

LUZ ZORAIDA DONDERO VILLANUEVA

**USO DE GÁS NATURAL EM VEÍCULOS LEVES E
MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO NO
CONTEXTO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia (PIPGE) da Universidade de São Paulo para a argüição do título de Doutor em Energia.

São Paulo

2002

LUZ ZORAIDA DONDERO VILLANUEVA

**USO DE GÁS NATURAL EM VEÍCULOS LEVES E
MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO NO
CONTEXTO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia (PIPGE) da Universidade de São Paulo para a argüição do título de Doutor em Energia.

Orientador

Prof. Dr.. José Goldemberg

São Paulo

2002

Villanueva Luz Zoraida Dondero

Uso de Gás Natural em veículos leves e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no contexto brasileiro. 166p.

Tese (Doutorado) Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

1. Gás Natural Veicular
2. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
3. Conversão de veículos leves
4. Linha de base

**Ao meu esposo Guido pelo imensurável
amor e pelo apoio que nunca me faltou.**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Goldemberg, pela confiança, inspiração, constante incentivo e grande apoio recebido durante estes anos.

Ao Prof. Dr. Antônio Marcos de Aguirra Massola pelo importante apoio recebido.

Aos Professores Doutores João Vicente de Assunção, José Roberto Moreira e Suzana Kah Ribeiro pelas excelentes sugestões que enriqueceram este trabalho.

Ao Físico Renato Linke, pelas nossas longas conversas que construíram muitas das idéias deste trabalho.

A FAPESP pelo apoio técnico e econômico e a PETROBRAS pelo incentivo.

RESUMO

O presente trabalho analisa o impacto na emissão de gases de escapamento resultante da substituição da gasolina por gás natural em veículos leves segundo o contexto brasileiro. Neste estudo, a conversão para gás de nove veículos leves a gasolina foi acompanhada e analisada mediante a realização de testes de emissão de gases de escapamento (FTP75) em cada veículo, com combustível original e com combustível alternativo. Visando demonstrar a necessidade de se utilizar adequadamente os sistemas de Gás Natural Veicular, foi também testado o impacto na emissão de gases de escapamento da implementação alternada de kits com regulagem manual e regulagem eletrônica da vazão do gás num mesmo veículo.

O trabalho estuda, também, a redução na emissão de CO₂ equivalente, resultante da conversão de veículos leves a gasolina para gás, como uma experiência metodológica nos processos de formação da linha de base, linha do projeto e cálculo das Unidades de Redução da emissão de CO₂ equivalente, em projetos sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que envolvem frotas de veículos.

ABSTRACT

This work analyzes the impact on the emission of exhaust-pipe gases deriving from replacing gasoline by natural gas in light vehicles, according to the Brazilian context. In the present study, the conversion from gasoline into gas in nine light vehicles was followed and analyzed by carrying out tests and checking the emission of exhaust gases (FTP75) in each vehicle, with both the original fuel and with the alternative fuel. Aiming to demonstrate the need of adequately using the Natural Gas systems in vehicles, the impact on exhaust-pipe gases emission of the alternate implementation of gas flow for manually and electronically regulated kits for the same vehicle was also tested.

This work also studies the equivalent CO₂ emission reduction resulting from light vehicle conversion from gasoline into gas, as a methodological experiment in the processes for forming the base line, project line and calculating the CO₂ equivalent emission Reduction Units in projects under the Clean Development Mechanism involving car fleets.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE ABREVIATURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FIGURAS	
RESUMO	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO II POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E VEÍCULOS AUTOMOTORES	07
2.1 Resumo.	07
2.2 Efeitos da Poluição Atmosférica.	07
2.3 Poluição Urbana do Ar.	09
2.3.1 Poluentes atmosféricos e seu impacto ambiental.	11
2.4 Veículos automotores: principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos.	14
2.5 Mudança Climática Global.	16
2.5.1 Breve histórico das Conferências das Partes.	21
2.6 Veículos automotores e emissão de Gases de Efeito Estufa.	24
2.7. Emissão de poluentes atmosféricos em veículos automotores.	27
2.8 Fatores que influenciam na emissão de gases de escapamento de veículos leves.	29
2.8.1 Formação dos gases de escapamento em motores de ignição por centelha segundo a relação ar/combustível.	33
2.8.1.1 Formação de NO _x	34
2.8.1.2 Formação de CO	35
2.8.1.3 Formação de HC	35
2.9 Conversor catalítico e relação lambda em motores de ignição	36
2.10 Medição das emissões de escapamento em veículos leves	39

CAPÍTULO III EMISSÕES DE VEÍCULOS A GÁS NATURAL	40
3.1 Resumo	40
3.2 Tendências atuais do uso de VGN	40
3.2.1 Panorama Internacional	41
3.2.2 Panorama Nacional	42
3.3 Emissões dos veículos a gás com equipamento original do fabricante	47
3.4 O veículo convertido: aspectos técnicos.	53
3.4.1 Tipos de Kit de conversão	53
3.4.1.1. Kits de conversão de 1ª Geração	54
3.4.1.2 Kits de conversão de 2ª Geração	54
3.4.1.3. Kits de conversão de 3ª Geração	55
3.4.1.4 Kits de conversão de 4ª Geração	60
3.4.2 Kit de conversão e as fases do PROCONVE	61
3.5 Veículos a gás natural: aspectos econômicos	62
3.6 O veículo convertido pelo usuário final no contexto brasileiro	63
CAPÍTULO IV MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO NO SETOR VEICULAR	66
4.1 Resumo	66
4.2 O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)	66
4.3 Linhas de base para projetos sob o MDL	71
4.4 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no setor veicular	73
4.5 Efeitos colaterais e de interação	77
4.6 Dificuldade de implementação de projetos veiculares visando a redução de Gases de Efeito Estufa.	78
4.7 Linha de base para projetos veiculares sob o MDL	80
4.8 Formação da linha de base para projetos veiculares: Antecedentes	83
4.8.1 Etapa 1: Quantificação das emissões históricas	83
4.8.2 Etapa 2: Cálculo do caso de referência ou linha de base.	84
4.8.3 Etapa 3: Cálculo das emissões relativas ao projeto.	85
4.8.4 Etapa 4: Um cálculo dos benefícios líquidos de emissões do projeto	85

CAPÍTULO V ANÁLISE AMBIENTAL DE VEÍCULOS CONVERTIDOS PARA GÁS	86
	86
5.1 Resumo	86
5.2. Metodologia	87
5.2.1 O Teste FTP75	89
5.3 Caracterização dos veículos testados	91
5.4 Resultados comparativos obtidos na emissão de gases de escapamento antes e depois da conversão.	93
5.5 Resultados comparativos obtidos do uso de kits com regulação eletrônica e manual.	94
5.6 Análise dos resultados segundo modelo do veículo	95
5.6.1 Análise comparativa dos gases de escapamento dos veículos Quantum	95
5.6.2 Análise comparativa dos gases de escapamento dos veículos Blazer.	98
5.6.3 Análise comparativa dos gases de escapamento dos veículos Kombi.	100
5.6.4 Comparação dos dados obtidos com os valores homologados	101
5.7 Análise dos resultados segundo o tipo de kit de conversão.	104
5.8 Análise dos resultados segundo o tipo de poluente	107
5.8.1 Análise comparativa da emissão de dióxido de carbono (CO ₂)	107
5.8.2 Análise comparativa da emissão de metano (CH ₄)	108
5.8.3 Análise comparativa do Potencial de Aquecimento Global (GWP)	110
5.8.4 Análise comparativa da emissão de monóxido de carbono (CO)	112
5.8.5 Análise comparativa da emissão de óxidos de nitrogênio (NO _x)	114
5.8.6 Análise comparativa da emissão de hidrocarbonetos totais (HC)	115
5.9 Considerações finais	117
CAPÍTULO VI FORMAÇÃO DA LINHA DE BASE E CÁLCULO DA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO ₂ EQUIVALENTE DO USO DE GÁS NATURAL NUMA FROTA PILOTO	119
6.1 Resumo	119
6.2 Formação da linha de base	120
6.2.1 Formação da Linha de base para os veículos modelo VW Quantum	121

6.2.2	Formação da Linha de base para os veículos modelo Blazer	123
6.2.3	Formação da Linha de base para os veículos modelo VW Kombi	125
6.3	Formação da Linha de base referente ao projeto de conversão.	127
6.3.1	Formação da Linha do projeto de conversão para os veículos Quantum	128
6.3.2	Formação da Linha do projeto de conversão para os veículos Blazer.	130
6.3.3	Formação da Linha do projeto de conversão para os veículos Kombi.	131
6.4	Comparação com o veículo Fiat Bi-combustível.	133
6.5	Linhas de base & linha do projeto de conversão por unidade de energia	133
6.6	Cálculo das Unidades de Redução de Emissão para uma Frota Piloto.	137
6.6.1	Caracterização da Frota Piloto	137
6.6.2.	Formação da linha de base e da linha do projeto de conversão da Frota Piloto	139
CAPITULO VI CONCLUSÕES		142
BIBLIOGRAFIA		145
ANEXOS		
Anexo A	Kit de conversão das marcas Rodagas e Landi Renzo	155
Anexo B	Dados de consumo de combustível dos veículos convertidos	161
Anexo C	Planilhas de cálculo da redução na emissão de CO ₂ equivalente da conversão para gás da frota piloto.	163
APÊNDICES		
Apêndice I Fichas técnicas de alguns veículos movidos a gás natural.		
Apêndice II Resolução do CONAMA 291		

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFV	Alternative Fuel Vehicle
CAGN	Certificado Ambiental para uso Veicular
CCS	Faculdade de Ciências e Comunicação
CFCs	Clorofluorcarbonados
CO	Monóxido de carbono.
CO ₂	Dióxido de carbono.
COP	Conferencia das Partes
COP-3	Terceira Conferencia das Partes
CRE	Créditos de Redução de Emissão
FLCH	Faculdade de Letras
FO	Faculdade de Odontologia
GEE	Gases de Efeito Estufa
GM	General Motors
GNC	Gás natural Comprimido
GNV	Gás Natural Veicular.
GWP	Potenciais de Aquecimento Global
HC	Hidrocarbonetos totais.
HFCs	Hidrofluorcarbonos
IC	Implementação Conjunta
IEA	Internationa Energy Agency.
IQ	Faculdade de Engenharia Quimica
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MIC	Mecanismo de Implementação Conjunta
NEL	National Energy Technology Laboratory
NO _x	Oxidos de nitrogênio.
OBD	On-board diagnostics.
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OEM	Equipamento original do Fabricante
PI	Partículas inaláveis

PFCs	Perfluorcarbonos
PMS	Ponto morto superior
PPT	Programa Prioritário de Termelétricidade
RCE	Reduções certificadas de emissão
SAT	Sistema de Administração dos Transportes.
SF6	Hexaflureto de enxofre
SOx	Óxidos de enxofre
UNFCCC	United Nations Framework convention on Climate Change
URE	Unidades de redução da emissão
URM	Unidade de Remoção
VGN	Veículos a gás natural
VW	Volkswagen

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Efeitos da poluição do ar.

Tabela 2 Limites recomendados de emissão máxima

Tabela 3 Principais impactos ambientais à saúde humana.

Tabela 4 Limites máximos de emissão para veículos leves novos segundo o PROCONVE.

Tabela 5 Valores de Potencial de Aquecimento Global em base mássica relativa ao dióxido de carbono.

Tabela 6 Número de veículos a gás natural e postos de abastecimento no mundo

Tabela 7 Potencial de mercado até 2005

Tabela 8 Principais veículos a gás natural.

Tabela 9 Sistemas de gerenciamento da combustão & fases do PROCONVE

Tabela 10 Economia por quilometro rodado do uso de gás natural & gasolina.

Tabela 11 Fatores médios de emissão de veículos leves em São Paulo

Tabela 12 Especificações da gasolina padrão

Tabela 13 Especificações do gás natural veicular

Tabela 14 Resultados médios obtidos para a emissão de gases de escapamento

Tabela 15 Resultados de emissão obtidos do uso de kits com regulagem manual e eletrônica no veículo Quantum CDV6181

Tabela 16 Resultados comparativos obtidos para a Quantum CDV6181

Tabela 17 Resultados comparativos obtidos para a Quantum BSV8901

Tabela 18 Resultados comparativos para o veículo modelo Quantum BSV8914

Tabela 19 Resultados comparativos obtidos para a BLAZER CDV6205

Tabela 20 Resultados comparativos obtidos para a BLAZER BV9094

Tabela 21 resultados comparativos obtidos para a BLAZER BVZ9269

Tabela 22 Resultados comparativos para o veículo modelo Kombi CBV6184

Tabela 23 Resultados comparativos para o veículo modelo Kombi BSV8911

Tabela 24 Resultados comparativos para o veículo modelo Kombi BVZ8724

Tabela 25 Resultados de emissão obtidos & valor homologado

Tabela 26 Resultados de emissão obtidos & valor homologado

Tabela 27 resultados obtidos da emissão de GEE com uso de kit com regulagem eletrônica e manual.

Tabela 28 Resultados comparativos obtidos para a emissão de CO₂

Tabela 29 Resultados comparativos obtidos para a emissão de CH₄

Tabela 30 Resultados comparativos calculados para o Índice de Aquecimento Global.

Tabela 31 Resultados comparativos obtidos para a emissão de CO

Tabela 32 Resultados comparativos obtidos para a emissão de NO_x

Tabela 33 Resultados comparativos obtidos para a emissão de HC

Tabela 34 Emissão de GEE segundo a quilometragem dos veículos modelo Quantum (gasolina)

Tabela 35 Emissão de GEE segundo a quilometragem dos veículos modelo Blazer

Tabela 36 Emissão de GEE segundo a quilometragem dos veículos modelo Kombi

Tabela 37 Emissão de GEE segundo a quilometragem dos veículos modelo Quantum

Tabela 38 Emissão de GEE segundo a quilometragem dos veículos modelo Blazer

Tabela 39 Emissão de GEE segundo a quilometragem dos veículos modelo Kombi

Tabela 40 Propriedades Fisicoquímicas do GNV e do gasool.

Tabela 41 Consumo de gasolina e GNV dos modelos integrantes da Frota Piloto

Tabela 42 Características dos veículos selecionados da Frota Piloto da USP.

