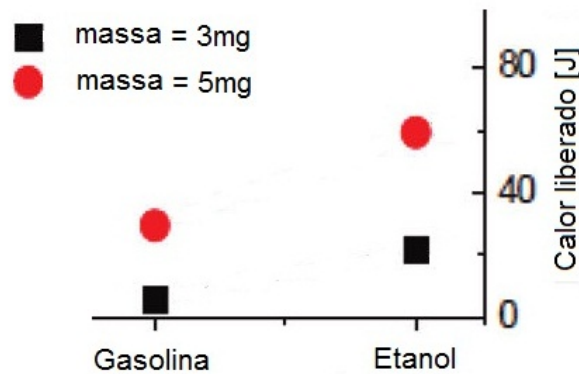


Figura 37 – Comparação da quantidade de calor liberado pelos combustíveis na combustão em suas relações estequiométricas para um período NVO do motor estudado em caso HCCL.

Fonte: Adaptado de Yang et al (2010).

Com isso, para haver um aproveitamento do princípio de funcionamento dos MCI, seja em ciclo Otto, Diesel ou Misto existe a necessidade de voltar os esforços para, o desenvolvimento de formas de aprimorar e reestruturar os motores, para aproveitar totalmente as vantagens dos biocombustíveis, que é a direção atual.

Ainda há idéias na direção do funcionamento e dinâmica interna dos motores como o trabalho de Cao (2011), que mostra na idealização de um sistema diferente de câmara de combustão com uma configuração que tem a intenção de variar a taxa de compressão e a taxa de expansão, com este recurso, aumentar a eficiência térmica (expansão) e talvez aprimorar a partida à frio de biocombustíveis como etanol que, possui um índice de cetanas e pressão de vapor baixos enquanto o calor latente de vaporização alto que atualmente são situações mais críticas no uso do etanol.

O desenvolvimento dos MCI está dividido em várias vertentes no aproveitamento com qualidade das fontes de energia renováveis e viáveis, frente aos combustíveis fósseis. Existem as propostas de veículos a hidrogênio com diversas formas de se obter o hidrogênio, inclusive advinda do etanol como sendo uma opção. Outra vertente são os veículos elétricos, com a chance de geração de eletricidade de várias formas, também com aprimoramento das baterias e possibilidade de reciclagem de energia (frenagem e simulação do sistema freio-motor).

Contudo a principal configuração atual (como apresentado nas políticas energéticas automotivas) é o sistema de tração híbrida, que mantém a interação de um sistema elétrico com um motor de combustão interna, no intuito de não se depender somente de uma fonte de energia e ainda sim aproveitar deste funcionamento em conjunto e recuperando parte da

energia perdida em diferentes proporções. Como no caso de diferentes níveis de interação e gerenciamento de seu sistema elétrico, auxiliando o sistema de combustão interna direcionando para a sustentabilidade e o meio ambiente.

4.3 O USO DOS VEÍCULOS *FLEX FUEL*

Como apresentado nas políticas energéticas automotivas, analisar-se-á o uso de veículos que possam utilizar gasolina e outro combustível alternativo que no caso a ser analisado é o etanol (ou também gás natural no caso do Brasil ou gás liquefeito de petróleo no caso europeu, exemplo no Anexo A).

Nos EUA foi comentado por Evans (2008) a utilização de veículos *flex fuel*, que no Brasil ocorre um intenso uso destes (no caso norte-americano os limites são da gasolina pura a 85% de etanol e no caso brasileiro é da gasolina adicionada de 20 a 25% de etanol anidro a etanol hidratado puro). Surgindo como um avanço do mercado para permitir o desenvolvimento com maior liberdade do mercado do etanol como combustível veicular e assim se desenvolver o mercado para tal combustível alternativo à gasolina como mostra a Figura 38, do avanço do uso percentual dos combustíveis no Brasil.

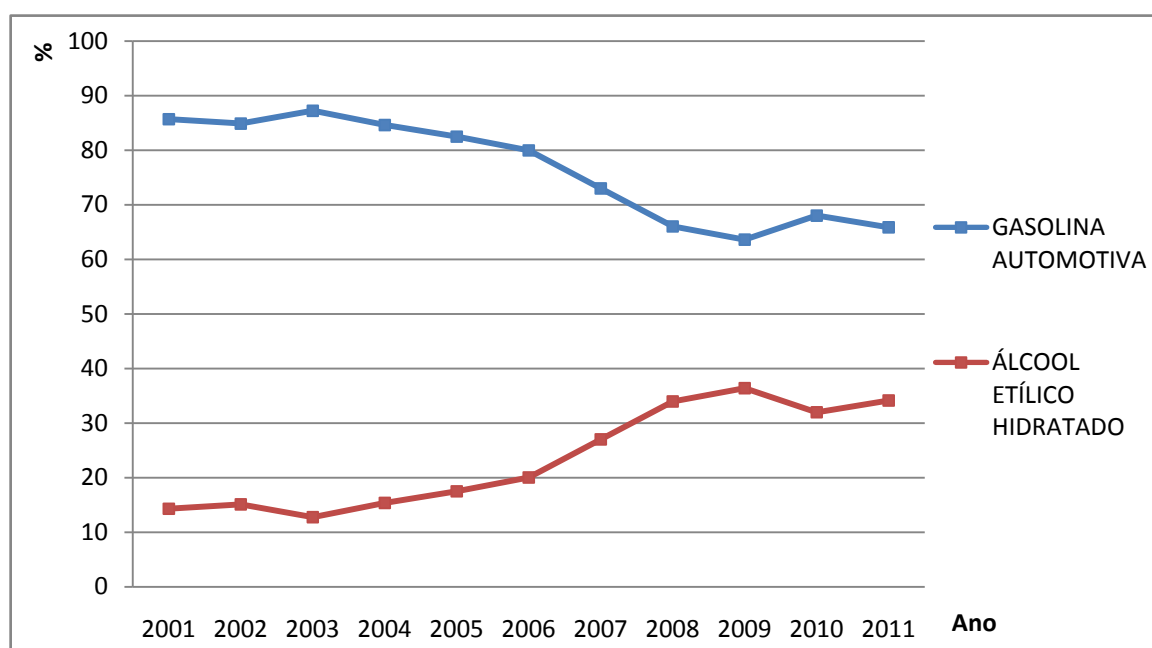


Figura 38 – Evolução percentual do consumo de gasolina e etanol no Brasil de 2001 a 2011.

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) de 2011 e 2012.

Recentes desenvolvimentos tecnológicos têm possibilitado o aumento da eficiência energética dos MCI. Através de uma revisão de eficiência energética realizada por Onoda (2008) dentro de diferentes posturas, perante o desenvolvimento da eficiência energética automotiva e pressão das políticas associadas aos avanços automobilísticos.

Alguns relatos de pesquisas brasileiras são contrários ao relatório americano de Heywood et al (2009), que tomando como base a teoria termodinâmica, ensaios e Garcia e Brunetti (1992) sobre alteração do ponto ótimo de ignição, mostram que o veículo *flex fuel* (popularmente conhecido por carro “flex”) na utilização dos combustíveis, sacrifica a eficiência no uso da gasolina em detrimento do uso do combustível renovável, o etanol, porém um total aproveitamento do mesmo não é obtido.

A pressão de vapor do etanol é menor do que da gasolina, porém a adição de etanol na gasolina entre 10 a 20% volume aumenta consideravelmente a pressão de vapor, no entanto sendo maior o teor de etanol esta característica diminui novamente que como informado anteriormente afeta a parte de partida a frio e volatilização do combustível para tal situação (VILANOVA, 2007, p. 14 e 15).

A maior entalpia de vaporização do etanol promove maior resfriamento da mistura (combustível oxigenado) e aumento do rendimento volumétrico do motor, contudo, esta característica juntamente com sua baixa pressão de vapor, pode dificultar a evaporação e contribuir para a condensação de combustível nas paredes do coletor, como relatou Bayraktar (2005) apud Vilanova (2007).

Segundo Heywood (1988) apud Vilanova (2007), os valores para o calor específico (sufixo “v” para volume constante e “p” para pressão constante) para vapores de álcool etílico (AEAC – álcool etílico anidro combustível) e gasolina (GASA – gasolina tipo A) (HC – hidrocarboneto) são os seguintes:

$$c_{vAEAC} = 1,720 \text{ kJ / kg. K}$$

$$c_{vGASA} = 1,700 \text{ kJ / kg. K}$$

$$c_{vHC} = 1,70 \text{ kJ / kg. K}$$

$$c_{var} = 0,720 \text{ kJ / kg. K}$$

$$c_{pgas} = k \cdot c_{vgas} \quad k = 1,3$$

O $k=1,3$ é uma aproximação da constante do gás para a mistura ar e combustível, feita por Heywood (1988) apud Vilanova (2007) em seu trabalho, onde o mesmo utilizou as equações triviais de estudo do ciclo termodinâmico Otto padrão ar com $k=1,3$ como forma de obter dados próximos de um ciclo real, já inclusive utilizado em outros trabalhos da área de motores de combustão interna alternativos (DUARTE ET AL, 1996).

Baseado na equação retirada de Garcia e Brunetti (1992) para o rendimento térmico do ciclo Otto (Equação A.27):

$$\eta_t = \frac{W_i}{Q_1} \rightarrow \eta_t = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}}$$

Sendo :

W_i : trabalho do ciclo

Q_1 : entrada de calor

r_v : taxa de compressão

Utilizando o k dos gases (ar e combustível) retirado de Heywood (1988) apud Vilanova (2007) de 1,3 monta-se o gráfico da taxa de compressão pela eficiência térmica (η_t) da Figura 39, baseado nas equações de ciclo padrão ar com aproximação dos dados reais.

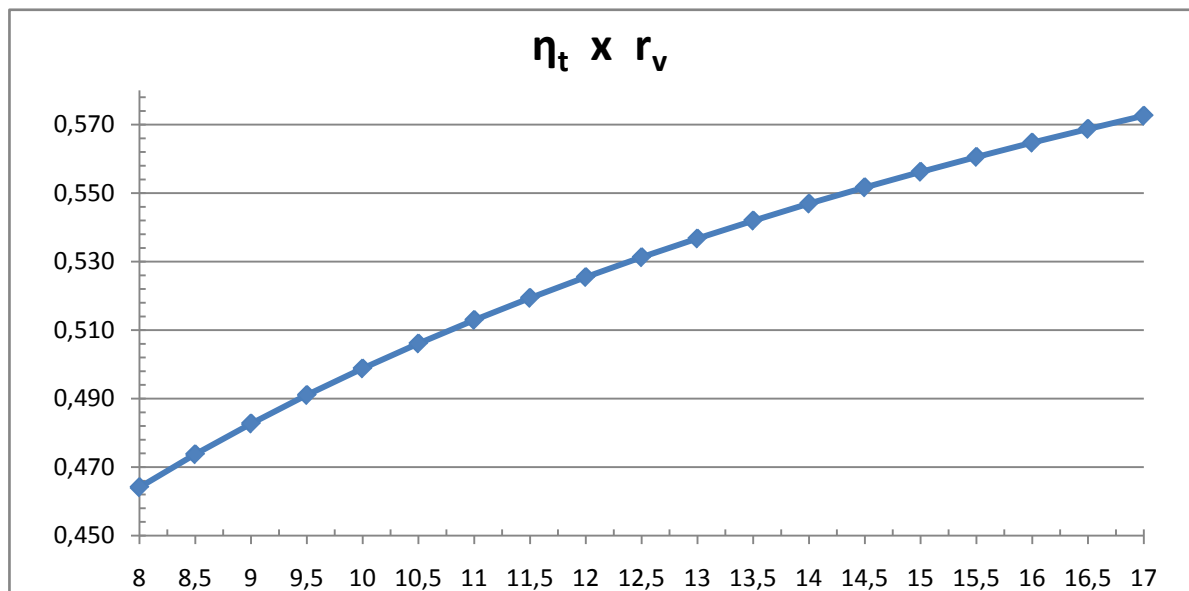


Figura 39 – Rendimento térmico (η_t) versus taxa de compressão (r_v) com aproximação do ciclo ideal a ar para a utilização dos combustíveis líquidos reais.

Para conectar os fatos iniciados na Figura 39 para análise, o resultado do trabalho de Cooney et al (2009) traçou o limite de detonação em relação a taxa de compressão e a porcentagem de etanol contida na gasolina (até o máximo de 85% de etanol que é a aplicação norte-americana) como mostra a Figura 40.