Tabela 43 Projeção da emissão de CO₂ equivalente, emitida pela Frota Piloto USP até 2005

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Internações de menores de 15 anos
- Figura 2 mortes em pessoas maiores de 64 anos
- Figura 3 Emissões por tipo de fonte na Região Metropolitana de São Paulo.
- Figura 4 O Efeito Estufa.
- Figura 5 Contribuição dos Gases do Efeito Estufa para o Aquecimento Global
- Figura 6 Emissões de CO₂ por setor do Estado de São Paulo.
- Figura 7 Emissão de CO₂ do setor de transportes do Estado de São Paulo.
- Figura 8 Evolução histórica da emissão de CO₂ no Estado de São Paulo.
- Figura 9 Composição dos gases de escapamento de um veículo a combustão interna
- Figura 10 Relação típica da potência e consumo em relação a lambda
- Figura 11 Relação típica da potência, consumo e temperatura em relação a lambda..
- Figura 12 Emissões em função da relação lambda
- Figura 13 Emissão de NO em função do avanço do ponto de ignição
- Figura 14 Influência de um catalisador de três vias na emissão de escapamento.
- Figura 15 Eficiência típica de um conversor catalítico de três vias
- Figura 16 Evolução do gás natural no consumo final no Brasil (1970-2010 em %)
- Figura 17 Evolução do consumo de Gás Natural Veicular no Brasil.
- Figura 18 Participação do GNV no total das vendas de gás natural.
- Figura 19 Emissões de escapamento do veículo Honda Civic –Sedan
- Figura 20 Emissões de escapamento do Ford F-250
- Figura 21 Emissões de escapamento do Chrysler Dodge Ram Van/Wagon
- Figura 22 Emissões de CO₂ do Fiat Multipla nas suas diferentes versões
- Figura 23 Princípio de funcionamento de um kit de conversão.
- Figura 24 Ciclo de condução adotado nos testes da CETESB
- Figura 25 Esquema do laboratório de emissões veiculares da CETESB
- Figura 26 Quantum CDV6181 no banco de dinamômetro
- Figura 27 Emissões de escapamento homologada para VW Santana
- Figura 28 Emissões de escapamento homologada para VW Kombi
- Figura 29 Emissões de escapamento homologadas para VW GOL 1.0

Figura 30 Emissão comparativa do uso de kits com regulagem manual e eletrônica no veículo Quantum 1.8 CDV6181

Figura 31 Resultados comparativos obtidos para a emissão de CO₂

Figura 32 Resultados comparativos obtidos para a emissão de CH₄

Figura 33 Resultados comparativos do Índice de Aquecimento Global.

Figura 34 Resultados comparativos obtidos para a emissão de CO

Figura 35 Resultados comparativos obtidos para a emissão de NO_x

Figura 36 Resultados comparativos obtidos para a emissão de HC

Figura 37 Quantum BSV8909 no banco de dinamômetro

Figura 38 Linha de base dos veículos modelo VW Quantum

Figura 39 Blazer BVZ-9094 no banco de dinamômetro

Figura 40 Linha de base dos veículos modelo Blazer

Figura 41 Kombi BSV8911 no banco de dinamômetro

Figura 42 Linha de base dos veículos modelo VW Kombi

Figura 43 Linha de base & linha do projeto de conversão dos veículos modelo Quantum

Figura 44 Linha de base & linha do projeto de conversão dos veículos modelo Blazer

Figura 45 Linha de base & linha do projeto de conversão dos veículos modelo Kombi

Figura 46 Linha de base & linha do projeto de conversão & linha do projeto de substituição dos veículos modelo VW Quantum

Figura 47 Linhas de base e linha do projeto de conversão para os veículos modelo quantum por unidade de energia.

Figura 48 Linhas de base e linha do projeto de conversão para os veículos modelo Blazer por unidade de energia

Figura 49 Linhas de base e linha do projeto de conversão para os veículos modelo Blazer por unidade de energia

**APÊNDICE 1 FICHAS TÉCNICAS DE ALGUNS VEÍCULOS MOVIDOS A
GÁS NATURAL DISPONÍVEIS NO MERCADO INTERNACIONAL.**

APÊNDICE II RESOLUÇÃO DO CONAMA 291

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO

A atual política energética brasileira de incentivo ao uso do gás natural, a comprovada abundância de oferta e principalmente a vantagem econômica do gás natural frente à gasolina, têm incrementado fortemente o uso deste energético no setor veicular brasileiro.

Previsões indicam que, para o ano 2005, o número de veículos rodando com gás natural veicular (GNV) no Brasil pode chegar a 1,1 milhões, o que significa um incremento no consumo atual, de dois milhões de m³/dia, para 12 milhões de metros m³/dia; existe, ainda, a previsão do investimento de 2,4 bilhões de reais até 2005¹ neste mercado. Isto significa que o uso de gás natural em veículos automotores está crescendo rapidamente e todo indica que esta tendência vai continuar. No entanto, a forma como este energético esta sendo introduzido no mercado veicular pode não ser a mais indicada.

No Brasil, quase 100% dos veículos a gás são bi-combustíveis (gasolina/gás natural comprimido) e foram convertidos pelo usuário final nas chamadas oficinas convertedoras, de modo que, atualmente, a tecnologia de funcionamento do veículo a gás está sendo explorada pelos fabricantes de kits de conversão e convertedores, os quais, na maioria dos casos, não dispõem da infra-estrutura e mão de obra qualificada para este fim.

No Brasil, apesar da existência de normas, regulamentos e resoluções que balizam a utilização do gás natural veicular mediante uma conversão, a falta de articulação entre os diversos agentes envolvidos, a falta de fiscalização e, principalmente, o forte incentivo do apelo econômico, parece ter levado à realização de conversões sem qualquer preocupação com qualidade, segurança ou limitação das emissões de escapamento do veículo convertido. Infelizmente, a maioria das conversões feita no país até o momento, não respeitou o patamar tecnológico do veículo, implementando

¹ . ENERGY OIL & GAS REPORT, 2002

sistemas de conversão não compatíveis com a tecnologia original do mesmo (assim, por exemplo, kits com regulagem manual da vazão do gás são freqüentemente, instalados em veículos com injeção multiponto seqüencial). Isto poderia provocar um impacto enorme, tanto na segurança como na emissão de gases de escapamento do veículo convertido.

Existe uma enorme vantagem tecnológica dos veículos com equipamento original do fabricante (OEM) frente aos veículos convertidos pelo usuário final. É por este motivo que, em países como os EUA e Japão, praticamente não existe o programa de conversão de veículos usados, pois o rigor da homologação e os níveis exigidos de emissões só podem ser atendidos mediante projetos específicos desenvolvidos pelos fabricantes.

Neste contexto, o presente estudo se propõe **avaliar o impacto na emissão de gases de escapamento da conversão de veículos leves para gás natural no contexto brasileiro**. Para esta análise, o presente trabalho acompanhou a conversão de nove veículos leves da Frota USP como caso de estudo, e realizou testes e emissão de gases de escapamento (FTP75²) antes e após a conversão de cada veículo, assim como testes com diferentes tipos de kits de conversão.

Por outro lado, o Aquecimento Global é considerado, atualmente, como um dos maiores problemas ambientais do século XXI. Neste sentido, diferentes esforços internacionais para limitar a liberação na atmosfera dos Gases de Efeito Estufa (GEE) têm se intensificado nos últimos anos. Assim, em dezembro de 1997, a terceira Conferencia da Partes (COP-3) reuniu-se no Japão e adotou o Protocolo de Quioto, que determina limites de redução para a emissão de GEE em nações do Anexo 1. Estes limites deverão ser cumpridos durante o período 2008– 2012 e o Protocolo será legalmente obrigatório quando 55 países, respondendo por pelo menos 55% das emissões de CO₂ dos países industrializados em 1990, tiveram ratificado o Protocolo. Desde março de 2001, 84 países, incluindo os EUA, assinaram o

² O teste FTP75 obtém o nível de emissão do monóxido de carbono (CO), dos hidrocarbonetos totais ou combustível não queimado (HC), dos óxidos de nitrogênio (NOx) e do dióxido de carbono (CO₂),

Protocolo e 33 promoveram a ratificação. O Brasil, os países da União Européia, Japão e China, já ratificaram o Protocolo.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi definido no Protocolo de Quioto como um instrumento para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no mundo, através da implementação de projetos executados entre um país industrializado e um em desenvolvimento. A implementação destes projetos deve resultar em reduções de emissões de GEE reais e mensuráveis (i.e. o projeto deve ser considerado adicional). Constatada esta redução, os projetos de MDL ganham certificados de redução de emissão (CRE) que serão acumulados pelos países industrializados, de modo que possam cumprir suas metas de redução da emissão de CO₂ equivalente.

Neste sentido, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é de extrema importância para os países em desenvolvimento, uma vez que é a principal forma de inserção destes países no emergente mercado de Certificados de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa e a única no âmbito dos Mecanismos do Protocolo de Quioto.

Atualmente, os veículos automotores se tornaram o setor que mais contribui para a emissão mundial de CO₂ principal Gás de Efeito Estufa³. No Estado de São Paulo, por exemplo, o setor de transportes é responsável por 49% das emissões totais de CO₂ e destas, 77% provem do transporte rodoviário (BEN, 2001).

No entanto, ações que visem especificamente a redução das emissões de GEE têm sido pouco exploradas. Em geral não há muita experiência internacional na implementação de projetos ligados ao setor veicular que visem, especificamente, a redução da emissão de GEE. Assim, por exemplo, dos 144 projetos registrados como projetos de Atividades de Implementação Conjunta, apenas um é do setor de

que são emitidos pelo escapamento enquanto o veículo simula num dinamômetro de rolos uma viagem de 12 km, através de um ciclo de condução específico

³ O setor de transportes é responsável por 24% das emissões globais de CO₂

transportes e, dos 435 projetos relatados ao Programa de Redução Voluntária dos EUA, apenas 73 são do setor de transportes.

Em consequência, a formação de linhas de base para projetos de CDM que envolvam fontes móveis, tem sido pouco explorada e é neste sentido que o presente trabalho se propõe avançar. Assim, a conversão de veículos leves a gasolina para gás, no contexto brasileiro, foi estudada como uma experiência metodológica no sentido de **avançar nas discussões referentes à formação da linha de base, da linha do projeto e do cálculo das Unidades de redução da emissão de CO₂ equivalente em projetos sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo que envolvem frotas de veículos leves.**

Neste trabalho, três linhas de base e três linhas do projeto de conversão foram formadas, baseadas em dados empíricos de emissão de escapamento de CO₂ e HC, obtidos em testes FTP75 feitos em veículos modelo Quantum, Blazer e Kombi com diferentes quilometragens.

Posteriormente, as equações empíricas das linhas de base e linhas do projeto obtidas foram aplicadas no cálculo da emissão de CO₂ equivalente de uma Frota Piloto.

A Frota Piloto considerada neste trabalho corresponde à frota de veículos modelo Quantum, Blazer e Kombi da Universidade de São Paulo (campus Butantã) que circulava em agosto 2002.

Resumindo, o objetivo geral do presente trabalho é estudar o impacto na emissão de poluentes atmosféricos da substituição de gasolina por gás natural em veículos leves segundo o contexto brasileiro e formar a linha de base da Frota Piloto USP como uma experiência metodológica no cálculo das unidades de redução de emissões em termos de CO₂ equivalente, sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Neste sentido, as principais contribuições deste estudo são:

- ✓ Determinar o impacto na emissão de poluentes atmosféricos da conversão de veículos leves a gasolina para gás no contexto brasileiro.
- ✓ Apresentar um texto explicativo da atual problemática ambiental do uso de gás natural em veículos leves no contexto brasileiro.
- ✓ Avançar nas discussões referentes ao estabelecimento da linha de base para projetos do setor veicular.
- ✓ Apresentar uma experiência metodológica para o cálculo das unidades de redução de emissões em termos de CO₂ equivalente sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

O texto foi organizado em sete capítulos. O primeiro capítulo descreve os objetivos, as contribuições e o contexto no qual será desenvolvido o presente trabalho; o capítulo dois introduz os conceitos de poluição atmosférica em nível local e global, focalizando a participação do setor veicular como principal fonte emissora.

O capítulo três introduz os conceitos relacionados com emissões provenientes do uso de veículos leves movidos a gás natural e a problemática ambiental da conversão de veículos a gasolina para gás natural no contexto brasileiro e o capítulo quatro familiariza o leitor com os conceitos relativos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicados ao setor veicular.

No capítulo cinco foi feita uma análise ambiental do impacto na emissão de gases de escapamento da conversão de veículos leves a gasolina para gás natural no contexto brasileiro. Para isto, a conversão de nove veículos leves foi acompanhada e dois tipos de testes comparativos foram realizados. O teste um comparou a emissão de gases de escapamento dos veículos antes e após a conversão e o teste dois comparou a emissão de gases de escapamento da implementação alternada de kits com regulagem manual e regulagem eletrônica da vazão do gás num mesmo veículo.

No capítulo seis, três linhas de base dinâmicas e três linhas de projeto de conversão, referentes aos veículos modelo Quantum, Blazer e Kombi, respectivamente, foram elaboradas, baseadas em dados empíricos de emissão de CO₂ e HC obtidos em testes FTP75 para doze veículos com diferentes quilometragens. Posteriormente, usando estes dados, a redução na emissão de CO₂ equivalente, referente ao projeto de conversão de 30 veículos leves de uma Frota Piloto, foi calculada. Finalmente, o capítulo sete apresenta as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO II POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E VEÍCULOS AUTOMOTORES

2.1 Resumo

Este capítulo pretende introduzir os conceitos de poluição atmosférica em nível local e global, focalizando a participação do setor veicular como principal fonte emissora. Neste sentido, dados do Estado de São Paulo são apresentados como exemplo.

O problema de poluição urbana do ar é explorado caracterizando os principais poluentes atmosféricos, padrões de qualidade do ar, impacto ambiental dos principais poluentes atmosféricos, limites máximos de emissão para veículos leves, assim como um breve histórico dos “episódios agudos da poluição”.

O problema de poluição global é explorado conceituando o Efeito Estufa e o problema de Aquecimento Global; os principais gases de Efeito Estufa (GEE) e os seus valores de Potencial de Aquecimento Global (GWP) são apresentados. Um resumo da análise do terceiro relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) e o histórico das Conferências das Partes (COP) também são descritos.

Finalmente, a emissão de poluentes atmosféricos em veículos automotores é explorada no que diz respeito à composição típica dos gases de escapamento, às curvas típicas de emissão em motores a combustão interna e a metodologia de medição dos gases de escapamento em veículos leves ciclo Otto também são apresentados.

2.2 Efeitos da Poluição Atmosférica.

A poluição atmosférica é definida como a presença ou o lançamento na atmosfera¹ de um ou mais poluentes (partículas, cinzas, gases ou vapores), em concentrações, características e tempo de vida suficiente para causar danos ao ser humano, à fauna, à

flora, materiais e/ou suficientes para restringir o pleno uso e gozo da propriedade privada ou afetar negativamente o conforto da população.

Os efeitos da poluição atmosférica se caracterizam tanto pela alteração das condições consideradas normais como pelo aumento de problemas já existentes, e podem ocorrer em **níveis local, regional e global**.

A forma como a energia é produzida e utilizada é apontada como a causa principal de muitos dos atuais problemas ambientais (Tabela 1). Assim, a poluição urbana do ar, a chuva ácida e as mudanças climáticas globais, por exemplo, são devidas principalmente à queima dos combustíveis fósseis, tanto em fontes móveis (veículos automotores, aviões, ônibus etc) como em fontes fixas (termelétricas, indústrias, etc).