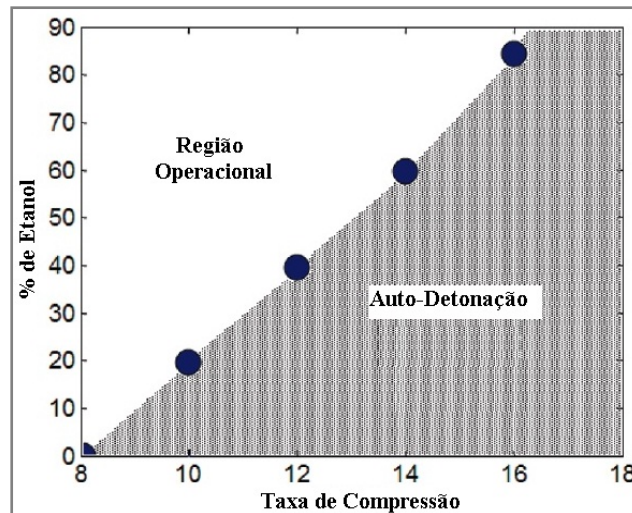


Figura 40 – Limite de detonação de acordo com a taxa de compressão e a porcentagem de etanol adicionado à gasolina.

Fonte: Cooney et al (2009).

Da Figura 40 pode-se avaliar a utilização do veículo *flex fuel*, onde a taxa de compressão é fixa e somente se varia a quantidade de combustível injetado e o momento da centelha basicamente, para que se mostre a região onde ocorra detonação, mostrando também os reflexos da variação das condições pré-combustão apresentadas no Apêndice A.

Em uma utilização, por exemplo, um veículo cujo motor possui $r_v=12,5$ está sendo utilizada gasolina comum tipo C (que contém 20% vol. de etanol anidro – AEAC - Álcool Etílico Anidro Combustível) que teria o limite $r_v=10,0$.

Portanto teria a injeção eletrônica que acertar o ponto de ignição para que não ocorresse a detonação. No entanto diagramas representativos da situação das pressões no interior do cilindro e torque, que conseqüentemente refletem o trabalho do ciclo são mostrados nas Figuras 41, 42 e 43 e ilustram o prejuízo quando a ignição é alterada do seu ponto ótimo como mostra Garcia e Brunetti (1992), Vilanova (2007) e Giacosa (1988) apud Malfatti (2009).

Sendo o ponto ótimo de centelha, uma condição que depende da velocidade do motor, combustível e taxa de compressão dentre outras variáveis, por isso é ajustável para cada

ensaio ou condição.

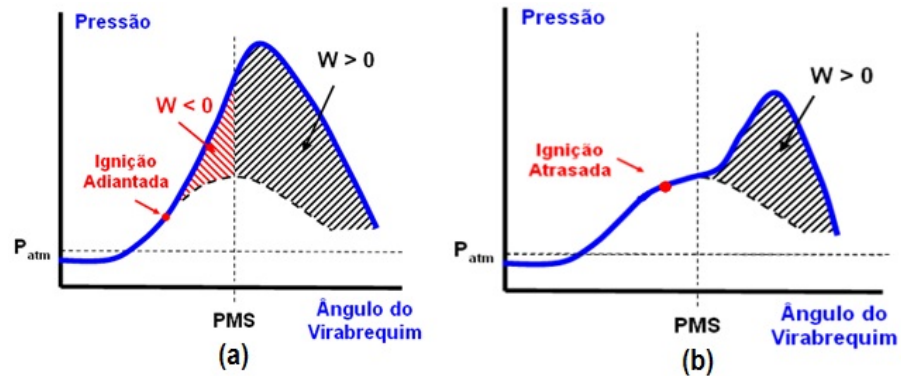


Figura 41 – Esquema de combustão: (a) adiantada, e (b) atrasada.

Fonte: Adaptado de Garcia e Brunetti (1992)

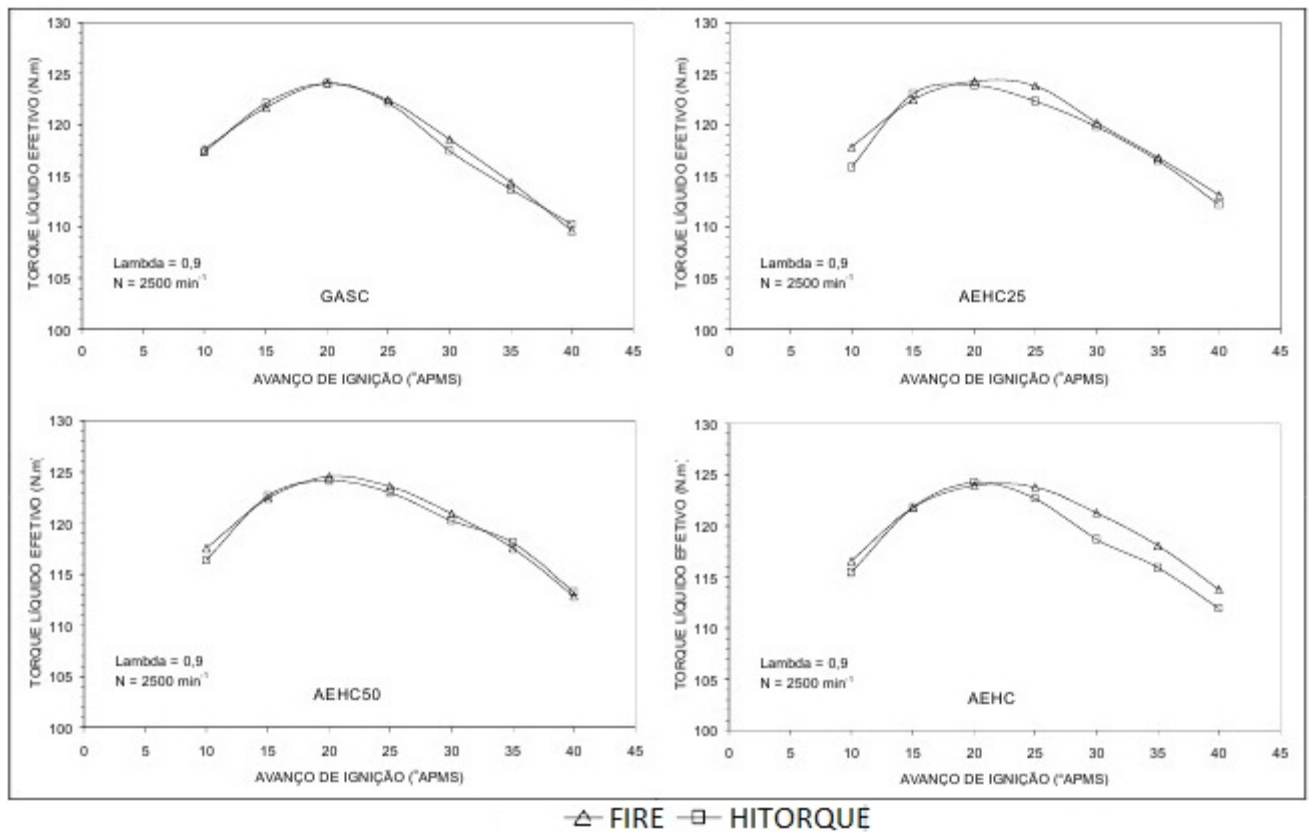


Figura 42 – Influência do avanço da ignição no torque do motor ensaiado para gasolina tipo C (gasolina com 20 a 25% de etanol) até Etanol Hidratado puro usando dois tipos de bicos injetores (Fire e HiTorque), sendo λ a relação ar-combustível relativa e N a rotação do motor (rpm).

Fonte: Vilanova (2007)

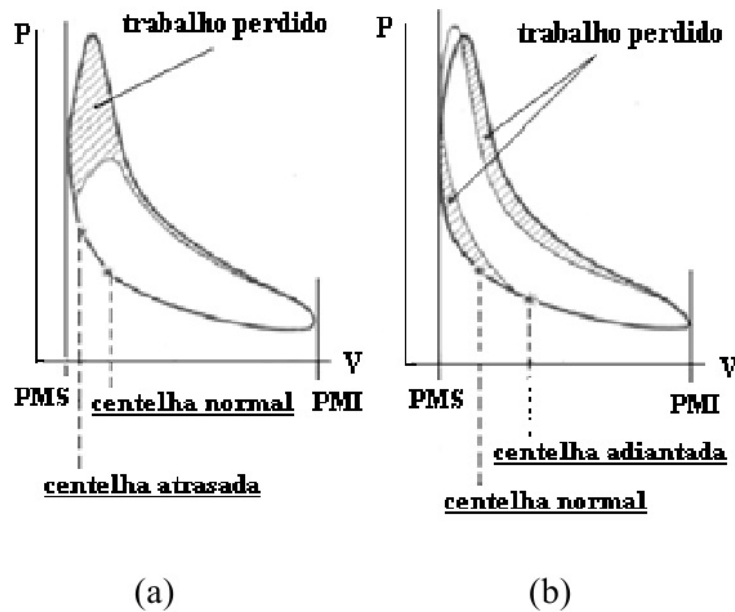


Figura 43 – Influência do ponto de ignição no ciclo Otto real: (a) refere-se à centelha atrasada; (b) refere-se à centelha adiantada.

Fonte: Giacosa (1988) apud Malfatti (2009).

Partindo deste raciocínio, pode-se analisar as diferenças de rendimento térmico na Tabela 6 de acordo com a taxa de compressão, pois se a atual gasolina comum tipo C brasileira contém 20% de AEAC (podendo variar de 20 a 25%) na época que os cálculos foram realizados, então baseando-se no levantamento de Cooney et al (2009) mostra que a taxa de compressão não deveria ultrapassar o patamar de 10 (até 10,5 para 25% de etanol).

No entanto os veículos *flex fuel* com relação as suas características são atualmente em sua maioria possuidores de taxas de compressão maiores de 12, podendo chegar a 13, que eram as taxas de compressão utilizadas pelos anteriormente conhecidos veículos a álcool, o etanol. Ocorrendo assim uma ineficiente utilização do motor flexível com gasolina, gerando um maior consumo sem a devida orientação de uma porcentagem mínima de etanol a ser utilizada.

Esta deficiência, caracterizada pela diferença do consumo do veículo *flex fuel* utilizando gasolina em relação ao mesmo veículo com motorização exclusivamente a gasolina, é no caso norte-americano, a tecnologia com proposta para ajudar substituir o consumo de gasolina, então num veículo que por necessidade possa rodar com ambos os combustíveis.

Porém Evans (2008) salienta que ocorre o uso dos norte-americano na maior parte do

tempo desses veículos utilizando gasolina, o que gera maior consumo desse combustível e age contra sua proposta de utilização do combustível renovável e redução de combustíveis de origem fóssil (gasolina) nos transportes.

No Brasil a proposta foi de que com o veículo *flex fuel* pode-se usar tanto etanol como gasolina, independentemente da proporção. Este uso indiscriminado baseado apenas na comodidade de abastecimento deixa uma grande margem de que, com o aumento das vendas de veículos *flex fuel* (dados da ANFAVEA na Tabela 6), vários consumidores ainda baseados em alguma variação de preço, medo ou até desorientação de outrem utilizarem na maioria somente gasolina, contribuem para um desperdício de combustível e retrocesso na eficiência energética automotiva.

Relatos através de mão de obra técnica (mecânicos automotivos) indicam que há casos onde os sistemas de injeção eletrônica do veículo *flex fuel* não conseguem gerenciar corretamente o motor, apresentando sintomas de detonação no uso com a gasolina, o que não ocorre no uso com o etanol pelos motivos citados relativos às Figuras 40 a 43.

Com os dados da Tabela 6, que é um resumo do que gerou o gráfico do rendimento térmico (Figura 39), adotando que o desfavorecimento do uso da gasolina no exemplo de $r_v=12,5$ seria de 6,4% ($\eta_{t_{10}}/\eta_{t_{12,5}}$ em diferença percentual) ao aproveitamento normal (considerando $r_v=10$), não considerando outros fatores que indicam que a queima do etanol seja melhor do que da gasolina.

Utilizando o etanol em taxas de compressão maiores, pode-se chegar, segundo uma extrapolação do gráfico de Cooney et al (2009), até $r_v \approx 17$ que traria mais vantagens do uso do etanol e impossibilitando o uso da gasolina com diferença de 14,8% no rendimento térmico e condições pré-combustão desfavoráveis.