Tabela 1 Efeitos da poluição do ar

Nível	Efeito	Principal Causa
LOCAL	Poluição urbana do ar	Uso dos combustíveis fósseis para transporte de derivados de petróleo.
	Poluição do ar em ambientes fechados	Uso de combustíveis sólidos (biomassa e carvão) para aquecimento, cocção e processo industrial.
REGIONAL	Chuva ácida	Emissões de enxofre e nitrogênio, matéria particulada e ozônio na queima de combustíveis fósseis, principalmente no transporte
GLOBAL	Mudança climática global	Emissões de CO ₂ na queima de combustíveis fósseis.

Fonte: Modificado de Goldemberg, 2002.

¹ A atmosfera é dividida em Troposfera (do solo até 12 Km de altura), Estratosfera (da Troposfera até 50Km de altitude), Quimiosfera e Ionosfera.

2.3 Poluição Urbana do Ar

A nível local, a poluição urbana do ar é, sem dúvida, o efeito ambiental mais indesejável e visível da civilização atual. Historicamente, muitos “episódios agudos da poluição” têm ocorrido, provocando mortes, doenças e desconforto, principalmente em grandes centros urbanos. O caso mais crítico de poluição do ar ocorreu em Londres em 1952, quando morreram 4000 pessoas, vítimas da poluição atmosférica ou SMOG (“smoke + fog”), como ficou conhecido este fenômeno.

Muitos episódios agudos da poluição do ar ocorreram pela permanência de condições desfavoráveis para a dispersão de poluentes durante vários dias. Entre estas condições desfavoráveis podemos mencionar a ausência de chuva, inversão térmica e ausência de ventos. A seguir são descritas, brevemente, algumas características de alguns destes “episódios agudos da poluição do ar”.

Vale de Meuse - Bélgica (1 - 5 de dezembro de 1930)

Este episódio de poluição crítica do ar teve uma duração de cinco dias e ocasionou a morte de 60 pessoas. Os principais poluentes causadores do problema foram o dióxido de enxofre e o material particulado, que provocaram congestão intensa nas vias respiratórias especialmente em pessoas idosas e crianças. Em termos meteorológicos, a situação contou com inversão térmica, neblina e alta pressão.

Pensilvânia - USA (26 a 31 de outubro de 1948)

Episódio com uma duração de cinco dias que trouxe como consequência a morte de 18 pessoas e 5000 pessoas afetadas. A região é um vale onde eram intensamente desenvolvidas a indústria siderúrgica e fundições de zinco. As principais emissões foram de material particulado e dióxido de enxofre; a situação meteorológica, durante o episódio, foi de inversão térmica, alta pressão e neblina.

Londres-Inglaterra - (1952)

Em dezembro de 1952 aconteceu um episódio de poluição atmosférica com uma duração de cinco dias, tendo como consequência 4000 mortes a mais em relação à

taxa de mortalidade normal da cidade; os mais afetados foram às pessoas idosas. Este episódio é um exemplo clássico mostrado na literatura e que contou com altas concentrações de fumaça (material particulado), dióxido de enxofre na atmosfera, inversão térmica, calmaria dos ventos e neblina, condições denominadas com o termo “Smog Londrino”.

Outros episódios agudos ocorreram em Londres, neste mesmo ano, ocasionando a morte de centenas de pessoas. Em 1957, um episódio ocasionou a morte de 800 pessoas e, em 1962, outro provocou a morte de 700 pessoas (ASSUNÇÃO, 1997).

Tais “episódios” levaram à aprovação da Lei do Ar Puro da Inglaterra em 1956, que estabeleceu limites para emissão de poluentes. A partir de então, várias leis surgiram, em outros países, com a finalidade de estabelecer limites máximos de emissão de poluentes e determinar padrões de qualidade do ar.

No Brasil, os padrões de qualidade do ar vigentes foram estabelecidos em 1990, pela Resolução CONAMA Nro. 03 de 28/06/1990. A Tabela 2 apresenta os padrões brasileiros de qualidade do ar, comparados com os recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Tabela 2 Limites recomendados de emissão máxima

Poluente	Padrões Nacionais de Qualidade do Ar			Padrões OMS (1999)	
	Tempo de amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tempo de amostragem	Valor recomendado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em Suspensão (MP)	24 horas	240	150	-	*
	MGA	80	60		*
Dióxido de Enxofre	24 horas	365	100	24h	125
	MAA	80	40	1 ano	50
Monóxido de Carbono	1 hora	40.000	40.000	1h	30000
	8 horas	10.000	10.000	8h	10000
Ozônio	1 hora	160	160	8h	120
Fumaça	24 horas	150	150	-	*
	MAA	60	60		
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas	150	150	-	*
	MAA	50	50		
Dióxido de Nitrogênio	24 horas	320	190	1 h	200
	MAA	100	100	1 ano	40

Fonte: Resolução CONAMA N°03 de 28/06/90 e OMS, 2001.

*Não há limite recomendado para MP ou PI

MAA= Média aritmética anual

MGA = Média geométrica anual.

Os principais poluentes atmosféricos são:

- ✓ Óxidos de enxofre (SO_x), principalmente dióxido de enxofre (SO_2).
- ✓ Óxidos de nitrogênio (NO_x), principalmente óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2).
- ✓ Monóxido de carbono (CO).
- ✓ Material particulado (MP) incluindo o chumbo (Pb).
- ✓ Ozônio.
- ✓ Hidrocarbonetos (HC)

2.3.1 Poluentes atmosféricos e seu impacto ambiental

A Tabela 3 resume o impacto ambiental dos principais poluentes atmosféricos. Dados mais detalhados sobre seus efeitos podem ser apreciados no Anexo A onde se

descrevem classificação, características e efeitos dos principais poluentes atmosféricos.

Tabela 3 Principais impactos ambientais à saúde humana.

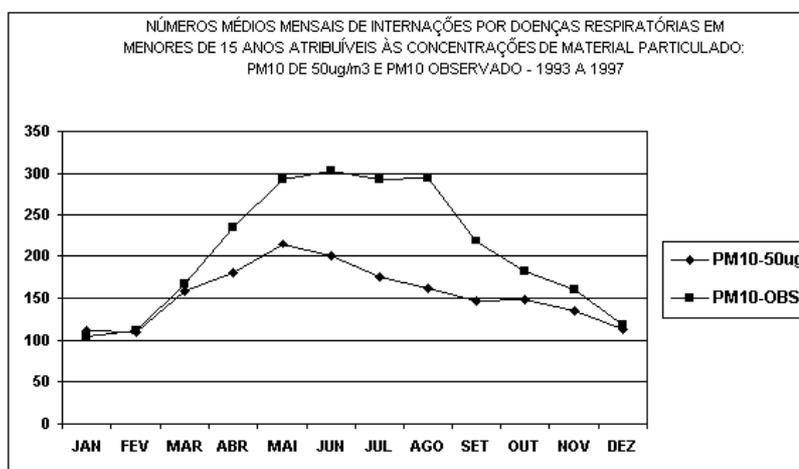
Poluentes	Impacto à saúde humana
Material Particulado (MP)	Toxicidade aumentada em combinação com outros poluentes. Irritação, defesa imunológica alterada, toxicidade sistêmica, função pulmonar diminuída e estresse do coração. Age em combinação com o SO ₂ ; o efeito depende das propriedades biológicas e químicas das partículas individuais. Reduz a visibilidade, suja materiais e construções.
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Irritação respiratória, falta de ar, função pulmonar prejudicada, aumento da suscetibilidade a infecções, doenças do aparelho respiratórias inferior, doenças crônicas do pulmão. Tóxico para as plantas, estraga a pintura, produz erosão das estátuas e monumentos, corrói metais, danifica tecidos, diminui a visibilidade, forma chuva ácida.
Monóxido de carbono (CO)	Interfere no transporte de oxigênio do sangue, diminui reflexos. Pode produzir danos ao coração e ao cérebro, percepção prejudicada, asfixia e, em doses menores, fraqueza, fadiga, dores de cabeça e náuseas.
Óxidos de nitrogênio (NOx)	Irritação dos olhos e do nariz, doença do trato respiratório, danos ao pulmão, função pulmonar diminuída e estresse do coração.
Oxidantes fotoquímicos (ozônio)	Função pulmonar diminuída, estresse ou falha do coração, enfisema, fibrose e envelhecimento do pulmão e do tecido respiratório.

Fonte: M.K. Tolba 1992; Assunção 1997, (Modificado).

Atualmente, vários estudos vêm tentando quantificar a relação que existe entre concentração de poluentes atmosféricos e saúde. Neste sentido, cabe ressaltar a pesquisa realizada na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), que demonstrou que a exposição prolongada à poluição durante meses ou

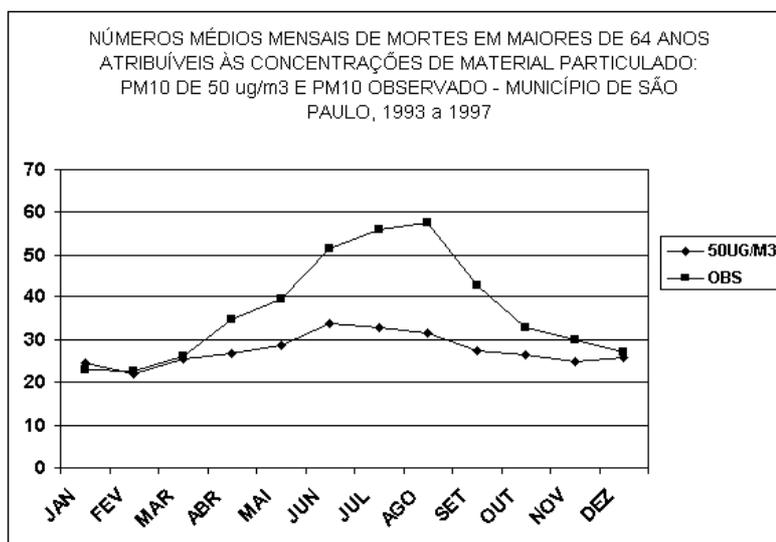
anos, mesmo em níveis considerados relativamente baixos, pode provocar doenças das vias respiratórias em pessoas saudáveis, agravar o quadro de quem já tem problemas respiratórios e também levar à morte. A Figura 1 mostra o aumento no número de internações de menores de 15 anos por motivo de doenças respiratórias em dias de maior concentração de poluentes i.é durante os meses de inverno (junho, julho e agosto). Este mesmo efeito ocorre no que diz respeito às mortes em pessoas maiores de 64 anos segundo se observa na Figura 2.

Figura 1 Internações de menores de 15 anos.



Fonte: Laboratório de Poluição atmosférica experimental da faculdade de medicina,2001.

Figura 2 Mortes em pessoas maiores de 64 anos.

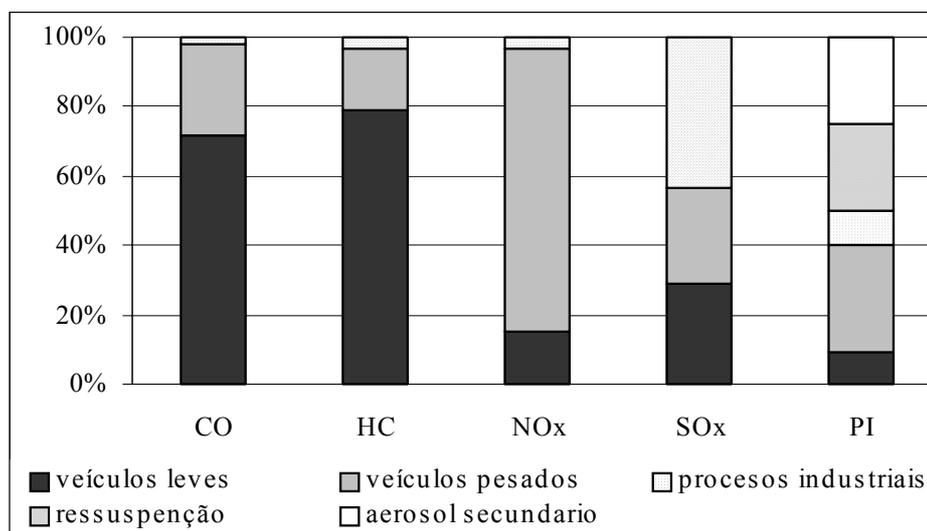


Fonte: Laboratório de Poluição atmosférica experimental da faculdade de medicina, 2001

2.4 Veículos automotores: principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos.

Atualmente, os veículos automotores têm se constituído como a principal fonte de emissão de poluentes para a atmosfera, em especial nos grandes centros urbanos. Na RMSP, os veículos automotores são responsáveis por 98% das emissões de CO, 97% das emissões de HC, 96% das emissões de NO_x e 49 % das emissões de CO₂, sendo importantes contribuidores na emissão de dióxido de enxofre e material particulado inalável; é por este motivo que as emissões veiculares desempenham hoje um papel de destaque no nível de poluição do ar na cidade (CETESB, 2001)

Figura 3 Emissões por tipo de fonte na Região Metropolitana de São Paulo.



Fonte: CETESB, 2001.

A partir da década de 70, têm sido tomadas medidas, com a finalidade de mitigar a emissão de poluentes atmosféricos na cidade de São Paulo. Por exemplo, a adição do álcool hidratado na gasolina conseguiu reduzir em quase 50% a emissão de CO e o programa de restrição ao uso de veículos, denominado rodízio, provocou uma redução média de congestionamento de 39%², permitindo uma economia de 40 milhões de litros de combustível. A restrição da circulação da frota foi um passo importante, considerando que o congestionamento é um fator relevante na elevação

² JANUZZI, 1998.

da concentração de poluentes, pois veículos em marcha lenta aumentam as emissões de 30 a 50%.

Em 1986, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabeleceu o PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores), com a finalidade de impor limites máximos de emissão de CO, NO_x, HC e aldeídos em veículos novos, segundo ensaios padronizados e com combustíveis de referência. O PROCONVE se dividiu em três fases, cada uma com uma taxa máxima de fator de emissão. Estas fases seguiram o desenvolvimento tecnológico da forma de admissão do combustível nos veículos, estabelecendo, assim, prazos para a utilização de tecnologias, antes não utilizadas. Os valores numéricos destes limites são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Limites máximos de emissão para veículos leves novos segundo o PROCONVE.

Cronologia do PROCONVE			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Início da exigência	1989	1992	1997
CO	24 g/km	12 g/km	2 g/km
HC	2,1 g/km	1,2 g/km	0,3 g/km
NO _x	2,0 g/km	1,4 g/km	0,6 g/km
Aldeídos	-	0,15 g/km	0,03 g/km
Emissão Evaporativa	-	6 g/teste	6 g/teste
Marcha Lenta	3% de CO	2,5 % de CO	0,5 % de CO
Sistemas de gerenciamento da combustão aplicados a veículos a Gasolina e Álcool	Carburador Mecânico	Carburador eletromecânico, injeção eletrônica analógica ou digital, com/sem catalisador.	Injeção eletrônica digital operando <i>closed loop</i> com catalisador de 3 vias

Fonte: CONAMA/PROCONVE Resolução no. 18.

2.5 Mudança Climática Global

A **nível global** a mudança climática, é sem dúvida, o maior problema ambiental experimentado pela terra nos últimos 100 anos.