Tabela 6 – η_t em função de r_v

taxa de compressão (r_v)	k (ar+combustível)	rendimento térmico (η_t)
9	1,3	0,483
9,5	1,3	0,491
10	1,3	0,499
10,5	1,3	0,506
12	1,3	0,525
12,5	1,3	0,531
13	1,3	0,537
13,5	1,3	0,542
16	1,3	0,565
17	1,3	0,573

À luz dos fatos acontece que com o grande volume de veículos *flex fuel* vendidos sendo utilizados (Tabela 7), qualquer ameaça de desabastecimento ou preços por parte da falta de fortalecimento da política e do papel do etanol na segurança da matriz energética brasileira (como exemplo ESTADÃO, 2013), isto tende a aumentar a utilização dos veículos *flex fuel* com gasolina C. Então como salientado por Heywood et al (2009) e já mencionado o uso inadvertido dos veículos *flex fuel*, gera um aumento inclusive das importações brasileiras de gasolina A (gasolina pura), como relatado pela mídia Agência Estado (2012) e é explicado nas informações seguintes.

Tabela 7 – Número de vendas de veículos por combustível no Brasil (alcool, gasolina e flex).

Ano	Combustível	Total
2005	Etanol	49.860
	Gasolina	644.614
	Flex	846.710
2006	Etanol	1.065
	Gasolina	323.192
	Flex	1.424.112
2007	Etanol	9
	Gasolina	235.876
	Flex	2.032.361
2008	Etanol	0
	Gasolina	228.010
	Flex	2.354.524
2009	Etanol	0
	Gasolina	221.884
	Flex	2.711.267
2010	Etanol	0
	Gasolina	292.658
	Flex	2.898.837
2011	Etanol	51
	Gasolina	376.998
	Flex	2.848.071

Fonte: Dados ANFAVEA.

Colocando uma situação média, em que cada veículo *flex fuel* vendido percorresse 10.000 km/ano sob um consumo médio atual de 14 km/l utilizando gasolina, este consumiria em um ano 714,3 litros de gasolina.

Tendo a soma da Tabela 7 um total de 15.115.882 veículos *flex fuel* vendidos até 2011. Então se dos veículos *flex fuel* estes acompanhassem a utilização de combustível (totalmente gasolina ou etanol) conforme, a utilização do ano de 2011 mostrada no Pré BEN (2012) entre gasolina e etanol, que ficou 65,86% de gasolina e 34,14% de etanol.

Portanto seria o equivalente a 9.955.320 veículos utilizando gasolina e com consumo total anual destes veículos *flex fuel* e seu excesso de consumo de gasolina tipo A pelo uso irregular, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Cálculo do excesso de consumo de combustível dos veículos *flex fuel* usando exclusivamente gasolina.

Baseado no uso dos combustíveis em 2011:	
Consumo Veículos <i>flex fuel</i> de gasolina C [litros]	7.111.084.994,0
Consumo Veículos <i>flex fuel</i> de gasolina A [litros]	5.688.867.995,2
Desfavorecimento do veículo <i>flex fuel</i> com gasolina [%] entre $r_v=10$ e 12,5	6,4
Consumo pela desfavorecimento do "flex"	364.087.551,7

Portanto com os dados da Tabela 8 e 9, construídas a partir de dados da ANFAVEA (Tabela 7) e BEN (2012), pode-se ver que o uso inadvertido dos veículos *flex fuel*, parece causar um desequilíbrio no consumo de gasolina em contínua evolução como mostra a Figura 44, pois é provável que este consumo maior na utilização de gasolina seja até um retrocesso, que não tenha sido considerado na evolução do consumo e planejamento.

Tabela 9 – Evolução do excesso de consumo de combustível dos veículos *flex fuel* usando gasolina, no Brasil.

Ano	Litros	Mil m³
2005	25.543.865	25,5
2006	66.405.873	66,4
2007	114.869.251	114,9
2008	160.774.285	160,8
2009	217.921.340	217,9
2010	305.133.902	305,1
2011	364.087.552	364,1

Na questão de utilização do etanol ocorre que, a produção tem tido notícias não muito animadoras (perspectivas de abastecimento em próximas safras) para o público que, prontamente já se previne e utiliza mais gasolina, como o Pre BEN (2012) mostra aumentos entre 2010 e 2011 na utilização da gasolina em 18,8% justificados pela redução na oferta de etanol, com queda 24,4%. A Tabela 10 apresenta o histórico de importação de gasolina no Brasil e a Figura 45 o aumento da importação nos últimos anos.

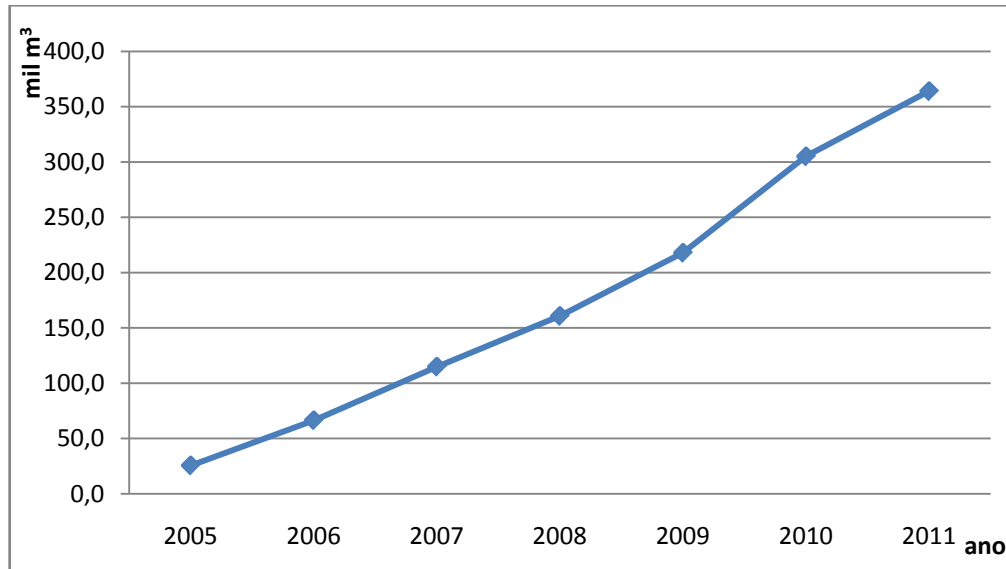


Figura 44 – Evolução do excesso de consumo de combustível dos veículos *flex fuel* utilizando gasolina.

Tabela 10 – Histórico da Importação de gasolina e produção de etanol no Brasil.

Fonte: Dados de BEN 2012

Ano	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	11/10 %
Importação de Gasolina A (mil m ³)	164,1	181,7	55,4	71,2	28,2	10,0	0,2	0,0	505,1	2.186,8	332,92
Produção de etanol anidro e hidratado (mil m ³)	12.588,62	14.469,95	14.647,25	16.039,89	17.764,26	22.556,90	27.133,19	26.103,09	28.203,42	22.892,50	-18,83
Produção de etanol anidro (mil m ³)	7.040,00	8.831,67	7.858,78	8.207,74	7.912,89	8.254,24	9.576,91	7.013,83	8.036,54	8.675,32	7,95
Produção de etanol hidratado (mil m ³)	5.548,63	5.638,29	6.788,47	7.832,15	9.851,38	14.302,66	17.556,28	19.089,27	20.166,88	14.217,18	-29,50

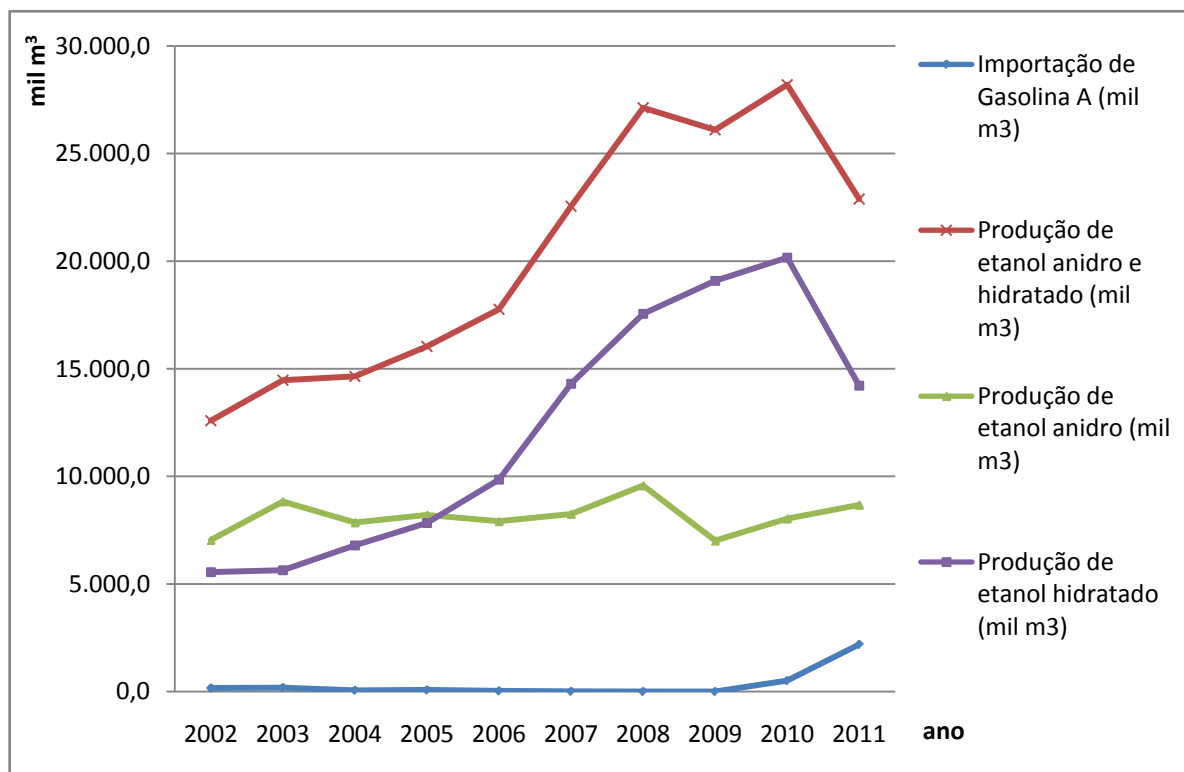


Figura 45 – Evolução da importação de gasolina e produção de etanol no Brasil.

Fonte: Dados de BEN, 2012

Notícias de alguma modificação negativa na produção de etanol, como Estadão (2013), conduzem a uma migração dos consumidores para a utilização de gasolina, com base em notícias de previsões de produção e alterações de preços além da bagagem cultural prévia, relacionada a desabastecimento do etanol.

Porém quando já a maioria dos veículos são *flex fuel* então há uma perda de referência do consumo pois, considera-se normal o consumo no geral dos veículos *flex fuel* utilizando gasolina já considerando o seu excesso de consumo de combustível.

Portanto, as propostas de avanços (dentre elas os veículos *flex fuel*) como citadas nas políticas energéticas automotivas, da utilização plena da taxa de compressão, para um melhor desenvolvimento e rendimento dos motores de combustão interna utilizando o etanol, possivelmente agregando outras tecnologias (start-stop, híbrido, injeção direta, etc.) para melhoria de seu desempenho, são uma necessidade para o aumento da eficiência energética dos veículos e tendência mundial em combustíveis alternativos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Nesta dissertação procurou-se estudar as políticas energéticas automotivas e seus resultados, explanar sobre os avanços no desenvolvimento de MCI e analisar o panorama de eficiência energética automotiva com a utilização brasileira dos veículos *flex fuel*.

5.1 CONCLUSÕES

Depois de tudo que foi apresentado nesta dissertação, vê-se uma comparação muito interessante avaliando o desenvolvimento dos veículos dos principais pólos desenvolvedores. Apontando que, determinadas posturas como as dos EUA, inicialmente foram pior por causa do estilo de automóveis grandes e pouco econômicos, barrando a evolução da eficiência energética.

No comparativo a UE tem uma tendência semelhante aos EUA, por utilizarem a padronização de tamanho, enquanto é nítido a postura melhor que o Japão tomou de padronização baseada no peso, evitando assim seu aumento a eficiência energética pôde aumentar, mesmo sem avançado desenvolvimento em veículos híbridos e elétricos.

Nos EUA o desenvolvimento de novas tecnologias na área de conjunto motriz dos

veículos com programas parte financiados pelo governo veio a impulsionar os fabricantes de automóveis a melhorar os veículos por lá comercializados e mostra várias frentes de pesquisa (principalmente motores avançados de combustão interna).