O **aquecimento global** é o aumento potencial da temperatura média global resultante do aumento da concentração dos gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, emitidos pela atividade humana (como atividades de queima de combustíveis fósseis, combustão da biomassa das florestas e desmatamento.).

O **Efeito Estufa** é um fenômeno natural que permite a vida na Terra porque mantém a temperatura estável durante o dia e a noite. Sem os gases estufa, estima-se que a temperatura média na superfície da Terra seria de 15 a 20 °C abaixo de zero.

A atmosfera da Terra é quase totalmente transparente à radiação solar incidente: uma pequena fração dessa radiação (principalmente luz visível) é refletida de volta para o espaço, mas a maior parte dela atinge a superfície da Terra, onde ela é absorvida e reemitida em todas as direções como radiação térmica (infravermelho). A atmosfera contém, porém, gases que não são transparentes à radiação térmica. Como consequência, a atmosfera fica mais quente do que ficaria na ausência desses “gases do Efeito Estufa” (GEE). Eles atuam como um “cobertor” ao redor da Terra e a aquecem, da mesma forma que uma estufa permanece suficientemente quente no inverno, para permitir o crescimento de vegetais e flores fora das estações. (GOLDEMBERG, 1998).

Os principais gases do Efeito Estufa são: o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), o hexafluoreto de enxofre (SF₆), os clorofluorcarbonos (CFCs), os hidrofluorcarbonos (HFCs) e os perfluorcarbonos (PFCs). O ozônio também possui a característica de retenção da radiação infravermelha mas, como é instável na atmosfera, pode ser chamado de um gás de Efeito Estufa de vida curta.

O efeito do ozônio no aumento do Efeito Estufa natural, entretanto, não é desprezível. Ele não é emitido diretamente, mas è formado através de reações

químicas entre poluentes primários, como o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx) e os compostos orgânicos voláteis, na atmosfera. O aumento das emissões de gases do Efeito Estufa pelos seres humanos pode potencializar o Efeito Estufa natural (que já existia na Terra), tendo como consequência o aquecimento global.

A capacidade desses gases em contribuir para o aquecimento global depende de seu tempo de vida na atmosfera e de suas interações com os outros gases e com vapor d'água. Tal eficácia é medida por um indicador denominado Potencial de Aquecimento Global (GWP). Os aerossóis têm um tempo de vida na atmosfera muito menor do que os Gases do Efeito Estufa.

O GWP dá a contribuição relativa devido à emissão, na atmosfera, de 1 kg de um determinado gás estufa, comparado com a emissão de 1 kg de CO₂. O GWP, calculado para diferentes horizontes de tempo mostra a influência da vida média do gás estufa na atmosfera, segundo se apresenta na Tabela 5.

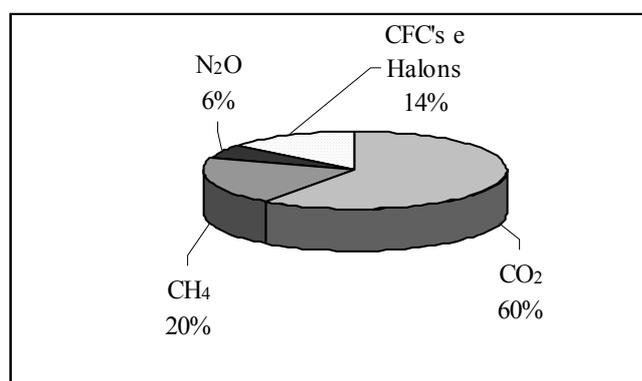
Tabela 5 Valores de Potencial de Aquecimento Global em base mássica relativa ao dióxido de carbono.

Gás	Vida média na atmosfera (anos)	Potencial de Aquecimento Global		
		Horizonte de tempo		
		20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de carbono (CO ₂)	5-200	1	1	1
Metano (CH ₄)	12	62	23	7
Óxido nitroso (N ₂ O)	114	275	296	156
CFC-12 (CCl ₂ F ₂)	100	10200	10600	5200
CFC-13 (CClF ₃)	640	10000	14000	16300
HCFC-22 (CHClF ₂)	11,9	4800	1700	540
HCFC-142b (CH ₃ CClF ₂)	19	5200	2400	740
HFC-23 (CHF ₃)	260	9400	12000	10000
HFC-143a (CF ₃ CH ₃)	52	5500	4300	1600

Fonte: Climate Change, The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1996).

O CO₂ é o principal contribuidor para o aquecimento por Efeito Estufa, mas o fato do CH₄ ter um GWP 23 vezes maior do que o CO₂ explica por que o metano, que é menos abundante do que o CO₂ na atmosfera (1.71 ppmv, comparado com 355 ppmv), contribui, significativamente, para o aquecimento global, como é indicado na Figura 4.

Figura 4 Contribuição dos Gases do Efeito Estufa para o Aquecimento Global



Fonte: Modificado de Goldemberg, 1998.

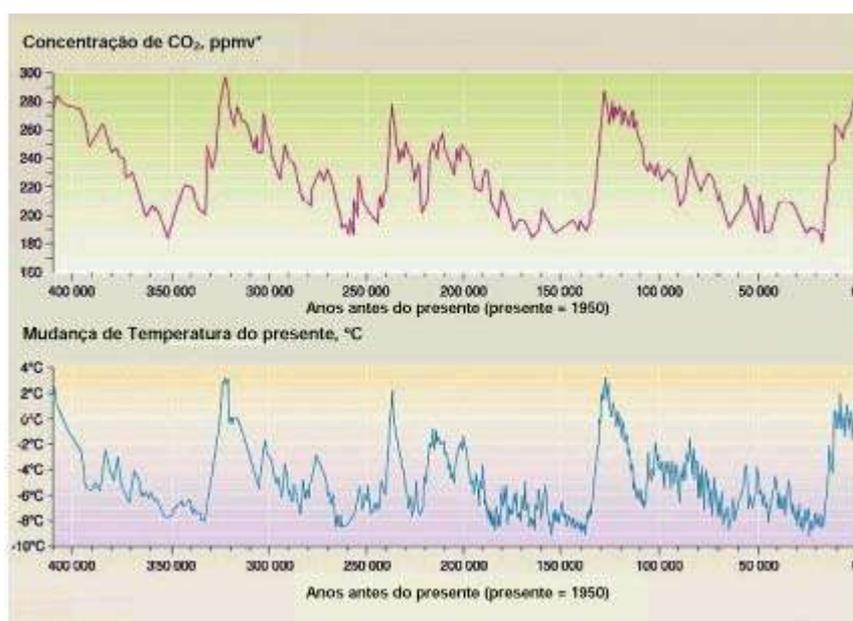
Quaisquer mudanças feitas pelo homem no equilíbrio radiante da Terra, incluindo aquelas devidas a um aumento nos “gases do Efeito Estufa” ou aerossóis, tenderá a alterar a temperatura atmosférica e oceânica, a circulação associada e os tipos de clima. Essas mudanças se sobrepõem às variações naturais do clima; para distingui-las, é necessário identificar “sinais”, contra o “ruído de fundo”, da variabilidade climática natural, o que não é uma tarefa fácil. (GOLDEMBERG, 2002).

Atualmente, a melhor informação disponível sobre mudança climática global é a avaliação científica do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) criado, conjuntamente, pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) e pelo Programa do Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP) em 1988. Centenas de cientistas de um grande número de países têm participado dele e mais de 200 cientistas têm sido envolvidos no processo de avaliação dos três relatórios até agora emitidos. O primeiro relatório, chamado de *First Assessment Report*, foi publicado

em 1990 e confirmou que a mudança climática era, de fato, uma ameaça e pediu um tratado global que administrasse o problema.

O resultado desta discussão levou 175 países e a União Européia a assinarem a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente no Rio de Janeiro. A Convenção tem o objetivo de estabilizar as concentrações de gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera num nível preventivo quanto ao perigo de interferência antrópica no sistema do clima. Desde então, os países signatários da convenção se encontram na Conferência das Partes (COP) para revisar a implementação da convenção e dar continuidade às discussões sobre quais seriam as melhores estratégias para atacar a Mudança Climática Global (o Terceiro Relatório do IPCC estabeleceu a existência de evidências mais fortes da influência humana no clima global do que na ocasião em que o Segundo Relatório do IPCC (1995). É muito provável (probabilidade de 90 a 99%) que o aumento das concentrações de “gases do Efeito Estufa” contribuam substancialmente ao aquecimento global nos últimos anos (Figura 5).

Figura 5 Relação entre a concentração de CO₂ na atmosfera e a temperatura média terrestre.



Fonte: Temperatura e concentração de CO₂ na atmosfera durante 400.000 anos antes do ano de 1950. Informações do núcleo de gelo de Vostok, na Antártica (PETIT et al, 1999)

A seguir são resumidos os principais assuntos analisados no terceiro relatório do IPCC.

- ✓ A temperatura média da superfície terrestre aumentou desde o fim do século XIX.
 - ✓ A temperatura média subiu de 0,4 a 0,8°C desde 1860,
 - ✓ Globalmente, as temperaturas mínimas cresceram desde 1950 com o dobro da velocidade com que cresceram até 1950,
 - ✓ a década de 90 foi a mais quente do século 20 e o ano de 1998 o mais quente do século.

- ✓ O aumento da temperatura média da superfície da terra deverá se situar entre 1,5 e 4,5°C quando a concentração de CO₂ dobrar.

- ✓ O nível dos oceanos continua a subir.
 - ✓ Incremento do nível dos oceanos subiu de 10 a 20 centímetros no século XX (devido à expansão da água dos oceanos). O crescimento foi maior no século XX do que no século XIX.
 - ✓ Aumento do nível dos oceanos deverá se situar entre 0,14 a 0,70 metros até o ano 2100, com um valor médio de 0,47 metros.
- ✓ A precipitação de chuvas continua a aumentar em muitas regiões.
- ✓ A cobertura de neve e gelo sobre os continentes continuou a decrescer.
- ✓ Tem havido mudanças nos padrões de circulação da atmosfera e dos oceanos, bem como o aumento do número de eventos climáticos extremos.

2.5.1 Breve histórico das Conferências das Partes

A Conferência das Partes é o órgão supremo da Convenção e é responsável por manter sob exame a implementação da Convenção, assim como por tomar as decisões necessárias para promover a efetiva implementação da Convenção.

Até o momento foram realizados oito encontros da Conferência das Partes e as principais decisões tomadas são resumidas a seguir.

Primeira Conferência das Partes (COP 1)

(Berlim, Alemanha, 28 de março a 7 de abril de 1995).

No primeiro encontro da Conferência das Partes foi estabelecido o Mandato de Berlim, cujo principal objetivo era o fortalecimento dos compromissos assumidos pelos países desenvolvidos e pelas outras Partes incluídas no Anexo I. Ficou estabelecido que estas Partes deveriam definir objetivos de limitação quantificada e redução de suas emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal.

Foi criado um grupo *ad hoc* para negociar e acompanhar a implementação de todos os acordos negociados pelos países desenvolvidos. Além disso, foram constituídas as Atividades Implementadas Conjuntamente (AJI) entre as Partes do Anexo I e não-Anexo I, em uma fase piloto sem geração de créditos.

Segunda Conferência das Partes (COP 2)

(Genebra, Suíça, 9 a 19 de julho de 1996).

Durante a COP 2 foi apresentado o Segundo Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). O IPCC, é o Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico que fornece avaliações científicas e técnicas das possíveis conseqüências e opções de resposta disponíveis para as mudanças do clima, de modo a embasar as negociações entre as Partes da Convenção. Como resultado da COP 2 foi assinada a Declaração de Genebra, que estabelecia um acordo para criação de obrigações legais com o objetivo de reduzir as emissões de dióxido de carbono.

Terceira Conferência das Partes (COP 3)

(Quioto, Japão, 1 a 10 de dezembro de 1997).

Na terceira conferência das partes foi elaborado o Protocolo de Quioto (Decisão 1/CP. 3), segundo o qual os países industrializados têm como meta a redução de suas emissões combinadas de gases de Efeito Estufa em, pelo menos, 5,2%, em média, em relação aos níveis de 1990, até o período entre 2008 e 2012. O Protocolo definiu mecanismos de flexibilidade, para que as Partes envolvidas alcancem suas metas de redução com o menor custo possível. Estes mecanismos são: a implementação conjunta (JI), o mecanismo de desenvolvimento limpo (CDM) e o comércio de emissões.

Quarta Conferência das Partes (COP 4)

(Buenos Aires, Argentina, 2 a 13 de novembro de 1998).

A principal questão em discussão na COP 4 foi a avaliação da real contribuição de cada país no aumento da temperatura da Terra.

Foi criado um plano de trabalho, denominado Plano de Ação de Buenos Aires para que fossem colocadas em prática as principais regras e questões técnicas e políticas, bem como os impasses relativos à implantação do Protocolo de Quioto. A conclusão do Plano estava prevista para 2000.

Além disso, durante a COP 4, os EUA assinaram o Protocolo de Quioto, sem que houvesse, no entanto, a ratificação desta decisão pelo Senado Americano.

Quinta Conferência das Partes (COP 5)

(Bonn, Alemanha, 25 de outubro a 5 de novembro de 1999)

Na COP 5 houve intensa discussão a respeito dos mecanismos de flexibilidade estabelecidos pelo Protocolo de Quioto. No entanto, as decisões tomadas em relação a estes mecanismos foram apenas uma repetição das decisões da COP 4.

Sexta Conferência das Partes (COP 6)

(Haia, Holanda, 13 a 18 de novembro de 2000).

A COP 6 foi marcada por divergências entre a União Europeia e o grupo denominado “guarda-chuva”, que inclui os demais países não europeus juntamente com a Noruega. A União Europeia defendia posições na regulamentação do Protocolo de Quioto que tinham como prioridade a sua integridade ambiental, enquanto o grupo “guarda-chuva”, defendia que a integridade ambiental deveria ser obtida com flexibilidade de atividade, ou seja, que permitisse a redução do ônus de combater a mudança do clima. O impasse provocou a suspensão da COP 6 e chegou a ameaçar, consideravelmente, o futuro do Protocolo de Quioto.

Sexta Conferência da Partes Reconvocada (COP 6,5)

(Bonn, Alemanha, 16 a 27 de julho de 2001).

Após o fracasso em Haia, houve, em Bonn, um grande esforço, por parte de muitas delegações, para que fossem tomadas as providências necessárias para que o Protocolo de Quioto entrasse em vigor. Com isso, o encontro representou um significativo avanço das negociações para ratificação do Protocolo. Os principais assuntos discutidos em Bonn foram: o financiamento das atividades nos países em desenvolvimento; a elegibilidade de projetos de uso da terra, mudança no uso da terra e florestas; a regulamentação dos mecanismos de flexibilidade; e as implicações jurídicas do não-cumprimento das metas definidas pelo Protocolo.

Sétima Conferência das Partes (COP 7)

(Marrakech, Marrocos, 29 de outubro a 9 de novembro de 2001).

O objetivo da COP 7 foi completar a regulamentação do Protocolo de Quioto e, com isso, criar condições políticas e técnicas para sua ratificação pelas Partes da Convenção. Os tópicos discutidos em Marrakech foram: a natureza jurídica do Protocolo; a regulamentação completa dos mecanismos de flexibilidade definidos em Quioto e, por fim, o uso da terra e as mudanças no uso das florestas.

Oitava Conferência das Partes (COP 8)

Nova Delhi, Índia, 23 de outubro a 1 de novembro de 2002.

Como a maioria dos assuntos referentes à implementação do Protocolo de Quioto foram resolvidas em Marrakesh, na COP 8 assuntos técnicos e de segunda ordem foram decididos. Entre os quais podemos mencionar a adoção de regras de procedimentos para o conselho executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e a adoção de novas diretrizes para as comunicações nacionais a serem submetidas pelos países em desenvolvimento, referentes às suas emissões e as providências que estes países estão tomando para alcançar as metas da Convenção.

2.6 Veículos automotores e emissão de Gases de Efeito Estufa

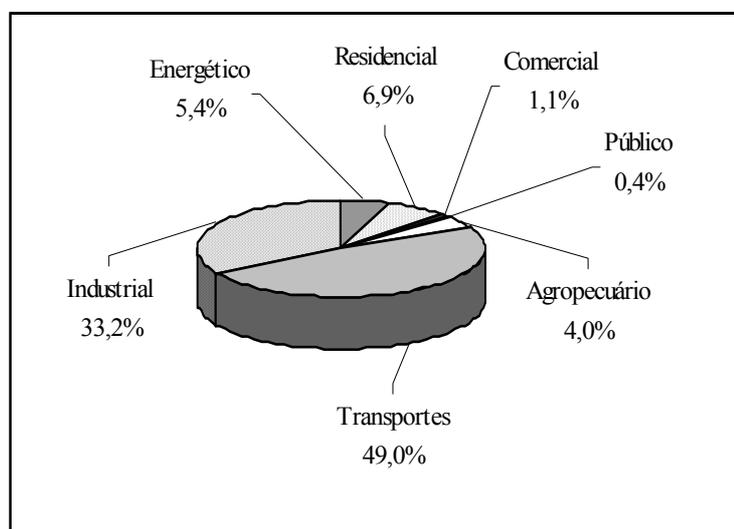
O setor de transportes é uma das maiores fontes de emissão de gases de Efeito Estufa no mundo, responsável por 24 % das emissões globais de CO₂ relacionadas à energia. As emissões no setor têm aumentado 2,4% ao ano desde 1973, diferentemente e de outros setores em que as emissões parecem estar se estabilizando (SPERLING, D.; SALON, D. 2002)

Nos países em desenvolvimento e economias de transição, espera-se que o crescimento da emissão de CO₂ proveniente do setor de transportes seja substancialmente maior que o crescimento no resto do mundo, o que evidencia uma ação urgente nestas regiões. Assim, projetos de MDL abrem um canal neste sentido. Atualmente, cerca de **50% das atuais emissões de CO₂ são de responsabilidade dos países da OCDE**. No entanto, estudos recentes do Banco Mundial têm projetado que **as emissões referentes aos transportes dos países em desenvolvimento crescerão três vezes mais do que as emissões dos países desenvolvidos**, o que significa que, caso nenhuma medida de mitigação seja tomada, aproximadamente em 2010, os países em desenvolvimento passarão a ser responsáveis pela maioria das emissões mundiais de CO₂.

Estimativas do provável aumento das emissões de gases estufa entre hoje e o ano 2025 variam entre 40% e 100%. As causas deste crescimento são variadas e incluem a rápida motorização nos países em desenvolvimento, as conexões entre o setor de transportes, e praticamente, todas as outras partes da economia global e, de fato as políticas de transporte que estão focadas em outros problemas como falta de infraestrutura e congestão, além da falta de boas e desenvolvidas opções para o uso de combustíveis alternativos no setor.

No Estado de São Paulo, o setor de transportes é o principal responsável pelas emissões de CO₂ contribuindo com 49% da emissão total, seguido pelo setor industrial com 33% e pelos setores energético, residencial e agropecuário, com cerca de 5% cada um (Figura 6). Estas estatísticas desconsideram o desmatamento, que também se constitui como um dos principais responsáveis pelas emissões de gases Efeito Estufa (CESP, 2001)

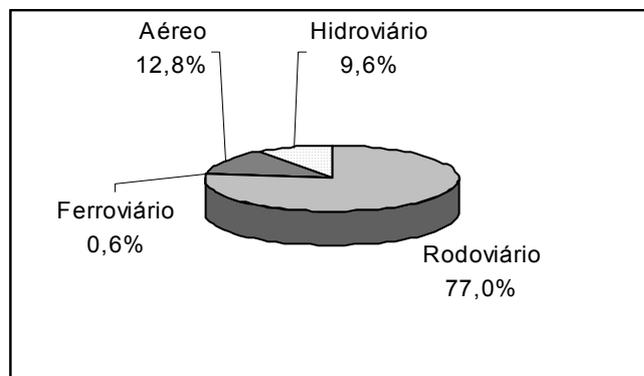
Figura 6 Emissões de CO₂ por setor do Estado de São Paulo



Fonte: Balanço Energético do Estado de SP, 2001

Das emissões totais do setor de transportes o rodoviário é o principal contribuidor, com 76,9 % da emissão total de CO₂, segundo se observa na Figura 7.

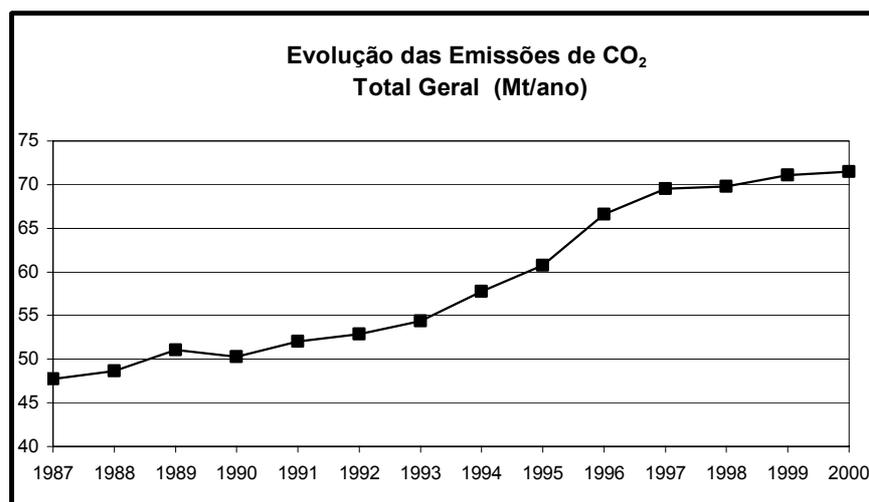
Figura 7 Emissão de CO₂ do setor de transportes do Estado de São Paulo.



Fonte: Balanço Energético do Estado de SP, 2001

A Figura 8 apresenta a evolução histórica da emissão de CO₂ do setor de transportes no Estado de São Paulo, a partir de 1987. A evolução crescente na emissão de CO₂ desde 1987 do setor de transportes no estado de São Paulo evidencia a necessidade de medidas para o seu controle ou estabilização.

Figura 8 Evolução histórica da emissão de CO₂ no Estado de São Paulo



Fonte: Balanço Energético de SP 2001.

2.7 Emissão de poluentes atmosféricos em veículos automotores

Os principais poluentes emitidos pelo escapamento dos veículos automotores são:

- ✓ Monóxido de carbono (CO), que tem a sua formação regulada principalmente pela relação oxigênio/combustível presente na câmara de combustão e pela eficiência da queima da mistura ar/combustível.
- ✓ Hidrocarbonetos (HC), também conhecidos como combustíveis não queimados ou ainda como frações de compostos orgânicos, são frações do combustível que não foram queimadas ou que sofreram apenas oxidação parcial.
- ✓ Óxidos de nitrogênio (NO_x), que têm a sua formação regulada, principalmente, pela temperatura no interior da câmara de combustão.
- ✓ Óxidos de enxofre (SO_x), que resultam da oxidação do enxofre presente como impureza nos combustíveis fósseis.
- ✓ Material particulado (MP), que resulta da combustão das frações mais complexas de hidrocarbonetos em condições de insuficiência de oxigênio e tempo para uma queima adequada, bem como de condensação dos aerossóis e vapores e de desgaste ou deterioração de materiais.
- ✓ Aldeídos (R-CHO) que resultam da oxidação parcial do combustível durante a queima. Os principais aldeídos, em termos de quantidade emitida, são o formaldeído e o acetaldeído.

Verifica-se, também, a emissão de CO₂ que, embora não seja considerado um poluente clássico devido a sua baixa toxicidade, deve ser levado em consideração, tendo em vista a sua participação na intensificação do Efeito Estufa.

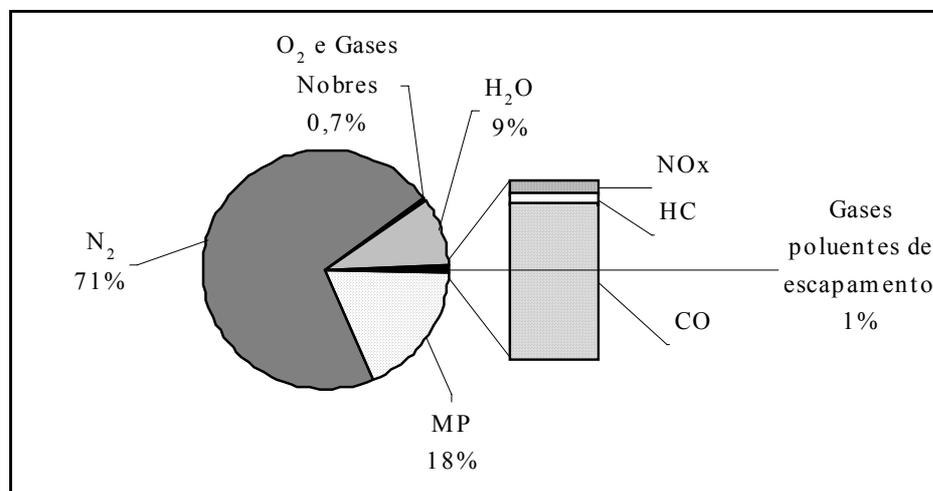
A emissão de poluentes atmosféricos por veículos automotores provém principalmente de três tipos de fontes: emissões evaporativas, emissões de escapamento e emissões de material particulado, originadas pelo desgaste de pneus e freios.

As emissões evaporativas são aquelas que provém da evaporação de hidrocarbonetos do tanque de combustível, do carburador e do Carter do motor e as emissões de escapamento são aquelas que provém como resultado da combustão e são emitidas pelo escapamento do veículo.

As emissões de HC, originadas pelos gases e vapores do cárter, do sistema de alimentação de combustível e de MP, originadas pelo desgaste de pneus e freios. O controle dessas emissões de HC é relativamente simples, envolvendo a instalação de circuitos fechados, que evitam a sua emissão para atmosfera e os encaminham para queima no motor. Quanto às emissões de MP de pneus e freios, embora não sejam consideradas muito preocupantes, o seu controle é difícil e consiste no uso de materiais que minimizem tal emissão e/ou que reduzam o seu impacto no meio ambiente. Em veículos com injeção eletrônica as emissões evaporativas são mínimas e podem ser consideradas inexistentes

A Figura 9 mostra a composição dos principais gases e partículas emitidos pelos veículos automotores.

Figura 9 Composição dos principais gases e partículas emitidos pelos veículos automotores.



Fonte: Modificado de Muñoz, F. PAYRI, 1989.

2.8 Fatores que influenciam na emissão de gases de escapamento de veículos leves.

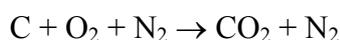
A quantidade e características dos gases de escapamento emitidos por um veículo automotor leve com ignição por centelha dependem principalmente, dos seguintes fatores:

1. Qualidade e especificações físico-químicas do combustível.
2. Presença ou não de sistemas de controle de emissões, como o catalisador.
3. Características do sistema de gerenciamento da combustão.
 - ✓ Características dos sistemas de alimentação do ar e do combustível e do sistema de ignição (relação ar/combustível)
 - ✓ Características operacionais do sistema propulsor (taxa de compressão do motor, geometria do pistão e da câmara de combustão, tipo de refrigeração e lubrificação, características da caixa de câmbio etc.).
4. Características das variáveis ambientais (altitude, temperatura ambiente e umidade) também afetam a operação do motor e, conseqüentemente, a formação de poluentes.

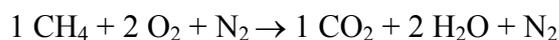
Em função dos prejuízos causados pela emissão de poluentes e da procura de uma maior eficiência dos veículos automotores medidas para o controle de emissão de gases poluentes, foram implementadas durante a fase de desenvolvimento do motor e, entre elas, o controle da dosagem adequada entre os fluidos envolvidos no processo de combustão (relação ar/combustível) é freqüentemente apontado como uma das maiores preocupações.

A mistura estequiométrica é a mistura onde a quantidade de oxigênio presente no ar admitido ao motor é suficiente para reagir com cada molécula do combustível, ocorrendo a combustão completa do combustível.

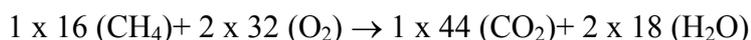
Caso o combustível seja a gás natural, um hidrocarboneto (formado de carbono e hidrogênio) e o ar, basicamente uma mistura de nitrogênio e oxigênio, podemos considerar as seguintes reações parciais na câmara de combustão do motor:



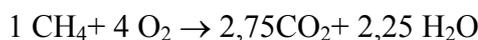
Desprezando os componentes minoritários do ar, como gases nobres, dióxido de carbono, vapor de água, e como o gás natural é constituído principalmente de metano (CH₄), temos a seguinte reação:



Considerando o nitrogênio inerte e multiplicando os coeficientes desta reação pelos pesos moleculares respectivos temos:



Simplificando a equação, temos:



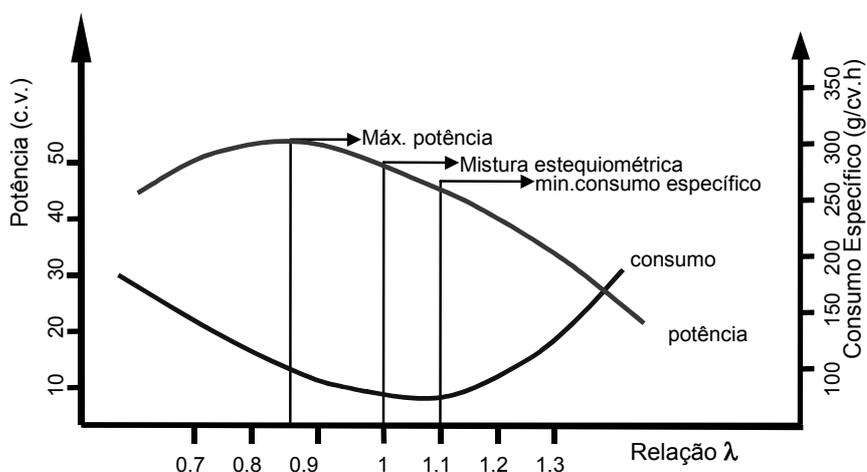
Desta forma, podemos dizer que para a combustão de cada grama de gás natural, são necessários 4 gramas de oxigênio. Como o ar atmosférico tem cerca de 23% de oxigênio, então temos:

$$3,2 \div 0,23 = 17,39 \text{ gramas de ar.}$$

Então quando tivermos 17 gramas de ar para cada grama de gás natural, estaremos na estequiometria 1:1 onde λ (lambda) = 1. Quando $\lambda > 1$, a mistura esta pobre, ou seja, tem ar em excesso. Quando $\lambda < 1$, a mistura está rica e o excesso de combustível não será queimado.