Com o panorama da eficiência energética automotiva dos principais desenvolvedores de tecnologia e seu controle nas políticas de evolução das melhorias, vê-se que recentemente o governo brasileiro lançou um programa de melhoria da eficiência energética automotiva no Decreto nº7.819 (2012), que é o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores, INOVAR-AUTO.

Este programa vem iniciar a aproximação com o nível tecnológico dos veículos comercializados nos EUA, UE e Japão.

Atualmente segundo o PBEV (Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular), os veículos mais econômicos, da categoria de base possuem em média peso de 900 kg, no entanto estão abaixo em autonomia de veículos, com aproximadamente o dobro de seu peso, comparando o consumo de um Ford Fusion Hybrid na cidade e um Fiat Uno na cidade segundo os dados oficiais (16,9 e 12,7 km/l respectivamente). Apresentando justamente o afastamento tecnológico.

Analisando a utilização dos veículos *flex fuel* no Brasil, pode-se apontar que, o uso inadvertido dos veículos *flex fuel* somente com gasolina tipo C, pode ser um causador de desequilíbrio do consumo pelo seu retrocesso na eficiência energética e que deve ser orientado, pois vem a ter direta correlação com a necessidade da importação de combustíveis no Brasil e subaproveitamento com o uso do etanol.

As novas medidas decretadas pelo governo e financiamentos de pesquisas (Programa INOVA ENERGIA) vem buscar uma melhoria tecnológica que não seja de comodidade de abastecimento (veículos *flex fuel*) e sim de avanço em busca de real eficiência energética com melhor aproveitamento do uso do etanol.

Contudo a atual situação aponta para a Inovação Automotiva e os incentivos presentes, que neste primeiro momento estão voltados para os fabricantes de automóveis.

Porém a análise sobre as políticas energéticas automotivas mundiais mostra que os resultados não vem de uma medida isolada para melhorar e controlar o desenvolvimento,

mostra que é um conjunto de medidas regulatórias e políticas que compõem uma ação integrada.

Do incentivo aos fabricantes e aos consumidores, com ações de informação e conscientização também cultural, ao pleno controle da política de desenvolvimento, não ocorrendo desvios dos objetivos almejados.

Tendo em vista o quadro de acontecimentos no panorama mundial e brasileiro, agora será a partir das novas medidas governamentais, sobre eficiência energética automotiva que restará às expectativas de um desenvolvimento tecnológico, ou adaptação tecnológica para implantação no Brasil para que ocorra uma real equiparação do desempenho dos veículos brasileiros com os mundialmente avançados.

Assim é importante, uma perspectiva de desenvolvimento de políticas que dêem estabilidade e força a uma política de segurança energética para a produção e utilização do etanol como combustível.

Um bom desenvolvimento de motores, pois para se aprimorar a eficiência energética automotiva, necessita-se aprimorar os combustíveis e os motores especificamente para os quais serão utilizados, obtendo assim um melhor aproveitamento no futuro com fortes políticas para os combustíveis alternativos (caso aqui visto do etanol) e o grande mercado que ocupam nacional e internacionalmente.

5.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

Para que houvesse uma evolução na eficiência energética automotiva, o aprimoramento na utilização dos combustíveis, tanto em veículos *flex fuel* (gasolina e etanol) o quanto possível, como em veículos dedicados a um combustível específico (etanol), é necessário.

Poderia se avaliar um modelamento e experimento onde, a variação de uma pressão de sobrealimentação para máximo rendimento (curva de Auto-Detonação) seria correlacionada à condições de pré-combustão, de acordo com a variação das proporções dos combustíveis a serem utilizados (gasolina e/ou etanol).

Inserindo avanços como downsizing nos veículos *flex fuel*, que através da sobre-alimentação, pode-se estudar a relação do aumento da taxa de compressão (característica física fixa do motor) com a curva de Auto-Detonação e a variação da proporção da mistura de combustível a ser utilizada (gasolina e/ou etanol).

Montando assim um panorama que, como o aumento da taxa de compressão, a variação da curva de sobre-pressão remete aos mesmos objetivos (condições pré-combustão e rendimento do ciclo perante a Auto-Detonação), mesmo que isto mostre uma esperada diferença de potência para um mesmo motor à etanol (maior potência) e à gasolina, remetendo à necessidade do aperfeiçoamento da eficiência para o uso do etanol.

Então é necessário que, o desenvolvimento da motorização a etanol acompanhe a evolução dos motores exclusivos a gasolina como a aplicação da injeção direta, oferecendo maior flexibilidade e aproveitamento de diferentes combustíveis, mais especificamente a gasolina e o etanol, gerenciando mais do que a variação dos atuais parâmetros existentes da injeção eletrônica. Seriam questões a serem tratadas em trabalhos posteriores.

APÊNDICE A

CONCEITOS TEÓRICOS

Neste capítulo mostrar-se-á, a base teórica dos motores de combustão interna (neste caso ignição por centelha) que são regidos e estudados alinhados em teorias que foram desenvolvidas para explicar o funcionamento dos mesmos. Dentro da termodinâmica existem os ciclos motores, que neste caso utilizar-se-á do Ciclo Otto que compreende os motores dos veículos a gasolina e a etanol em geral.

Os motores de combustão interna são também caracterizados por certas dimensões específicas que através destas, avalia-se o tipo de aplicação e desempenho requerido e através dos conceitos a seguir que, poderá ser feita uma abordagem de uso específico dos motores de combustão interna nos transportes e sua aplicação a realidade brasileira da grande difusão dos veículos *flex fuel*.

Na Figura Ap.1 constam as principais partes que compõem a região da combustão de um MCI alternativo de ignição por centelha, o Ciclo Otto.

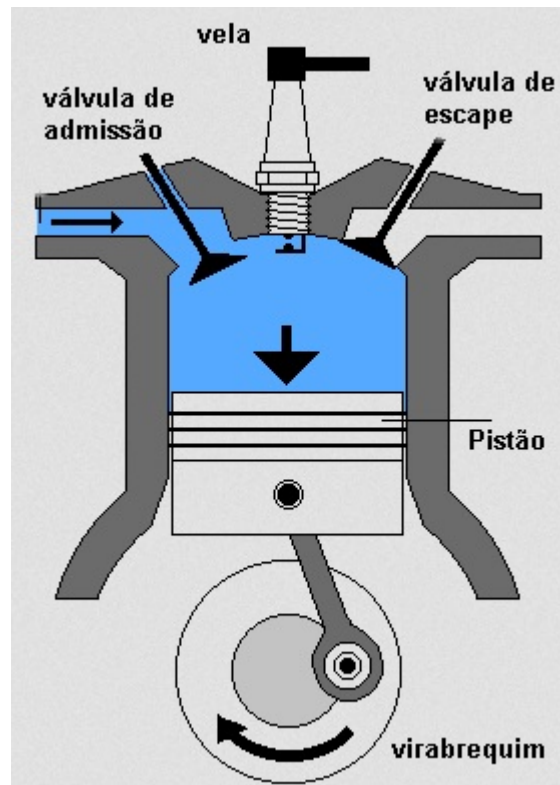


Figura Ap.1 – Principais partes do Motor Ciclo Otto.

Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/motor-a-explosao/motor-a-explosao.php>

A.1 INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS DE MCI

A Figura Ap.2 apresenta as características geométricas de um motor de combustão interna alternativo.

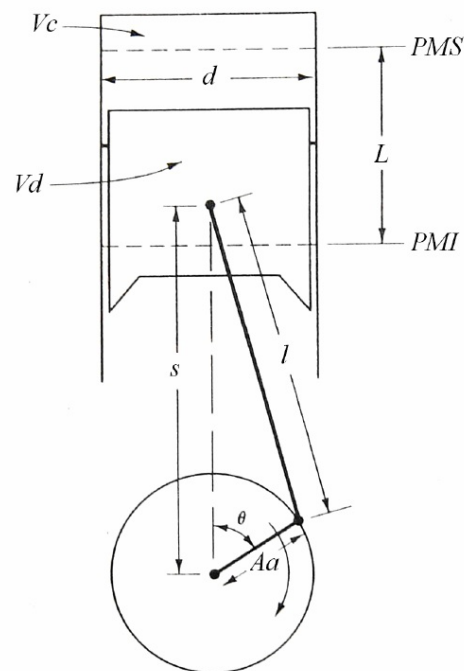


Figura Ap.2 – Características geométricas de um motor de combustão interna alternativo.

Fonte: Adaptado de Heywood (1988) apud Vilanova (2007)

A.1.1. VOLUME DESLOCADO PELO ÊMBOLO

$$V_d = \frac{\pi d^2}{4} \cdot L \quad (\text{A. 1})$$

$$V_t = n \cdot V_d \quad (\text{A. 2})$$

Sendo,

V_d – Volume deslocado por cilindro [m³];

d – Diâmetro do cilindro [m];

L – Curso do pistão (êmbolo) [m];

V_t – Cilindrada total do motor [m³];

n – Número de cilindros do motor.

A.1.2. RELAÇÃO DE COMPRESSÃO (TAXA DE COMPRESSÃO)

$$r_v = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (\text{A.3})$$

Sendo,

r_v – Relação de compressão [m^3/m^3];

V_c – Volume da câmara de combustão [m^3] (Também conhecido como volume morto).

A.2. CONCEITO TERMODINÂMICO DOS MCI

Baseado nos conceitos termodinâmicos, o ciclo comumente utilizado para os motores de combustão interna de ignição por centelha que utilizam gasolina ou etanol é o ciclo Otto, onde Garcia e Brunetti (1992) escreveram:

Durante o funcionamento de um motor, o fluido ativo (meio onde se dará o ciclo, para o caso do padrão é o ar, e no real é a mistura de ar e combustível vaporizado na admissão, após a queima são os gases resultado da combustão) é submetido a uma série de processos químicos e físicos que se repetem periodicamente dando origem ao chamado ciclo motor.

Um motor ciclo Otto admite a mistura ar e combustível no cilindro enquanto o pistão caminha do PMS para o PMI, continuando o giro do motor, ocorre a compressão quando a mistura de ar e combustível é comprimida no movimento do pistão do PMI para o PMS e instantes antes de chegar ao PMS ocorre a centelha que aumenta instantaneamente a pressão e leva à próxima etapa que é a expansão onde novamente o pistão vai do PMS para o PMI e há o aproveitamento da energia do combustível (tempo motor), que no próximo movimento de subida do pistão (de PMI para PMS) ocorre a exaustão que é a eliminação dos gases da queima para iniciar novamente o ciclo com a admissão da mistura nova (Figura Ap.3).

Então o processo do funcionamento de um motor ciclo Otto é complexo na realidade

pois envolve fluidos ativos que variam com o tempo e temperatura, ou seja ar e combustível antes da queima e imediatamente após a combustão os gases queimados que se seguem, portanto para se efetuar uma análise qualitativa utiliza-se o estudo do ciclo teórico padrão a ar, onde existe várias hipóteses simplificadoras como Garcia e Brunetti (1992) apontaram:

O fluido ativo é o ar;

O ar é um gás perfeito;

Não há admissão nem escape (melhor visualizado na Figura Ap.3(b), já que não há necessidade de trocar os gases por mistura nova);

Os processos de compressão e expansão são considerados isentrópicos;

A combustão é substituída por um fornecimento de calor ao fluido ativo a partir de uma fonte quente. Este fornecimento de calor é isocórico (volume constante) no caso do ciclo Otto;

O fechamento do ciclo é feito pela retirada de calor do fluido ativo, para uma fonte fria considerando o processo isocórico;

Todos os processos são considerados reversíveis.

Com as hipóteses simplificadoras o ciclo Otto segue os seguintes passos:

- Compressão isentrópica;
- Adição de calor isocóricamente;
- Expansão isentrópica;
- Rejeição do calor isocóricamente.

Então o diagrama da Figura Ap.3 representa o ciclo Otto real e teórico para melhor visualização dos processos.

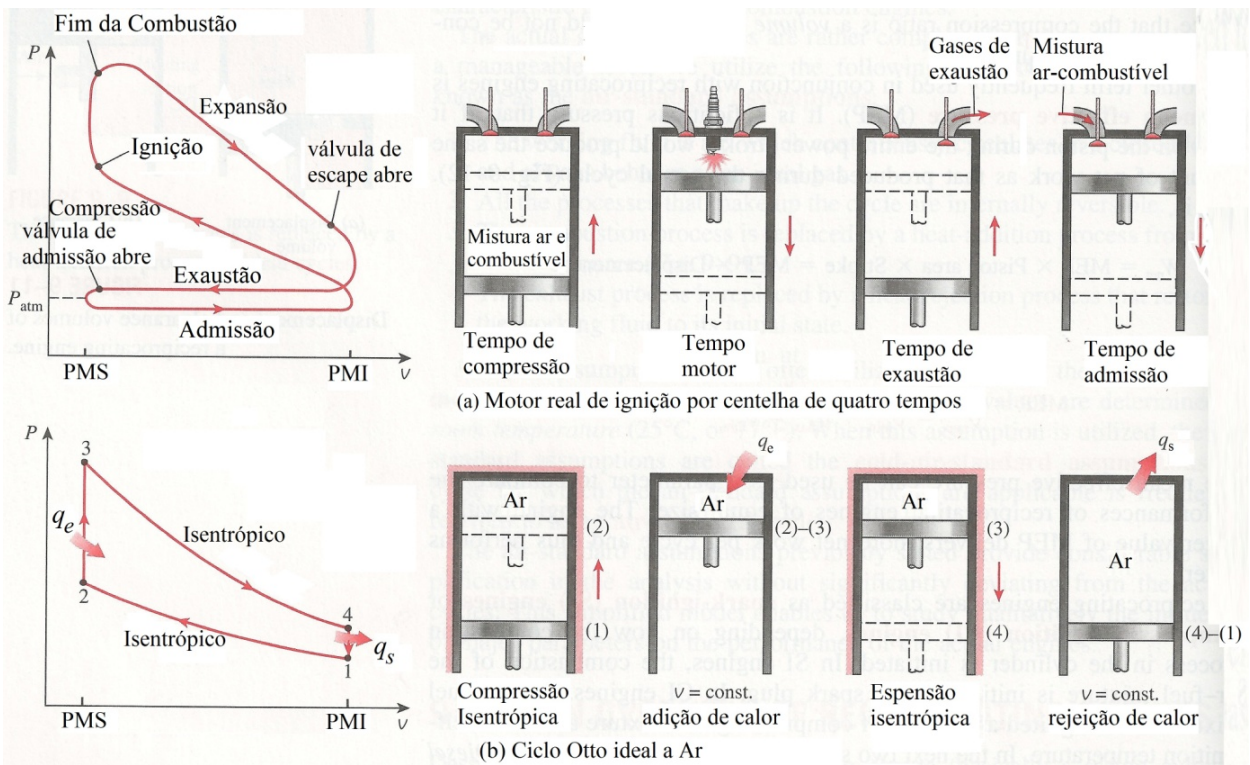


Figura Ap.3 – Representação de ciclo Otto real de motor 4T e ciclo Otto Ideal.

Fonte: Cengel e Boles (2006).

A.2.1. PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Seguindo o desenvolvimento de Garcia e Brunetti (1992), aplicando a primeira lei da termodinâmica do balanço de energia para motores alternativos onde se considera um sistema fechado, tem-se:

$$Q - W = U_2 - U_1 \tag{A.4}$$

Sendo,

W – trabalho do ciclo;

Q – calor do ciclo;

$U_{1,2}$ – energia interna do sistema nos estados arbitrários 1 e 2;

A definição para o trabalho baseado no diagrama p-v (pressão versus volume) é a integral da pressão pela variação do volume.

$$W = \int p \, dv \quad (\text{A. 5})$$

A definição do calor baseada no diagrama T-s (temperatura versus entropia) é a integral da temperatura pela variação de entropia:

$$Q = \int T \, ds \quad (\text{A. 6})$$

A.2.2. CALORES ESPECÍFICOS

Para introduzir a teoria utilizada nos gases perfeitos, definem-se os calores específicos.

O calor específico a volume constante é a variação da energia interna específica, somente com a temperatura, num processo isocórico ($v = \text{constante}$), assim:

$$c_v = \frac{dU}{dT} \quad \text{ou} \quad \Delta U = mc_v \Delta T \quad (\text{A. 7})$$

Sendo,

ΔU – variação da energia interna;

ΔT – variação da temperatura;

m – massa.

Analogamente o calor específico a pressão constante (isobárico) é:

$$c_p = \frac{dH}{dT} \quad \text{ou} \quad \Delta H = mc_p \Delta T \quad (\text{A. 8})$$

Onde,

ΔH – variação da entalpia.

Sendo assim a propriedade do calor específico a volume constante e calor específico a

pressão constante é:

$$\frac{c_p}{c_v} = k \quad (\text{A. 9})$$

Sendo,

c_p – calor específico a pressão constante;

c_v – calor específico a volume constante;

k – constante adiabática do gás.

A.2.3. GASES PERFEITOS

Na simplificação do ciclo Otto, contou-se com a afirmação de gás perfeito, e que possui uma equação que rege o comportamento.

$$p \cdot v = R \cdot T \quad (\text{A. 10})$$

Sendo,

v – volume específico;

R – constante para cada gás.

Para os gases perfeitos, os calores específicos são constantes para cada gás.

Em processos envolvendo gases perfeitos existem quatro tipos de processos, dos quais para o ciclo Otto ideal podem-se observar dois.

A.2.3.1. Processo Isocórico

Portanto quando o processo é isocórico ($v = \text{constante}$) o trabalho é nulo, e o balanço de energia fica, por exemplo, processo 2-3 da Figura Ap.3 (assim como o processo 4-1):

$$Q = U_3 - U_2 = mc_v(T_3 - T_2) \quad (\text{A. 11})$$

Sendo,

m – massa;

A.2.3.2. Processo Isentrópico

Para o processo isentrópico ($s = \text{constante}$) o balanço de energia fica:

$$W = U_1 - U_2 = mc_v(T_1 - T_2) \quad (\text{A. 12})$$

Ainda em um processo isentrópico vale:

$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k \quad (\text{A. 13})$$

E também a seguinte relação:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} \quad (\text{A. 14})$$

A.2.3.3. Condições Pré-Combustão

Para se estimar as condições pré-combustão do ciclo real, utiliza-se as equações do ciclo padrão ar com $k=1,3$ representando uma razoável aproximação para o coeficiente politrópico adiabático para motores de ignição por centelha já utilizado por Heywood (1988) apud Vilanova (2007) e Duarte et al (1996) na mistura ar e combustível.

Abordando o processo isentrópico do estado 1 ao estado 2 que valem as seguintes equações.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (\text{A. 15})$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} \quad (\text{A. 16})$$

A partir da manipulação destas equações válidas para processos isentrópicos obtêm-se:

$$p_2 = p_1 \cdot r_v^k \quad (A.17)$$

$$T_2 = T_1 \cdot r_v^{k-1} \quad (A.18)$$

Daí pode-se variar a taxa de compressão para as condições iniciais (usando aproximação do k de 1,3) e obter aproximadamente condições da câmara de combustão logo antes da centelha.

Para:

$$p_1 = 101.325 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 298 \text{ K}$$

Tem-se a Tabela Ap.1:

Tabela Ap.1 – Condição Pré-combustão de acordo com a r_v .

r_v	k	p_2 [Pa]	T_2 [K]	p_2 [bar]	T_2 [°C]
8	1,3	1.512.633	556,1	15,13	283,1
8,5	1,3	1.636.670	566,3	16,37	293,3
9	1,3	1.762.917	576,1	17,63	303,1
9,5	1,3	1.891.286	585,5	18,91	312,5
10	1,3	2.021.700	594,6	20,22	321,6
10,5	1,3	2.154.084	603,4	21,54	330,4
11	1,3	2.288.375	611,8	22,88	338,8
11,5	1,3	2.424.509	620,0	24,25	347,0
12	1,3	2.562.431	628,0	25,62	355,0
12,5	1,3	2.702.089	635,8	27,02	362,8
13	1,3	2.843.433	643,3	28,43	370,3
13,5	1,3	2.986.417	650,6	29,86	377,6
14	1,3	3.131.000	657,7	31,31	384,7
14,5	1,3	3.277.140	664,7	32,77	391,7
15	1,3	3.424.800	671,5	34,25	398,5
15,5	1,3	3.573.945	678,1	35,74	405,1
16	1,3	3.724.540	684,6	37,25	411,6

As Figuras Ap.4 e Ap.5 mostram a evolução da pressão e da temperatura anteriormente ao início da combustão para análise de condições de auto-ignição do combustível.

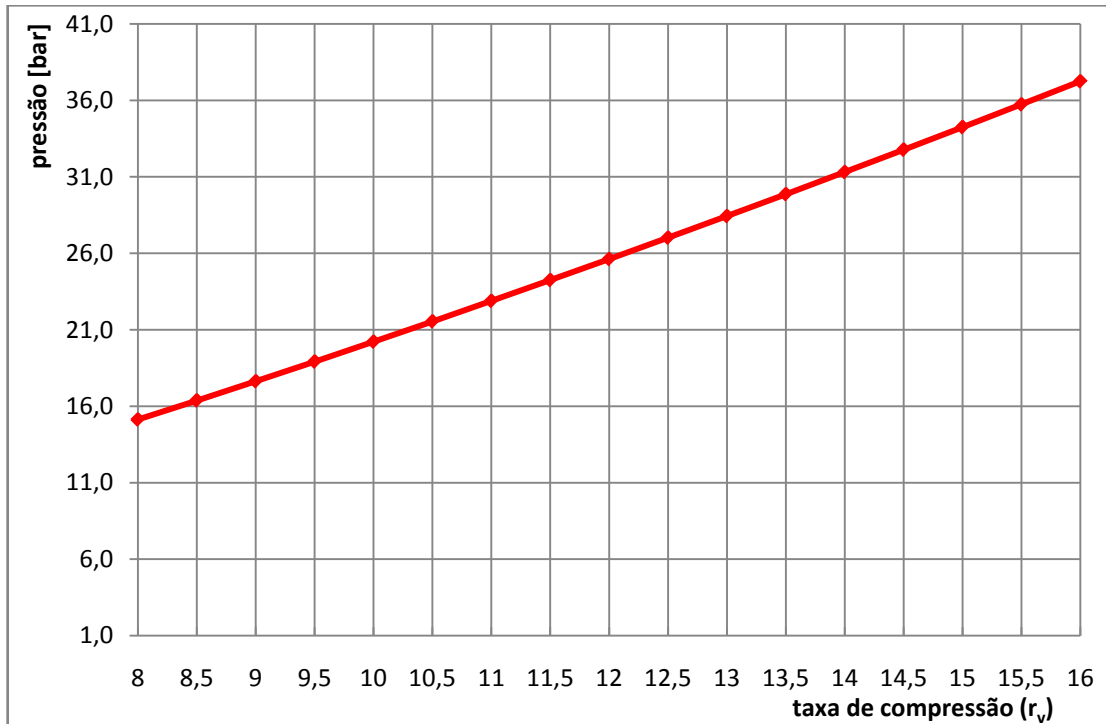


Figura Ap.4 – Variação da pressão pré-combustão da mistura no cilindro de acordo com r_v .

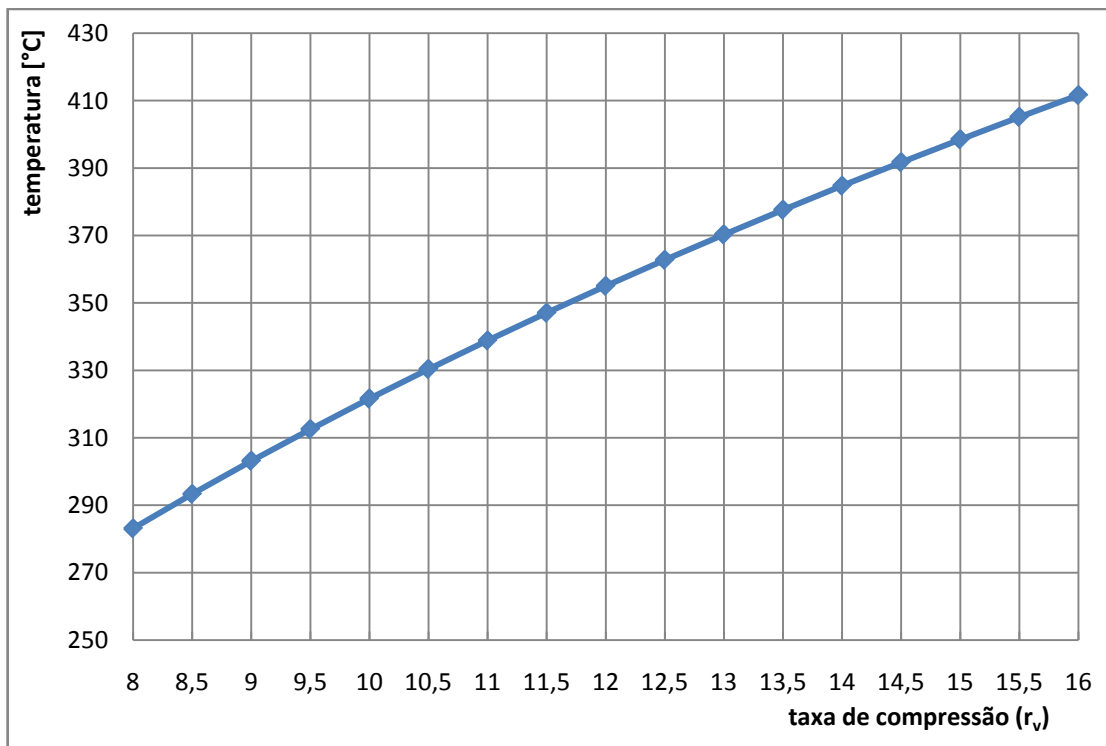


Figura Ap.5 – Variação da temperatura pré-combustão da mistura no cilindro de acordo com r_v .