Na Figura 10 podemos ver um gráfico da variação de λ em função da potência e economia.

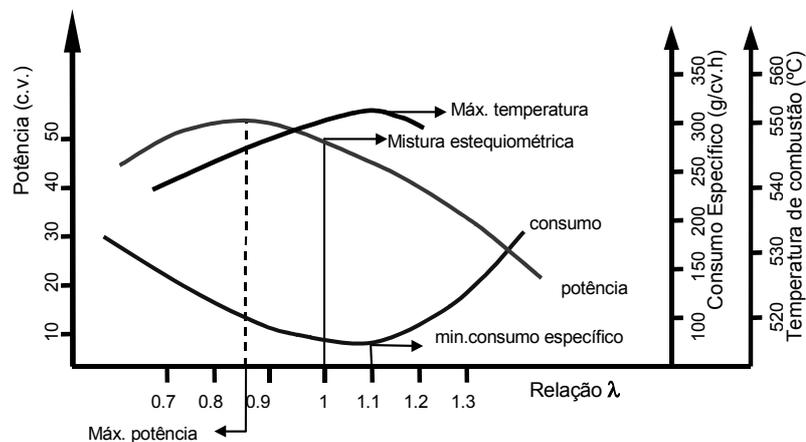
Figura 10 Relação típica da potência e consumo em relação a lambda.



Fonte: Penido, 1991.

De forma análoga, a temperatura de combustão está relacionada com lambda (λ). Segundo a Figura 11, a temperatura de combustão aumenta com o aumento de λ até um máximo em $\lambda=1,1$ e depois decresce.

Figura 11 Relação típica da potência, consumo e temperatura em relação a lambda.



Fonte: Penido, 1991.

2.8.1 Formação dos gases poluentes de escapamento em motores de ignição por centelha segundo a relação ar/combustível.

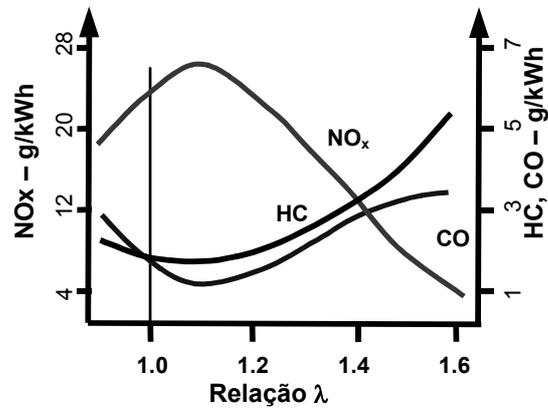
Para alguns compostos como o CO e HC, as reações de formação e destruição estão intimamente ligadas ao processo de combustão interna. No caso do NO_x, o processo de formação e destruição do mesmo não é parte da combustão. Entretanto, as reações que produzem tais espécies têm lugar no ambiente criado pelas reações de combustão e, portanto, tais processos têm relação de dependência.

Desta forma, a relação λ interfere não somente no rendimento do motor, como também nas emissões de poluentes. Assim, o controle estrito de λ não busca somente uma maior eficiência em termos de desempenho, mas também uma redução nos níveis de emissões.

As Figuras 12 e 13 mostram o efeito qualitativo da relação λ e do avanço da ignição³, respectivamente, sobre os índices dos poluentes mais comuns.

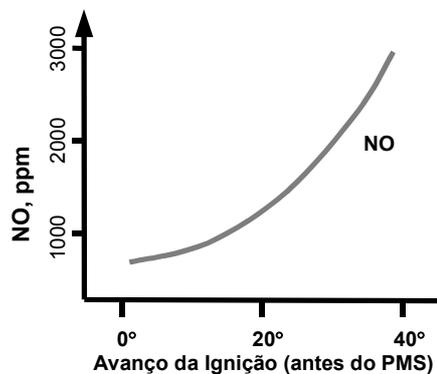
³ Durante o funcionamento do motor de quatro tempos, a centelha ocorre antes do pistão ter chegado ao topo devido ao tempo necessário para que a combustão se propague e o pistão chegue ao topo. Isto se chama avanço da ignição. A medida do avanço de ignição é em graus antes do PMS, isto é, a

Figura 12 Emissões em função da relação lambda.



Fonte: Cartellieri et al., 1994

Figura 13 Emissão de NO em função do avanço do ponto de ignição.



Fonte: Heywood, 1988.

quantos graus, antes do eixo do motor girar para a posição onde a distancia do pistão e da cabeça do cilindro é mínima, é acionada a centelha. Quanto maior o RPM do motor, menor o intervalo de tempo para o pistão atingir o PMS e por conseqüência o avanço da ignição deve ser maior para que a chama se propague de forma conveniente.

2.8.1.1 Formação de NO_x

O NO_x é formado pela reação química que ocorre a alta temperatura, envolvendo oxigênio e nitrogênio na câmara de combustão durante as diferentes fases do ciclo de operação do motor de combustão interna: compressão, combustão, expansão e exaustão. Quanto maior a temperatura do gás queimado, maior a taxa de formação de NO_x.

O efeito de λ nas emissões de NO_x pode ser melhor compreendido pela análise da Figura 12, onde podemos ver que a emissão de NO_x cresce à medida que a mistura é empobrecida. A máxima emissão de NO_x ocorre na faixa de $\lambda = 1,1$ porque, nesta situação, temos, tanto alta temperatura (Figura 11) como oxigênio em excesso. A partir deste valor, a emissão de NO_x começa a cair, já que, a temperatura diminui na câmara de combustão e, portanto, se experimenta uma menor formação de NO_x.

A mistura ainda não queimada no cilindro contém vapor de combustível (ou gás), ar, e gases já queimados. Os gases queimados são resíduos do ciclo anterior do motor que não foram totalmente eliminados na exaustão. Essa fração de gás residual é influenciada pela configuração do motor no que diz respeito a tempo e aberturas das válvulas. A taxa de compressão, velocidade e fração ar/combustível também interferem, em um grau menor, na fração do gás residual. O gás queimado age como um diluente na mistura não queimada; a temperatura absoluta obtida após a combustão varia inversamente proporcional com a fração de gás queimado. Desta forma, aumentando a fração de gás queimado reduz as emissões de NO_x. Entretanto, isto também reduz a taxa de combustão e, desta forma, torna mais difícil a obtenção de uma combustão estável. (HEYWOOD, 1988).

O avanço do ponto de ignição do motor (Figura 13) tem grande influência na emissão de NO. Avançando o ângulo de ignição, a combustão ocorre mais cedo no ciclo do motor, aumentando o pico de pressão no cilindro (porque mais combustível é queimado antes do ponto Morto Superior (PMS), onde o volume da câmara de

combustão é mínimo); retardando o ponto de ignição, diminui-se o pico de pressão no cilindro, porque mais combustível é queimado depois do PMS. Maior pico de pressão no cilindro resulta em uma maior temperatura de combustão e, por consequência, uma maior formação de NO. Para picos de pressão menores teremos uma diminuição da temperatura de combustão e uma diminuição da formação de NO. (HEYWOOD, 1988).

2.8.1.2 Formação de CO

O monóxido de carbono se forma durante o processo de combustão. Com misturas ricas, há insuficiência de oxigênio para transformar, todo o carbono do combustível em CO₂. Com misturas pobres, há excesso de oxigênio, o que, inicialmente, provoca uma redução da formação de CO, até o momento em que o funcionamento do motor se torna irregular, em virtude de problemas de combustão e, então, a emissão de CO volta a aumentar (Figura 12).

2.8.1.3 Formação de HC

Durante o processo de compressão e combustão, a pressão crescente do cilindro força parte do gás combustível do cilindro a entrar nas frestas conectadas à câmara de combustão. Os volumes compreendidos entre o pistão, os anéis e a parede do cilindro constituem uma grande fração dessas frestas. A maior parte desse gás é mistura ar-combustível não queimado: a maior parte dela não participa do processo primário de combustão porque a entrada dessas frestas é estreita demais para permitir a entrada da chama. Esse gás, que deixa as frestas posteriormente, na fase de expansão e exaustão, é uma fonte de emissão de hidrocarbonetos não queimados.

As paredes da câmara de combustão constituem outra possível fonte. Camadas contendo hidrocarbonetos não queimados e parcialmente queimados são deixadas sobre as paredes da câmara de combustão quando a chama de combustão se extingue, ao atingir uma certa proximidade com as paredes da câmara. A camada de óleo

lubrificante na parede do cilindro pode absorver combustível, contribuindo, também, para a emissão de HC. (HEYWOOD, 1988).

No caso de veículos a gás, devido à baixa solubilidade de alcanos leves que constituem o GNV no óleo lubrificante, o combustível retido nas frestas se torna a principal fonte de emissão de HC, podendo ser considerado, para efeitos práticos a única fonte de emissão de hidrocarbonetos.

Como a emissão de HC está diretamente ligada à combustão, a relação λ tem grande influência na sua emissão. Segundo a Figura 12, as emissões de HC aumentam rapidamente quando a mistura é enriquecida além do valor estequiométrico. Quando a mistura é muito pobre, as emissões de HC também aumentam, devido à combustão incompleta no ciclo de operação do motor.

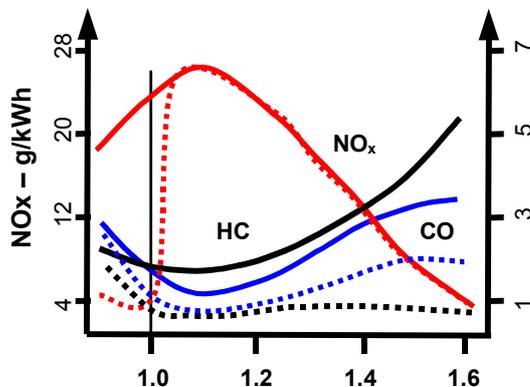
2.9 Conversor catalítico e relação lambda em motores de ignição por centelha.

Os conceitos de combustão em motores a gás, que mais eficientemente têm atendido às condicionantes ambientais, se referem à utilização do processo de queima pobre ou ao uso de mistura estequiométrica.

O uso de mistura pobre tem como consequência a redução das temperaturas de combustão e, portanto, a redução das emissões de NO_x; entretanto, a diluição da mistura combustível afeta a velocidade de propagação da chama e a estabilidade da combustão, levando ao aumento da emissão de HC. Neste caso de operação utiliza-se um catalisador de oxidação.

Na operação do motor na faixa estequiométrica, temos uma combustão mais eficiente e, também, uma maior formação de NO_x. Neste caso, se utiliza um catalisador de três vias (platina, paládio e ródio), que oxida o HC e o CO enquanto reduz o NO_x, levando a emissão de poluentes a valores menores (Figura 14).

Figura 14 Influência de um catalisador de três vias na emissão de escapamento



Relação λ

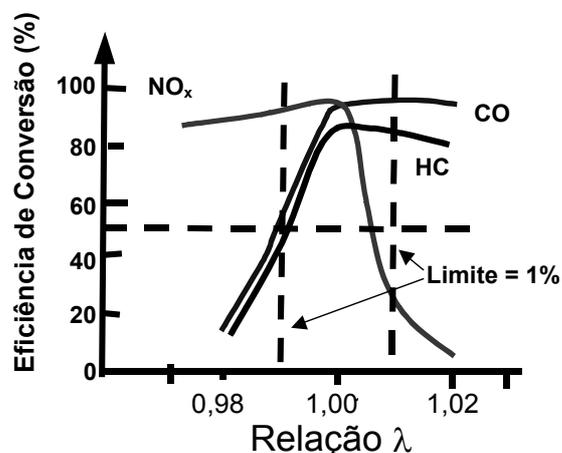
Vermelho- NO_x, preto – HC e azul- CO. Linha cheia: sem catalisador.

Linha pontilhada: com catalisador.

Fonte: Cartellieri et. al, 1994.(Adaptado).

Entretanto, o catalisador só possui eficiência relevante para valores de λ muito próximos de 1, sendo que a degradação da eficiência de conversão é drástica: nas fronteiras de 1% de desvio do valor nominal $\lambda=1$, tem-se, apenas, cerca de 50% da eficiência máxima de conversão (Figura 15). Quando o desvio do valor ocorre em um pequeno valor e em curto período, o volume fixo do catalisador absorve estas variações, sem prejudicar os níveis de emissões.

Figura 15 Eficiência típica de um conversor catalítico de três vias.



Fonte: Heywood, 1988.

As emissões totais de um motor operando com mistura pobre ultrapassam os limites da legislação europeia, em que se limita o HC (Hidrocarbonetos totais), e, portanto, a escolha recairia sobre a alternativa, que emprega mistura estequiométrica, uma vez que o metano resiste bastante à oxidação catalítica. (CORBO *et al.*, 1995 apud SILVA, 1999).

No entanto, por ser o metano o principal componente nas emissões de HC, o potencial de reatividade para formação de ozônio é muito baixo, e a alternativa baseada no uso de mistura pobre parece mais atrativa para o mercado norte-americano, onde se limita o NMHC (hidrocarbonetos não metânicos) que se constitui de gases mais pesados e mais reativos que o metano (HOCHHAUSER *et al.*, 1995 apud SILVA, 1999).

No Brasil, a legislação não considera o metano separadamente dos outros hidrocarbonetos e, para efeitos de emissões, a solução baseada no uso de mistura pobre parece ser suficiente para atender os limites vigentes. (SILVA, 1999). No entanto para 2005 espera-se uma mudança na legislação que passará a limitar apenas a emissão de NMHC.

2.10 Medição das emissões de escapamento em veículos leves

A medição da emissão de poluentes no gás de escapamento é feita por meio de ciclos de condução, ou seja, seqüências de diferentes condições de velocidade e esforço realizados em um motor ou num dinamômetro de chassi. Em princípio, estes ciclos geram condições reprodutíveis para medição da emissão de poluentes e, ao mesmo tempo, simulam uma condição real de percurso. No entanto, é necessário mencionar que estes dados obtidos com alta precisão em condições laboratoriais, podem diferir das emissões reais devido às variações de percurso que caracterizam uma determinada cidade ou região. Em alguns países desenvolvidos, estimativas têm sido feitas na tentativa de converter os resultados laboratoriais em fatores reais de emissão, mas essas estimativas estão ainda numa fase muito inicial.