Então de acordo com as condições de temperatura e pressão antes da ignição pela centelha do ciclo Otto, reflete o que causa a detonação de acordo com o combustível utilizado e suas resistências a condições mais extremas (octanagem) de acordo com a Tabela 3 das

características dos combustíveis e suas temperaturas de auto-ignição por exemplo.

A.2.4. SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Este princípio da termodinâmica vem mostrar sobre o aproveitamento de uma máquina térmica que trabalhe entre uma fonte quente (T_1) e uma fonte fria (T_2), admitindo uma quantidade de calor (Q_1) e rejeitando uma quantidade de calor (Q_2) para se realizar um trabalho (W), como representa a Figura Ap.6.

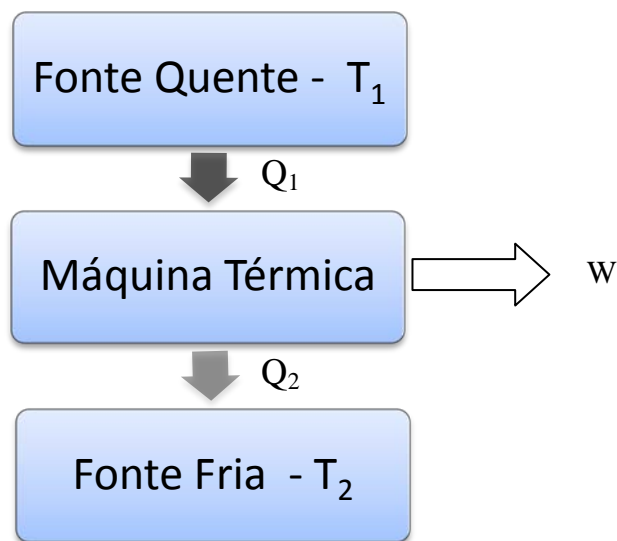


Figura Ap.6 – Diagrama do funcionamento de uma máquina térmica.

Sendo feito um balanço de energias no sistema térmico tem-se que:

$$W = Q_1 - Q_2 \quad (\text{A. 19})$$

Então se define o rendimento térmico (η_t) da máquina térmica como sendo a relação entre o trabalho útil e o calor cedido a ela pela fonte quente a temperatura T_1 .

$$\eta_t = \frac{W}{Q_1} \quad (\text{A. 20})$$

Então:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \gg \eta_t = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (\text{A. 21})$$

Tendo que os processos de adição e rejeição de calor no ciclo Otto ideal são processos isocóricos, tem-se que entre os estados 2 e 3 do processo de adição de calor do Ciclo Otto Ideal da Figura Ap.3:

$$Q_1 = U_3 - U_2 = mc_v(T_3 - T_2) \quad (\text{A. 22})$$

Sendo,

$U_{2,3}$ – energia interna nos pontos dos estados 2 e 3.

$T_{2,3}$ – temperatura nos pontos dos estados 2 e 3.

$$Q_2 = U_4 - U_1 = mc_v(T_4 - T_1) \quad (\text{A. 23})$$

Substituindo Q_1 e Q_2 na fórmula do rendimento térmico, tem-se:

$$\eta_t = 1 - \frac{mc_v(T_4 - T_1)}{mc_v(T_3 - T_2)} \rightarrow \eta_t = 1 - \frac{T_1\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} \quad (\text{A. 24})$$

Como os processos 1-2 e 3-4 do ciclo Otto ideal da Figura Ap.3 são isentrópicos, utilizando a Equação A.14, fica:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} \quad e \quad \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{v_4}{v_3}\right)^{k-1} \quad (\text{A. 25})$$

Porém, $v_4 = v_1$ e $v_3 = v_2$, logo:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} \quad \text{ou} \quad \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad (\text{A. 26})$$

Ainda sabendo que a relação entre v_1 e v_2 corresponde a taxa de compressão (r_v), daí a equação A.24 se torna:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}} \quad (\text{A. 27})$$

Que a Equação A.27 representa o rendimento térmico em função da taxa de compressão r_v (característica física do motor ciclo Otto limitada pelas características do combustível) e da constante adiabática k do gás (no caso do ciclo Otto padrão ar é de $k=1,4$).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACES, (2009)**, “American Clean Energy and Security Act de 2009”, 111TH CONGRESS, Sessão 1, REPT. 111–137, Part 1, "HOUSE OF REPRESENTATIVES", Authenticated U.S. Government Information, 5 de Junho de 2009;
- AGÊNCIA ESTADO, (2012)**, “Importação de gasolina cresce 315% em 5 meses”, Agência Estado Newspaper, nº 5215 ano 21, de 30 de julho de 2012;
- AHMAN, M., (2004)**, “Government Policy and Environmental Innovation in the Automobile Sector in Japan”, Relatório de janeiro de 2004 do Departamento de Estudos de Sistemas Energéticos e Ambientais da Universidade de Lund, Suécia;
- ANFAVEA**, “Associação Nacional do Fabricantes de Veículos Automotores”, Dados retirados de www.anfavea.com.br/tabelas.html em 05/11/2012;
- AUTOEVOLUTION.COM, (2013)**, “Ford Model T 2.9 1908-1927”, Ficha Técnica disponível em www.autoevolution.com/engine/ford-model-t-1908-29.html ;
- BARROSO, J. M., (2011)**, “Energia: Prioridades para a Europa”, Apresentação ao Conselho Europeu do Presidente da Comissão Europeia, 04/02/2011, em: http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/energy_pt.pdf ;
- BEN, (2010)**, “Balanço Energético Nacional do Brasil 2010”, <https://ben.epe.gov.br/> , publicação do Ministério de Minas e Energia e EPE – Empresa de Pesquisa Energética;
- BEN, (2011)**, “Balanço Energético Nacional de 2011 – ano base 2010”, publicação do Ministério de Minas e Energia e EPE – Empresa de Pesquisa Energética;
- BEN, (2012)**, “Balanço Energético Nacional de 2012 – Resultados Preliminares – ano base 2011”, publicação do Ministério de Minas e Energia e EPE – Empresa de Pesquisa Energética

- BERTELLI, L. G., (2005)**, “A Verdadeira História do Proálcool”, texto do jornal O Estado de São Paulo, disponível em: www.mnp.org.br/index.php?pag=ver_noticia&id=349621;
- BLUME, D. (2007)**, “Alcohol Can Be a Gas! Fueling an Ethanol Revolution for The 21st Century”, The International Institute for Ecological Agriculture – IIEA, Santa Cruz, California – USA;
- BOSCO, F., (2003)**, “O Grande Salto”, Revista Petro & e Química, Edição 252 de setembro de 2003;
- BRITISH PETROLEUM (2013)**, “BP Statistical Review of World Energy, June 2013”, em www.bp.com/statisticalreview , Junho de 2013, pág. 15;
- BUSHNELL, S. T., (1922)**, “The Truth About Henry Ford”, livro publicado em 1922, disponível em: www.archive.org/stream/truthabouthenryf00bush#page/40/mode/2up acesso em 26 de fevereiro de 2013;
- CARS 21 HIGH LEVEL GROUP, (2012)**, “On the Competitiveness and Sustainable Growth of the Automotive Industry in the European Union – Final Report 2012”, Comissão Européia, 6 de junho de 2012;
- CAO, Y. (2011)**, “An Internal Combustion Engine Platform for Increased Thermal Efficiency, Constant-Volume Combustion, Variable compression and Cold-Start”, Nota técnica do International Journal of Energy Research publicado online em Wiley Online Library, Miami- EUA 2011;
- CENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. (2006)**, “Termodinâmica”, 5ª edição, Editora McGraw Hill;
- CENTRO CHINA-BRASIL, (2013)**, “PROJETOS E PESQUISAS – Captura e armazenamento de carbono”, texto do Centro China-Brasil, disponível em www.centrochinabrasil.coppe.ufrj.br/projetos-e-pesquisas/captura-e-armazenamento-de-carbono/ , acessado em 08 de março de 2013;

- COONEY, C. P.; YEHANA; WORM, J. J.; NABER, J. D. (2009)**, “Combustion characterization in an Internal Combustion Engine with Ethanol-Gasoline Blended Fuels Varying Compression Ratios and ignition Timing”, Artigo da revista Energy e Fuels, vol.23, American Chemical Society, Michigan-EUA, maio 2009;
- DATTA, R.; MAHER, M.A.; JONES, C.; BRINKER, R.W. (2010)**, “Ethanol – The Primary Renewable Liquid Fuel”, Publicação online em Wiley Online Library e Society of Chemical Industry, www.soci.org ;
- DAVIS, S. C., DIEGEL, S. W., BOUNDY, R. G. (2009)**, “Transportation energy data book: Edition 28”;
- DECRETO Nº7.819, (2012)**, “Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores - INOVAR-AUTO”, dispõe sobre redução do Imposto sobre Produtos Industrializados, de 3 de Outubro de 2012;
- DOMACENA, P., (2012)**, “A História do Petróleo e a Política Mundial”, apresentação disponível em: www.slideshare.net/dpt_ejp_eps/a-histria-do-petrleo-e-a-politica-mundial;
- DUARTE, H. V., PINHEIRO P. C. da C., KOURY R. N. N.,** “Simulação do Efeito dos Parâmetros Operacionais no Desempenho de Motores de Combustão Interna”, IV Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste (IV CEM-NNE/96), 17-20 Junho 1996, Recife, PE, ABCM, Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 1996, v.2, p.1071-1075;
- EMBRAPA**, Informações de www.embrapa.br de maio de 2012;
- ESTADÃO, (2013)**, “Crise leva quase 20% das Usinas de cana do Centro-Sul a fechar ou mudar de dono”, em www.estadão.com.br de 18 de fevereiro de 2013;

- EVANS, C. W., (2008)**, “Putting Policy in Drive: Coordinating Measures to Reduce Fuel Use and Greenhouse Gas Emissions from U.S. Light-Duty Vehicles”, Trabalho para obtenção do título de Mestre, Massachusetts Institute of Technology;
- FAIRBANKS, J. W., (2004)**, “Engine Maturity, Efficiency, and Potential Improvements”, Escritório do FreedomCAR e Tecnologias de Veículos do Departamento de Energia dos EUA (US DOE);
- FERNANDES, C., (2002)**, “Jean Joseph Étienne Lenoir”, disponível em : www.dec.ufcg.edu.br/biografias/JeanJose.html acesso em 26 de fevereiro de 2013;
- FILHO, P. P., (1983)**, “Os Motores de Combustão Interna”, Editora Lemi, Belo Horizonte;
- GALEMBECK, F. (2011)**, “Receita da Sustentabilidade”, Revista Ciência Hoje nº280, Instituto Ciência Hoje, disponível em www.cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2011/280/receita-da-sustentabilidade ;
- GARCIA, O., BRUNETTI, F., (1992)**, “Motores de Combustão Interna”, 2ª edição São Paulo, fevereiro de 1992;
- GASOLINE, (2001)**, “Modern Marvels – Gasoline”, The History Channel, documentário em DVD lançado em 2001;
- GOLDENSTEIN, M. ; DE AZEVEDO, R. L. S. (2006)**, “Combustíveis Alternativos e Inovações no Setor Automotivo: Será o Fim da Era do Petróleo?”, Revista BNDES Setorial Complexo Automotivo, Rio de Janeiro, n.23, p. 235-266, março 2006 em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/onhecimento/bnset/set2308.pdf ;
- GREENE, D. L., (1997)**, “Why CAFE Worked”, OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY , 6 de Novembro de 1997;

GREENE, D. L., GERMAN, J., DELUCCHI, M. A., (2009), “Fuel Economy: The Case for Market Failure”, National Transportation Research Center, ORNL, 2360 Cherakala Boulevard, Knoxville, TN 37932, USA;

HEYWOOD, J. B., (1988), “Internal Combustion Engine Fundamentals”, Editora McGraw-Hill;

HEYWOOD, J., BAPTISTA, P., BERRY, I., BHATT, K., CHEAH, L., DE SISTERNES, F., KARPLUS, V., KEITH, D., KHUSID, M., MACKENZIE, D., MCAULAY, J., (2009), “An Action Plan For Cars – The Policies Needed to Reduce U.S. Petroleum Consumption and Greenhouse Gas emissions”, Massachusetts Institute of Technology, Um relatório de iniciativa do MIT Energy, Dezembro de 2009;

HIVERT, L., (2011), “Short-term Break in the French Love for Diesel?”, Universidade de Paris-Est, IFSTTAR, DEST, disponível na revista Elsevier, Energy Policy 54 (2013) p.11-22, França;

HYBRID INFO, (2007), “History of Hybrid Vehicles Today”, texto disponível em: www.hybridinfo.webs.com/bibliography.htm ;

IEA, (2010), Dados Estatísticos da Agência Internacional de Energia – IEA do ano de 2010, www.iea.org, Paris;

IEA, (2011), “2011 Key World Energy Statistics”, Agência Internacional de Energia – IEA, www.iea.org, Paris;

IEEJ, (2010), “Japan Energy Brief”, Instituto de Economia de Energia do Japão – IEEJ, nº7 de maio de 2010, disponível em: <http://eneken.ieej.or.jp> ;

INOVA ENERGIA, (2013), “Plano de Apoio Conjunto Inova Energia”, Seleção conjunta de planos de negócios, ANEEL, BNDES, FINEP, Programa Brasil Sustentável, em: <http://www.finep.gov.br/inovaenergia> ;

- INSTITUTO CARBONO BRASIL, (2012)**, “Mercado de Carbono”, matéria do Instituto Carbono Brasil de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, texto disponível em www.institutocarbonobrasil.org.br/mercado_de_carbono última atualização de julho de 2012;
- JOST, K., (2002)**, “Spark-ignition Engine Trends” Revista Automotive Engineering International, Ed. SAE International, Vol.110 nº1, p.26-39, Janeiro de 2002;
- JAPAN REVIEW, (2008)**, “Japan 2008 Review – Energy Policies of IEA Countries”, Agência Internacional de Energia – IEA;
- JEVA, (2002)**, “Fuel Cell Vehicles for the 21st century”, Japanese Electric Vehicle Association, Tokyo;
- JUN, S.; FUBING, Y.; GESHENG, L.; XIAOHONG, G. (2010)**, “A New Approach of spark Ignition Engine Fueled with Ethanol”, Artigo da revista IEEE, Wuhan University of Technology, Wuhan- China 2010;
- KANARI, S., SUEHIRO, S., (2012)**, “Analysis of CO2 Emissions to Consider Future Technologies and integrated Approaches in the Road Transport Sector”, Transport Future Workshop – 2º Workshop for Automobile and Energy, JARI (Kanari)e IEEJ (Suehiro);
- KAGESON, P., (2012)**, “Dieselization in Sweden”, Centro de Estudos em Transportes, Royal Institute of Technology, Suécia, disponível na revista Elsevier, Energy Policy 54 (2013) p.44-46;
- LAWRENCE, T., (2009)**, “What Is a Hybrid Vehicle”, texto de 11 de maio de 2009, disponível em: www.helium.com/items/1443900-how-cool-manufacturing-producing-a-hydrogen-hybrid-the-result-would-be-no-sweet-no ;
- LIAO, S.Y.; JIANG, D.M.; CHENG, Q.; HUANG, Z.H.; WEI, Q. (2005)**, “Investigation of the Cold-Start Combustion Characteristics of Ethanol-Gasoline Blends in a Constant-Volume Chamber”, Revista Energy and Fuels, n.19, p.813-819, Chongqing-China 2005;

- MACKENZIE, D. W., (2009)**, “Trends and Drivers of the Performance – Fuel Economy Tradeoff in New Automobiles”, Trabalho para obtenção de título de Mestre, Massachusetts Institute of Technology;
- MALFATTI, L., (2009)**, “Análise Qualitativa do Ciclo Real e Tempo de Combustão em um Motor Padrão ASTM-CFR Operando com Mistura de Gasolina e Etanol Hidratado”, Dissertação de Mestrado de UFRGS, Julho de 2009;
- MARUYAMA, H., (2012)**, “Rational Approach for CO2 Reduction in Transportation Sector, Transport Future Workshop – 2º Workshop for Automobile and Energy”, JAMA Inc. – Japan Automobile Manufacturers Association, Tokyo, 29 de março de 2012;
- MATSUNAGA, A., (2009)**, “Economic and Environmental Challenges for Automotive Industry in the EU and Japan”, Relatório de Seminário de 03/2009, Série de Seminário de Políticas Industriais, Diretor METI, 24/04/2009;
- MELO, T. R. (2005)**, “Revisão histórica sobre evolução/reestruturação dos motores de ignição por centelha”, Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005;
- M.E.T.I., (2009)**, “Japan – US Clean Technologies Action Plan”, Ministério da Indústria, Comércio e Economia do Japão e Departamento de Energia Americano, Novembro de 2009;
- MIURA, K., (2011)**, “Japan’s Approach and Perspective on Electromobility and Standardization”, Ministério da Indústria, Comércio e Economia do Japão, 20 de setembro de 2011;
- MORROW, K., KARNER, D., FRANCFORT, J., (2008)**, “Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review, U.S. Department of Energy”, Vehicle Technologies Program – Advanced Vehicle Testing Activity, The Idaho National Laboratory operado por Battelle Energy Alliance;

MOTORERA.COM, (2012), “Automobile History”, disponível em: www.motorera.com/history/history.htm , acesso em 20 de fevereiro de 2013;

NAVARRO, X. , (2009), “CO₂-based Tax Has Already Affected The Average French Car”, Journal Le Figaro, em : <http://green.autoblog.com/2009/05/01/co-sub-2-sub-based-tax-has-already-affected-the-average-french/> ;

NCEP, (2009), “National Commission on Energy Policy’s - TASK FORCE ON BIOFUELS INFRASTRUCTURE”, www.energycommission.org ;

NIGRO, F., SZWARC, A., (2009), “ETANOL COMO COMBUSTÍVEL VEICULAR: PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS E PROPOSTAS DE POLÍTICAS PÚBLICAS”, Versão Preliminar, USP;

OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, <http://www.cta.ornl.gov/data/Index.shtml> ;

ONODA, T., (2008), “Review of International Policies for Vehicle Fuel Efficiency”, IEA – Agência Internacional de Energia, 08-2008;

PEREIRA, E. M., (2008), “O Ouro Negro – Petróleo e suas crises políticas, econômicas, sociais e ambientais na 2ª metade do século XX”, Revista Outros Tempos, Vol. 5, nº 6, Dezembro de 2008;

PLETCHER, H., (1998), “Some Compression Ratio History”, texto de Howard Pletcher, Howteron Products Scout Parts, em: www.digest.net/ihc/archive/v6/msg06751.htm ;

POPULAR SCIENCE, 1929, "U.S. Makes Ninety Percent of World's Automobiles", Revista mensal Popular Science, Novembro de 1929, p. 84.

PROGRESS REPORT, (2010), “Progress Report for Advanced Combustion Engine Research And Development”, Energy Efficiency and Renewable Energy Vehicle Technologies Program, Dezembro 2010, Departamento de Energia dos EUA www.energy.gov;

- RETTMANN, R., (2013)**, “O que é e como funciona o Mercado de Carbono?”, matéria do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, disponível em www.ipam.org.br/saiba-mais/O-que-e-e-como-funciona-o-Mercado-de-Carbono-/4 , acessado em 08/03/2013;
- REVISTA AUTOMOBILE, (2009)**, “A History of Hybrid Vehicles Photo Gallery”, texto de fevereiro de 2009, disponível em: www.automobilemag.com/features/0712_hybrid_history/photo_00.html ;
- ROSS, B.; POSSENTI, C. G. R.; COPATTI, C.E. (2006)**, “Estudo Sobre Energias Alternativas para Veículos”, Artigo de Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, XIII Mostra de Iniciação Científica, VIII Mostra de Extensão, UNICRUZ - Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta – RS;
- SCHIPPER, L., (2008)**, “Automobile Fuel; Economy and CO2 Emissions in Industrialized Countries: Troubling Trends through 2005/6”, University of California Transportation Center, 10 de janeiro de 2008;
- SCHIPPER, L., (2009)**, “Moving Forward with Fuel Economy Standards”, University of California Transportation Center;
- SCHNEPF, R., (2006)**, “European Union Biofuels Policy and Agriculture: An Overview”, CRS Report for Congress, 16 de março de 2006;
- SHARP, B., (2006)**, “Econo.Flex um Pequeno Grande Motor”, Revista Engenharia Automotiva e Aeroespacial, SAE Brasil, Ano 6, n°28, p.52-53;
- STEVENOVASITE.COM, (2010)**, “The History of Gasoline Octane”, disponível em: www.stevesnovasite.com/forums/archive/index.php/t-164646.html ;
- SUEHIRO, S., (2012)**, “Outlook for Energy and Transport Demand in the Road Sector, Transport Future Workshop – 2º Workshop for Automobile and Energy”, IEEJ;

SZWARC, A., (2003), “Biodiesel: Alternativa Limpa”, texto de ÚNICA de 28 de maio de 2003, disponível em:

<http://www.unica.com.br/colunas/3938741920327850689/biodiesel-por-cento3A-alternativa-limpa/>;

THE FUEL & ENGINE BIBLE, (2012), “Octane ratings - how to stop detonation”, figura disponível em: www.carbibles.com/images/octane.gif;

THEAUTOPARTSSHOP.COM, (2013), “Ferdinand Porsche – Early Days and Career”, texto disponível em: <http://www.theautopartsshop.com/carchronology/early-days-of-porsche.html>;

TURRENTINE, T. S., KURANI, K. S., (2007), “Car buyers and fuel economy?”, Institute of Transportation Studies, University of California, One Shields Avenue, Davis CA 95616, USA;

UNITED STATES CENSUS BUREAU, (2012), “The 2012 Statistical Abstract: Historical Statistics”, Tabela nº HS-41, Transportation Indicators for Motor Vehicles and Airlines: 1900 to 2001, disponível em: www.census.gov/compendia/statab/hist_stats.html ;

US EPA, (2012), “INVENTORY OF U.S. GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND SINKS: 1990 – 2010”, U.S. Environmental Protection Agency, Avenida Pennsylvania, 1200, N.W., Washington, DC 20460, U.S.A., 15 de Abril de 2012 www.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.htm;

VIANNA, J. N. S.; DUARTE, L. M. G.; WEHRMANN, M. E. S. F. (2009), “O Papel do Etanol na Mitigação das Emissões de Poluentes no Meio Urbano”, Artigo da II Jornada Luso-Brasileira de Ensino e Tecnologia em Engenharia - JBLE 2009;

VIDAL, J. W. B. (2005)a “O Biodiesel e o Brasil”, José Walter Bautista Vidal entrevistado por Melissa Crocetti para Revista EcoTerra Brasil, disponível em: www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/o-biodiesel-e-o-brasil-entrevista-jose-walter-bautista-vidal-11-04-05.htm;

- VIDAL, J. W. B. (2005)b**, “Ciclo Itinerante de Palestras sobre Biocombustíveis Palestras”, realizada em Curitiba, de outubro de 2005, disponível em: www.biodieselbr.com/destaques/2005/bautista-vidal-palestra.htm;
- VILANOVA, L. C., (2007)**, “Efeitos da Adição de Etanol Hidratado no Combustível e do Sistema de Formação da Mistura no Desempenho e nas Emissões de um Motor Bicomcombustível Brasileiro”, Tese de Doutorado da UFRGS, março de 2007;
- VOELCKER, J., (2009)**, “We Hail Hybrids’ Hundredth Birthday, But Were They Really Born In Belgium?”, texto do Green Car Reports de 2 de março de 2009, disponível em: http://www.greencarreports.com/news/1019155_we-hail-hybrids-hundredth-birthday-but-were-they-really-born-in-belgium;
- WHESTPHAL, K., (2006)**, “Energy Policy Between Multilateral Governance and Geopolitics: Whither Europe?”, European Energy Policy, IPG, abril de 2006;
- WIKIPEDIA, (2007)**, “Evolução do Preço do Petróleo Cru”, figura disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Historico_petroleo.jpg;
- WILLIAM, C.; ANDERSON, P. E.,** “Compression Ratio – The Secret to Power and Economy”, texto disponível em: www.andersonautomotiveenterprises.com/PDFs/techtips/CompRatio.pdf acesso em 26 de fevereiro de 2013;
- WOUK, V., (1997)**, “Hybrid Electric Vehicle”, texto em Scientific American de outubro de 1997, p. 70-74;
- YANG, D. B.; WANG, Z.; WANG, J. X.; SHUAI, S. (2010)**, “Experiment and Chemical Kinetics Analysis of Active Atmosphere with Different Fuels in HCCI Combustion”, Laboratório Chave do Estado de Segurança e Energia Automotiva, Universidade Tsinghua, Beijing, China, agosto de 2010;

- YUSAF, T.; BUTTSWORTH, D.; NAJAFI, G. (2009)**, “Theoretical and Experimental Investigation of SI Engine Performance and Exhaust Emissions Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels”, Artigo do 3º International Conference on Energy and Environment, Malacca-Malásia, dezembro de 2009;
- ZACHARIADIS, T., (2011)**, “Gasoline, Diesel and Climate Policy Implications – Insights from the recent evolution of new car sales in Germany”, Cyprus University of Technology, Chipre, disponível na revista Elsevier, Energy Policy 54 (2013) p.23-32;
- ZHANG, Q., (2007)**, “A Study of Diesel Vehicle Diffusion in Europe: Calibration and Analysis of a Consumer Acceptance and Adoption Model”, texto da 25ª Conferência Internacional da Sociedade de Dinâmicas de Sistema, Boston, EUA, disponível em www.systemdynamics.org/conferences/2007/proceed/papers/ZHANG384.pdf .