No Brasil a metodologia para medição das emissões é regulamentada pela Norma NBR 6601, elaborado pela Comissão de Estudo de Emissões Veiculares da ABNT (veja capítulo V). A NBR 6601 segue a metodologia americana, que adota o ciclo de condução FTP-75. Este é um ciclo altamente transitório e difere do ciclo adotado na Europa (ECE 15 + EUDC), que é mais artificial.

CAPÍTULO III EMISSÕES DE VEÍCULOS A GÁS NATURAL

3.1 Resumo

O presente capítulo pretende introduzir conceitos relacionados com veículos leves movidos a gás natural, focalizando a problemática ambiental no contexto brasileiro.

Inicialmente, é apresentada uma visão global da tendência do uso de gás natural como energético veicular, tanto em nível internacional como em nível nacional. Logo os tipos de veículos a gás natural são apresentados, distinguindo-se entre veículos a gás com equipamento original do fabricante (OEM) e veículos a gás convertidos pelo usuário final.

Os principais aspectos técnicos e econômicos assim como os valores das emissões de escapamento de veículos novos com OEM dos modelos mais representativos são apresentados. Os aspectos técnicos e econômicos dos veículos convertidos, principalmente no que diz respeito aos componentes, funcionamento e tipos de kits de conversão, também são explorados.

Finalmente, a problemática ambiental da conversão de veículos leves para gás natural no contexto brasileiro, é comentada, dando suporte teórico à análise ambiental feita no capítulo cinco.

3.2 Tendências atuais do uso de VGN

O gás natural, como combustível automotivo, vem apresentando um apreciável crescimento em escala mundial. A tendência atual de sua utilização é justificada pela procura de alternativas de redução dos custos de operação dos veículos e pela necessidade de minimizar a emissão de poluentes atmosféricos.

O foco de atuação dos países, que vêm implantando gradativamente o uso de gás natural como combustível automotivo concentra-se nos grandes centros urbanos,

priorizando a substituição dos combustíveis tradicionais, como o óleo diesel e gasolina, nos veículos de uso intensivo, principalmente frotas urbanas de transporte coletivo e, mais recentemente, também nos veículos leves de transporte individual, como frotas de táxis.

3.2.1 Panorama Internacional

Veículos a gás natural têm sido utilizados no mundo há muitos anos. De acordo com a Associação Internacional de Veículos a Gás Natural (IANGV), existem hoje 1,8 milhões de veículos a gás natural rodando no mundo. Vários governos e montadoras de veículos estão envolvidos em programas de desenvolvimento de veículos a gás natural, segundo se apresenta mais adiante. A Itália utiliza esse combustível para fins automotivos há mais de quarenta anos.

Na Argentina, mais de meio milhão de automóveis usam este combustível, como consequência do Programa de Apoio ao uso de Gás Natural Veicular (GNV) que o Governo Argentino iniciou em 1984, através da eliminação de impostos. O programa também deu suporte a projetos pilotos, construção de postos de reabastecimento e conversão de veículos pela iniciativa privada.

Na China, os altos teores de ozônio medidos nos últimos anos (três vezes mais elevados do que os medidos na cidade de Los Angeles), além da dependência na importação de petróleo, que vem do Golfo Pérsico, têm encorajado fortemente o uso de GNV. Da mesma maneira, nos Estados Unidos e Canadá, devido às crescentes restrições ambientais, seu uso tem sido intensificado. Na Ásia, destacam-se os programas do Paquistão e Índia. A Tabela 6 mostra o panorama mundial no que diz respeito ao número de veículos a gás natural existente atualmente no mundo.

Tabela 6 Número de veículos a gás natural e postos de abastecimento no mundo

PAÍS	Veículos Convertidos	Postos de Abastecimento	Atualização
Argentina	721.830	1.043	Out/02
Itália	380.000	369	Nov/01
Paquistão	280.000	333	Set/02
Brasil	232.973	284	Mai/02
EUA	102.430*	1.250	Jan/01
Índia	84.150	116	Mar/02
Egito	42.000	72	Nov/02
Venezuela	40.962	170	Jan/02
China	36.000	70	Jan/01
Ucrânia	35.000	87	Dec/01
Rússia	31.000	208	Dec/01

* A Projeção dos EUA para 2001, a partir de Janeiro, foi de 111.769 veículos a gás natural.

Fonte: IANGV

Desde Agosto de 2000, houve cerca de 1,1 milhão de veículos convertidos ao GNV no mundo. Argentina e Itália detêm a liderança mundial, com 721.830 e 380.000 veículos a gás natural (VGN), respondendo por mais da metade do total mundial. Paquistão, Brasil e EUA seguem esses dois países, com, aproximadamente, 265.000, 230.000 e 100.000 veículos, respectivamente.

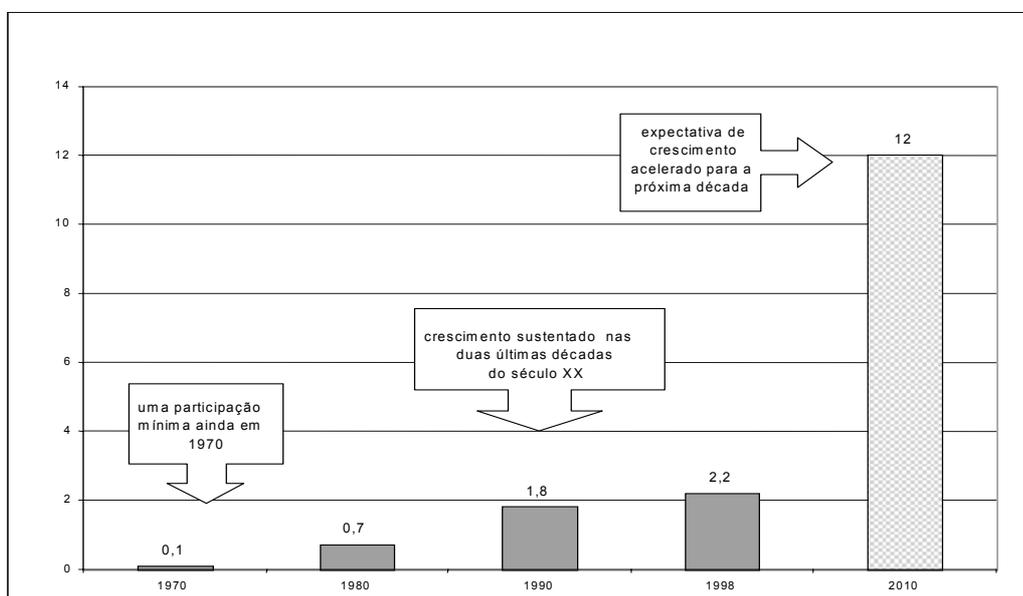
É interessante notar que, apesar de atrás de outros países em números de VGN, os EUA têm o maior número de postos de abastecimento Assim, o número total de postos para VGN no mundo é 5.119, com cerca de 24,4% (1250) destes localizados nos EUA. A Argentina com 969 postos e a Itália com 369 vêm na seqüência.

3.2.2 Panorama Nacional

Nos anos 70, os choques do petróleo seguidos da alta das taxas de juros internacionais, impuseram a revisão da política energética nacional. As diretrizes fundamentais foram direcionadas à substituição do petróleo importado e à

conservação de energia, de modo a minimizar o impacto do aumento dos preços do petróleo no mercado internacional sobre a economia brasileira. Uma das medidas tomadas para efetuar essa substituição foi o aumento da produção nacional de petróleo e o incremento do uso do gás natural, o que, aliado à necessidade de acelerar o desenvolvimento minimizando os impactos ambientais, projeta, para esse combustível, um importante papel no atendimento da crescente demanda de energia primária do Brasil. (CONPET – PETROBRAS, 2001).

**Figura 16 Evolução do gás natural no consumo final no Brasil
(1970-2010 em %)**



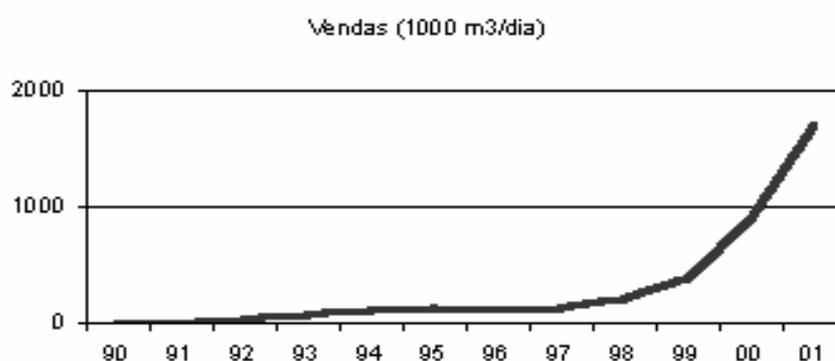
Fonte: MME, 2002

Atualmente, a política energética adotada pelo Governo Federal, se propõe elevar a participação do gás natural na matriz energética nacional, a 12% até 2010. A Figura 16 ilustra melhor estas previsões. Neste sentido, a construção de novos gasodutos durante os anos 90, em especial o Bolívia-Brasil, tem encorajado a expansão da oferta de gás natural; do mesmo modo, o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT), criado pelo governo em inícios de 2000, teve a finalidade de aumentar a participação do gás natural na matriz energética nacional e auxiliar a suprir a demanda crescente de energia elétrica. Segundo o PPT, as usinas termelétricas deveriam ser responsáveis por mais da metade da demanda de gás natural a partir de

2005. Na prática, este plano vem enfrentando dificuldades de financiamento dos grandes projetos termelétricos em mercados globais, problemas com as grandes volatilidades no preço do gás, assim como problemas nos custos envolvidos na compra das turbinas a gás e outros equipamentos.

Neste contexto, o uso de gás natural veicular (GNV) se apresenta como um setor com grande potencial de consumo de gás e que atualmente vem experimentando significativas taxas de crescimento (Figura 17), com previsões de investimentos da ordem de 2,4 bilhões de reais até 2005¹.

Figura 17 Evolução do consumo de Gás Natural Veicular no Brasil



Fonte: 1990/2000 - ANP/PETROBRÁS , 2001 - Estimativa FGV

Este grande aumento de consumo ocorrido no final da década de 90 pode ser atribuído ao grande crescimento de veículos convertidos e de postos de abastecimento que vem ocorrendo atualmente. Em 1995 existiam aproximadamente 20 mil veículos convertidos e cerca de 30 postos de abastecimento e, no final de 2001, existiam cerca 285 mil veículos convertidos e com previsão de, no término de 2002, este número chegar a 465 mil veículos (Almeida, Marcus Santiago, 2002). Historicamente, podemos resumir os principais acontecimentos da utilização do GNV no cenário nacional como segue:

¹ ENERGY OIL & GAS REPORT, 2002

Período de 1980 até 1991

- ✓ Início das discussões para utilização do GNV como combustível. Elaboração do PLANGÁS.
- ✓ Criação de Comissões Governamentais para o estudo da substituição do óleo diesel pelo GNV no transporte de cargas e passageiros.
- ✓ A pouca disponibilidade do produto e a pequena diferença entre os preços do óleo diesel e do GNV reduziram a conversão das frotas.

Período de 1992 a meados de 1994

- ✓ Liberação do uso de GNV para taxistas e frotas de empresas.
- ✓ Inauguração do primeiro posto de serviço de venda de GNV aberto ao público.
- ✓ Os volumes de GNV demandados cresceram bastante em função da viabilidade econômica do seu uso em táxis, acarretando falta do produto para o abastecimento.

Período de 1994 até 1996

- ✓ Plano Real propiciou a estabilização dos preços dos combustíveis.
- ✓ Concessão de isenção de impostos para os taxistas que optassem pelo uso de GNV, acarretando uma grande renovação da frota de veículos, principalmente em São Paulo.
- ✓ As montadoras não mantêm a garantia de veículos novos convertidos para o uso de GNV.

Período de 1997 até 1999

- ✓ Liberação do uso de GNV para veículos particulares.
- ✓ O crescimento do mercado de transportes autônomos e de frotistas alavancou a demanda de GNV.
- ✓ Um maior número de Postos de Serviço é oferecido ao público.

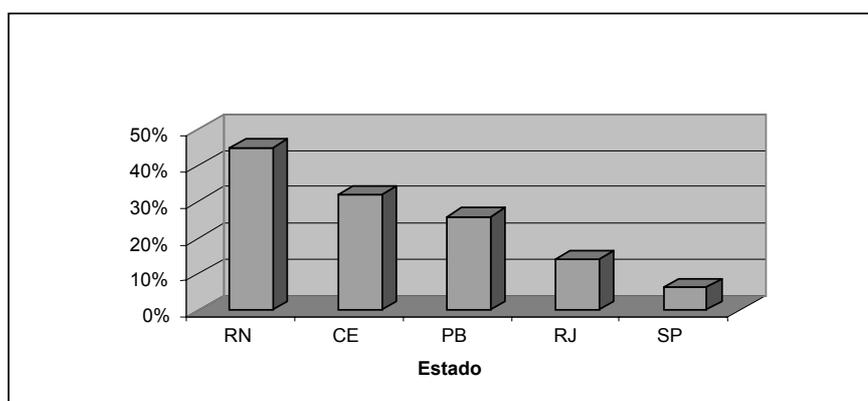
- ✓ Houve uma maior percepção, por parte dos usuários, quanto às vantagens econômicas do uso do GNV, como substituto da gasolina.

Período de 1999 até 2000

- ✓ A entrada do gás da Bolívia deu um grande incremento na oferta de gás.
- ✓ A dificuldade na viabilização das termelétricas a gás natural ocasionou um excesso na oferta de gás.

Atualmente, a participação do uso veicular no consumo total de gás natural varia de estado para estado. No Ceará, 32% do consumo se refere ao segmento automotivo. No Rio Grande do Norte, este índice cresce para 45% e na Paraíba se situa em 26%. No Rio de Janeiro as vendas de GNV respondem por 14,15% do consumo de gás do estado. No estado de São Paulo, as vendas de gás canalizado durante o primeiro semestre do ano somaram 1,3 milhão de metros cúbicos e o segmento automotivo participou com 6,2% do total.(Figura 18).

Figura 18 Participação do GNV no total das vendas de gás natural.



Fonte: Gazeta Mercantil., 2002

A nível nacional, previsões indicam que para o ano de 2005 o número de veículos rodando com GNV pode estar entre 1,1 milhão e 1,4 milhão e o consumo diário de GNV poderá se situar entre nove milhões e doze milhões de metros cúbicos por dia (Tabela 7).

Tabela 7 Potencial de mercado até 2005

	Mil m³/dia	Mil veículos
Cenário conservador	9.171	1.148
Cenário intermediário	10.559	1.322
Cenário otimista	11.950	1.495

Fonte: FGV, 2001.

3.3 Emissões dos veículos a gás com equipamento original do fabricante (EOM)

O veículo a gás com equipamento original do fabricante é aquele veículo que foi projetado, produzido e certificado através de um equipamento original do Fabricante (*Original equipment manufacturer* OEM) para operar com um determinado tipo de combustível, no caso veículo dedicado para operar com gás natural.