ANEXO A

USO DE MÚLTIPLOS COMBUSTÍVEIS

A.1 SISTEMA ASPIRADO MULTI-FUEL

Desenvolvido pela Delphi, o sistema para uso de gasolina (E20 ou 22), álcool (E100) e GNV com uma evolução no sistema de gerenciamento eletrônico possui várias vantagens.

Este sistema chegou aos seguintes resultados, utilizando como base um motor 1,8L usado no Corsa no qual foi mantida a taxa de compressão constante conseguiu-se:

Tabela A.1 – Corsa MultiFUEL

Combustíveis	E22	E100	GNV
Tipo do Motor	C18XE 4 cilindros SOHC		
Cilindrada	1,8L		
Taxa de Compressão	10,5:1		
Potência Máxima (kW)	77,2	80,2	67,2
@rpm	5400	5400	5400
Torque (Nm)	170	178	148
@rpm	3000	3000	2800
Tipo de transmissão	5 marchas manuais		
Velocidade Max. (km/h)	182	184	175
0-100 km/h (s)	10,6	10,4	11,2
Consumo Cidade (km/L)	11	7,6	14,7 (km/m ³)
Consumo Estrada (km/L)	16,3	11	18,7 (km/m ³)

A.2 TURBO-ALIMENTAÇÃO COM O TRIFUEL



Figura A.1 – Polo Turbo-TRIFUEL

Este sistema desenvolvido pela BOSCH, foi para o caminho da turbo-alimentação no objetivo de se extrair melhor a energia que cada combustível dispõe, pois através do aumento ou diminuição da pressão do turbo-alimentador a mistura irá se comportar como se houvesse uma variação da taxa de compressão que como o visto é um conceito de aumento da eficiência, principalmente em se relacionando ao uso de combustíveis que possuem características diferentes.

Este sistema TURBO-TRIFUEL obteve os seguintes resultados usando o motor 1,6L de um Pólo hatchback

Tabela A.2 – Polo Turbo-TRIFUEL

Combustível		E20	E100	GNV
Pressão de alimentação (bar)		0,2	1,2	1,4
Potência Max. (cv)		103	119	109
Torque (kgf.m)		16,2	20,8	20,5
0-100 km/h (s)		12,6	10,9	12,2
Consumo	Cidade (km/L)	8,9	7,0	11,5 (km/m ³)
	Estrada (km/L)	13,5	10,2	17,8 (km/m ³)

O uso deste sistema precisa de refinamentos, tais o como consumo de combustível desta versão à gasolina em relação ao motor original, também a gasolina, de taxa de compressão 10,8:1 foi mantida, o consumo piorou e o uso do gás pode ser melhorado por reestruturação do motor para maiores rendimentos.

ANEXO B

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM VEICULAR

O programa brasileiro de etiquetagem veicular veio para se medir a eficiência dos automóveis brasileiros, que no início no ano de 2009 para 2010 sofreu alterações no intuito de se tornar mais próximo da realidade nos dados apresentados de consumo, mais próximo da condução de 88% dos motoristas brasileiros. Apresentada a seguir na Tabela A.1 os dados mais recentes do programa para alguns dos carros mais econômicos avaliados para efeito de comparação.

VEÍCULOS LEVES 2012

19/10/2012
Página 1 de 18



PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM - PBE

Tabelas de Consumo / Eficiência Energética

Veículos Automotores Leves

Categoria SUB-COMPACTO

Veículos de passageiros com área até 6,5m² (+/- 0,1m²)

Modelos com classificação PBE para ENCE

Comparação estatística entre modelos participantes de uma mesma categoria

Ano 2012

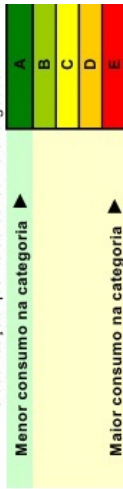
4 Marcas

31 Modelos / Versões



Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE

Classificação quanto ao consumo energético



Valores medidos em condições padrão de laboratório (NBR-7024) e ajustados para simular condições mais comuns de utilização. O consumo percebido pelo motorista poderá variar para mais ou para menos, dependendo das condições de uso. Para saber por que, consulte www.inmetro.gov.br e www.conpet.gov.br e conheça a Metodologia para divulgação de dados de consumo veicular.

Fonte: Conpet

Marca	Modelo	Versão	Motor	Transmissão Velocidades (n°)	Ar Cond.	Direção Assistida Hidráulica (H) Mecânica (M) Elétrica (E) Eleto-hidráulica (E-H)	Combustível Etanol (E) Gasolina (G) Flex (F)	Quilometragem por litro			Classificação PBE 2012 na Categoria	
								Cidade (ciclo urbano)		Estrada (ciclo rodoviário)		
							Etanol (km/l)	Gasolina (km/l)	Etanol (km/l)	Gasolina (km/l)		
FIAT	Uno	Mille Fire Economy 2 Portas	1.0 - 8V	M-5	N	M	F	8,9	12,7	10,7	15,6	A
FIAT	Uno	Mille Fire Economy 4 Portas	1.0 - 8V	M-5	N	M	F	8,9	12,7	10,7	15,6	A
FIAT	Uno	Mille Way Economy 2 Portas	1.0 - 8V	M-5	N	M	F	8,4	12,1	9,5	13,6	C
FIAT	Uno	Mille Way Economy 4 Portas	1.0 - 8V	M-5	N	M	F	8,4	12,1	9,5	13,6	C
FIAT	Novo Uno	Economy Evo 2 portas	1.4 - 8V	M-5	N	M	F	8,7	12,5	10,4	15,2	A
FIAT	Novo Uno	Economy Evo 4 portas	1.4 - 8V	M-5	N	M	F	8,7	12,5	10,4	15,2	A
FIAT	Novo Uno	Vivace Evo 2 portas	1.0 - 8V	M-5	N	M	F	8,3	12,3	9,4	14,5	B
FIAT	Novo Uno	Vivace Evo 4 portas	1.0 - 8V	M-5	N	M	F	8,3	12,3	9,4	14,5	B
FIAT	Novo Uno	Attractive Evo 2 portas	1.4 - 8V	M-5	S	H	F	7,3	10,6	9,1	13,3	D
FIAT	Novo Uno	Attractive Evo 4 portas	1.4 - 8V	M-5	S	H	F	7,3	10,6	9,1	13,3	D
FIAT	Pallo	Fire Economy 2 Portas	1.0 - 8V	M-5	N	M	F	8,0	12,2	10,1	15,4	B
FIAT	Pallo	Fire Economy 4 Portas	1.0 - 8V	M-5	N	M	F	8,0	12,2	10,1	15,4	B
FIAT	500	Cult	1.4 - 8V	M-5	S	E	F	7,2	11,0	8,4	12,8	D
FIAT	500	Cult Dualogic	1.4 - 8V	MTA-5	S	E	F	7,5	11,3	8,5	13,0	D
FORD	Ka	Base	1.0 - 8V	M-5	N	M	F	8,1	11,6	9,2	13,5	C
FORD	Ka	Pulse	1.0 - 8V	M-5	S	M	F	8,1	11,6	9,2	13,5	C
FORD	Ka	Class	1.0 - 8V	M-5	S	M	F	8,1	11,6	9,2	13,5	C

Os valores de referência em km/l são de modelos que foram testados com os opcionais de ar condicionado e direção assistida conforme indicado.

CONPET - Programa do Governo Federal, vinculado ao MME e executado pela PETROBRAS

Tabela B.1 – Avaliação de consumo e eficiência do programa de etiquetagem veicular brasileiro.

VEÍCULOS LEVES 2012

Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE

Classificação quanto ao consumo energético

Menor consumo na categoria	A
	B
	C
	D
Maior consumo na categoria	E

Modelos com classificação PBE para ENCE

Comparação estatística entre modelos participantes de uma mesma categoria

Valores medidos em condições padrão de laboratório (NBR-7024) e ajustados para simular condições mais comuns de utilização. O consumo percebido pelo motorista poderá variar para mais ou para menos, dependendo das condições de uso. Para saber por que, consulte www.inmetro.gov.br e www.conpet.gov.br e conheça a Metodologia para divulgação de dados de consumo veicular

Tabela B.1 (cont.)

Marca	Modelo	Versão	Motor	Transmissão Velocidades (n°)	Ar Cond.	Direção Assistida Hidráulica (H) Mecânica (M) Elétrica (E) Eleto-hidráulica (E-H)	Combustível				Quilometragem por litro			Classificação PBE 2012 na Categoria
							Etanol (E) Gasolina (G)	Flex (F)	Etanol (E) Gasolina (G)	Etanol (E) Gasolina (G)	Etanol (E) Gasolina (G)	Etanol (E) Gasolina (G)	Etanol (E) Gasolina (G)	
KIA	Picanto	EX4	1.0 - 12V	M-5	S	E	F	8,3	12,0	9,1	13,4			C
KIA	Picanto	LX4	1.0 - 12V	M-5	S	E	F	8,3	12,0	9,1	13,4			C
KIA	Picanto	EX4	1.0 - 12V	A-4	S	E	F	8,3	11,4	9,4	13,1			C
KIA	Picanto	LX4	1.0 - 12V	A-4	S	E	F	8,3	11,4	9,4	13,1			C
RENAULT	Clio	Authentique 3 Portas	1.0 - 16V	M-5	N	M	F	9,5	14,3	10,7	15,8			A
RENAULT	Clio	Expression 3 Portas	1.0 - 16V	M-5	N	M	F	9,5	14,3	10,7	15,8			A
RENAULT	Clio	Authentique 5 Portas	1.0 - 16V	M-5	N	M	F	9,5	14,3	10,7	15,8			A
RENAULT	Clio	Expression 5 Portas	1.0 - 16V	M-5	N	M	F	9,5	14,3	10,7	15,8			A
RENAULT	Clio	Authentique 3 Portas	1.0 - 16V	M-5	S	H	F	9,1	13,1	9,6	14,3			A
RENAULT	Clio	Expression 3 Portas	1.0 - 16V	M-5	S	H	F	9,1	13,1	9,6	14,3			A
RENAULT	Clio	Authentique 5 Portas	1.0 - 16V	M-5	S	H	F	9,1	13,1	9,6	14,3			A
RENAULT	Clio	Expression 5 Portas	1.0 - 16V	M-5	S	H	F	9,1	13,1	9,6	14,3			A
RENAULT	Clio	Campus 3 Portas	1.0 - 16V	M-5	S	H	F	8,6	11,5	9,2	14,5			C
RENAULT	Clio	Campus 5 Portas	1.0 - 16V	M-5	S	H	F	8,6	11,5	9,2	14,5			C

Os valores de referência em km/l são de modelos que foram testados com os opcionais de ar condicionado e direção assistida conforme indicado.