Atualmente, uma série de veículos a gás com equipamento original do fabricante OEM se encontram disponíveis no mercado internacional. Entre os fabricantes que oferecem veículos a gás natural estão, entre outros, BMW, DaimlerChrysler, Fiat, Ford, Honda, Mitsubishi, Nissan, Toyota e Volvo.

Alguns destes veículos foram convertidos a partir de veículos a gasolina e, em outros, uma tecnologia específica foi desenvolvida exclusivamente para o GNV, mas em ambos os casos, a montadora assumiu este papel, oferecendo um produto final com garantia de fábrica e cumprimento das regulamentações ambientais.

A Tabela 8 resume os principais fabricantes de veículos a gás natural e algumas características dos seus veículos oferecidos ao mercado.

Tabela 8 Principais veículos a gás naturalm oferecido ao mercado

Montadora e Modelo	Tipo	Combustível	Motor	Padrão de emissão ¹
American Honda Motor Co./Civic-1998	Sedan	Dedicado GNC	1.6L 4V.	1/10 ULEV SULEV
Fiat Multipla		Dedicado GNC	1.6 16V	
Fiat Multipla		Bi-combustível Gasolina/GNC	1.6 16V	
Ford Motor Co. / F250 1998	Pickup	Dedicado GNC	5.4L V8	ULEV
Chrysler-Dodge B2500-1999	Van	Dedicado GNC	5.2L V8	ULEV
GMC Sierra 1998	Pickup	Bi-combustível	5.7L V8	LEV
BMW 520	Sedan station Wagon	Dedicado GNC		EZEV

¹Para um melhor efeito comparativo quanto à emissão de poluentes, o EPA classifica os veículos com:

- Emissões de poluentes baixas (LEV)
- Emissões de poluentes “ultra” baixas (ULEV)
- Emissões de poluentes “super ultra” baixas (SULEV)
- Sem emissão (ZEV)

Fonte: <http://www.ott.doe.gov>
<http://www.afdc3.nrel.gov>
www.umweltbundesamt.de/gasantrieb/tat/pkw
www.ott.doe.gov/otu/field_ops/nve/

Dentre os veículos dedicados a gás natural, apenas o modelo Honda Civic GX apresenta alteração na taxa de compressão, ou seja, um rebaixamento no cabeçote. Esse tipo de mudança se encaixa muito bem para combustíveis que são menos reativos e com menor temperatura de funcionamento, como acontece com o álcool e GNV e contribui para uma menor emissão de gases de escapamento. Os outros dois veículos dedicados (Dodge B2500 1999 e Ford F-250 1998) não apresentam mudança na taxa de compressão e nem outro fator que mude a geometria do cabeçote. No entanto, os três veículos dedicados da Tabela 8 (Honda Civic GX Dodge B2500 1999 e Ford F-250 1998) possuem um catalisador formulado especialmente para o gás, o que garante um melhor desempenho em termos de emissão.

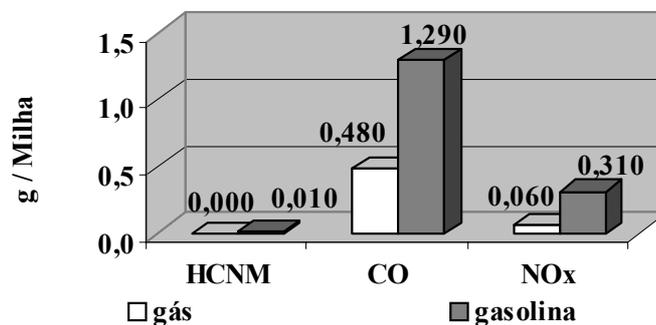
O veículo GMC Sierra apresenta perdas de até 4 segundos em aceleração e a não economia de combustível, mas, em contrapartida, apresenta uma autonomia extremamente grande, chegando a novecentos quilômetros.

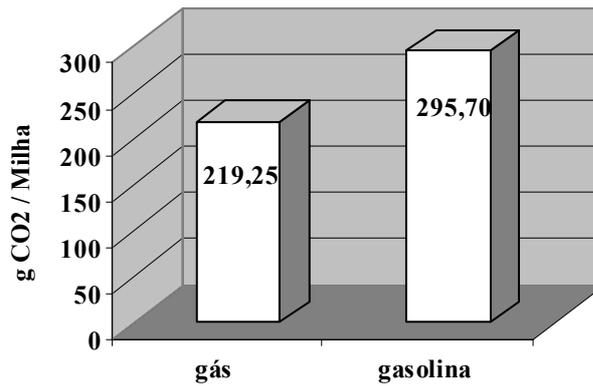
Maiores informações sobre veículos disponíveis no mercado são facilmente encontradas na página Web do Departamento de Energia dos EUA www.afdc.doe.gov

Atualmente o Departamento de Energia dos EUA (DOE), está promovendo o uso de combustíveis alternativos e de veículos com combustíveis alternativos (AFVs). Para apoiar esta atividade, o DOE tem incentivado o National Renewable Energy Laboratory (NREL) a conduzir projetos de avaliação da performance e aceitabilidade de veículos leves com combustíveis alternativos. Assim alguns veículos a gás natural tem sido testados de forma comparativa aos seus similares a gasolina.

Neste sentido, as Figuras 19, 20 21 e 22 apresentam alguns exemplos comparativos dos resultados obtidos no que diz respeito às emissões de escapamento (no Apêndice 1 são apresentadas as fichas técnicas dos resultados obtidos, inclusive resultados de emissão para alguns veículos a gás dedicados e bi-combustíveis).

Figura 19 Emissões de escapamento do veículo Honda Civic/Sedan

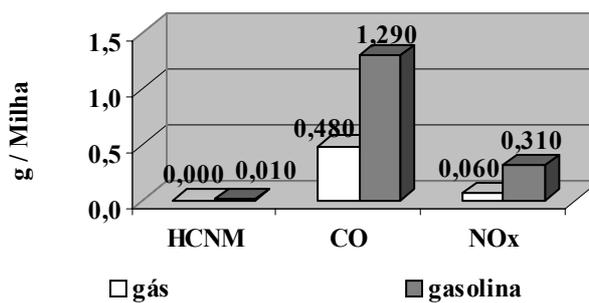


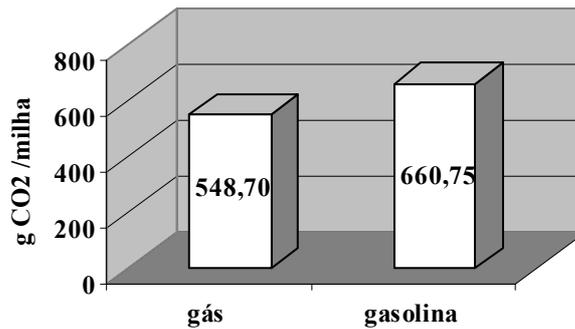


Fonte: Department of Energy, 2000.

O Sedan médio produzido pela Honda é fabricado desde 1998 para a utilização exclusiva do gás ou da gasolina, não tendo uma versão bi-combustível. Por ser um veículo dedicado foram feitas mudanças para um melhor aproveitamento do gás, entre as quais podemos mencionar o aumento da taxa de compressão do motor e a utilização de um catalisador de três estágios específico para o gás. O Honda Civic a gasolina já é um veículo de baixos índices de poluição, mas a sua versão a GNV foi concebida para atingir um patamar de emissão 90% mais baixa do que a permitidas pela lei, ou seja, para ser um SULEV

Figura 20 Emissões de escapamento do Ford F-250

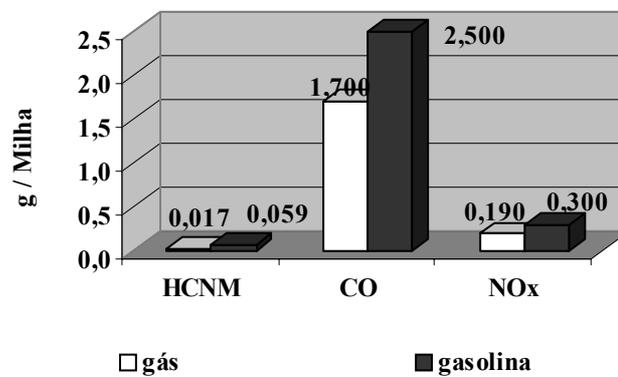




Fonte: Department of Energy, 2000.

Desde 1997 a Ford vem produzindo as suas Pick Up da série F com motores dedicados para GNV. O motor da Pick Up foi adaptado para um melhor aproveitamento do GNV. Assim, mudanças na utilização de um coletor de admissão feito em alumínio, variações nas sedes das válvulas e a utilização de um tanque de combustível apropriado para o gás, foram feitas.

Figura 21 Emissões de escapamento do Chrysler Dodge Ram Van/Wagon



Fonte: Department of Energy, 2000.

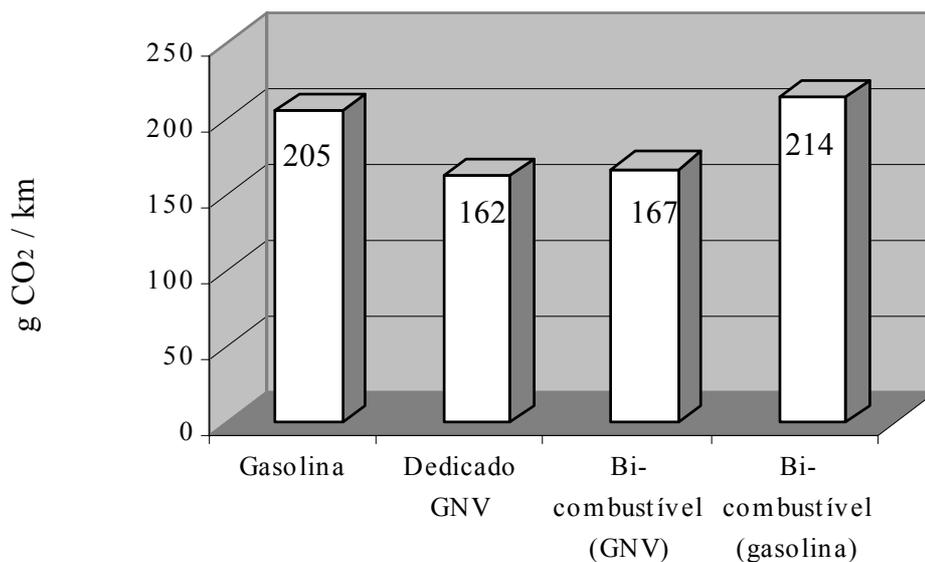
Tanto a Dodge Ram Van quanto a Wagon foram desenhadas para viajar com um enorme número de passageiros, chegando a carregar de oito a quinze pessoas. Visando a ter um carro que seguisse algumas das leis locais dos EUA, além de possuir certos benefícios, a Chrysler criou seu automóvel dedicado a GNV. Possuindo um motor de 5.2 litros adaptado para o gás, esse veículo pode percorrer de 200 a 300 milhas, além de poluir muito pouco e se classificar como um veículo

ULEV. Não houve modificação do motor a gasolina para o motor a GNV. Ele opera ainda com as mesmas especificações.

Por outro lado, a FIAT oferece o seu veículo modelo Multipla em duas versões. A versão bi-combustível (Bipower) e a versão dedicada a gás (Blupower).

A autonomia da versão Blupower CNG é de cerca de 600 km (tanque de 214 litros de capacidade) e cerca de 450 km com gás natural para a versão Bipower (tanque de 164 litros de capacidade). O projeto é bastante especial, já que inclui três assentos paralelos na frente e o chassi do veículo foi projetado de modo que 4 cilindros de gás com volume total de 214 litros podem ser montados sob o piso sem invadir o compartimento do passageiro. Esse é um projeto único para carros de passageiros.

Figura 22 Emissões de CO₂ do Fiat Multipla nas suas diferentes versões



Fonte: FIAT, 2002

3.4 O veículo convertido: aspectos técnicos.

Um **veículo convertido** é aquele que, depois de ser desenhado, produzido e certificado para operar com um combustível determinado (geralmente gasolina), é alterado para trabalhar com um outro tipo de combustível. Este tipo de veículo, após a conversão, pode ser (1) dedicado, isto é, pode operar apenas com o combustível alternativo ou pode ser (2) bi-combustível, isto é, pode andar tanto com o combustível original como com o alternativo, mas não com os dois combustíveis simultaneamente.

A conversão do veículo implica remover, alterar e substituir componentes do sistema de combustível através da implementação de um equipamento de conversão que é chamado “kit de conversão”.

3.4.1 Tipos de Kit de conversão

Existem, basicamente, duas formas de alimentar um motor com o gás natural: um controle mecânico ou um controle eletrônico do combustível. Segundo a International Association of Natural Gas Vehicles, dependendo do tipo de sistema de alimentação do combustível, o kit de conversão pode ser enquadrado nas seguintes categorias.

- Kits de conversão de 1ª Geração (Regulagem mecânica do combustível, sem controle em malha fechada).
- Kit de conversão de 2ª Geração (Regulagem mecânica do combustível + controle de λ em malha fechada ou injeção de combustível, sem controle em malha fechada).
- Kit de conversão de 3ª geração (Injeção de combustível e controle em malha fechada)
- Kit de conversão de 4ª geração (Injeção de combustível e controle em malha fechada + compatibilidade com o sistema OBD)

Paralelamente para a gasolina podemos classificar os sistemas de alimentação do combustível em:

- ✓ Sistemas com carburador (1ª Geração)
- ✓ Sistemas com injeção de combustível (2ª Geração)
- ✓ Sistemas com Injeção de combustível e sistema de controle eletrônico em malha fechada (3ª Geração)

Convencionalmente, os motores com regulagem mecânica utilizam um venturi ou dispositivo similar para a medida do combustível injetado. Em sistemas totalmente mecânicos, o valor de λ varia de acordo com as condições de marcha do motor e das condições ambientais como temperatura, umidade, pressão do tanque, etc.

3.4.1.1. Kits de conversão de 1ª Geração

A característica principal deste tipo de kit é a regulagem manual e sua implementação em veículos carburados. O sistema de alimentação do gás é feito por um redutor de pressão de três estágios e a alimentação principal do gás natural é feita por pressão negativa (depressão do coletor) e acionamento pneumático da liberação do fluxo de gás natural. Os kits para veículos carburados possuem uma regulagem da vazão do gás natural exclusivamente mecânica (manual) e chave comutadora com três estágios.

Muitas vezes, este tipo de kit é chamado pelo mercado de kit de 2ª geração, mas, a rigor, é um kit de 1ª geração já que, o controle de combustível é totalmente mecânico.

3.4.1.2 Kits de conversão de 2ª Geração

Os kits de 2ª geração surgiram como um aprimoramento da geração precedente, com a instalação de um motor de passo ou um modulador de pressão, para que o controle da quantidade de gás admitido pelo motor fosse mais preciso. Este kit se diferencia dos de 3ª geração pela ausência de controle eletrônico da injeção de combustível. Esta geração de kit é adequada para veículos com tecnologia mais antiga, não sendo

adequadas aos veículos com injeção multiponto e controle em malha fechada. Esta geração de kit não tem uma participação expressiva no mercado nacional.

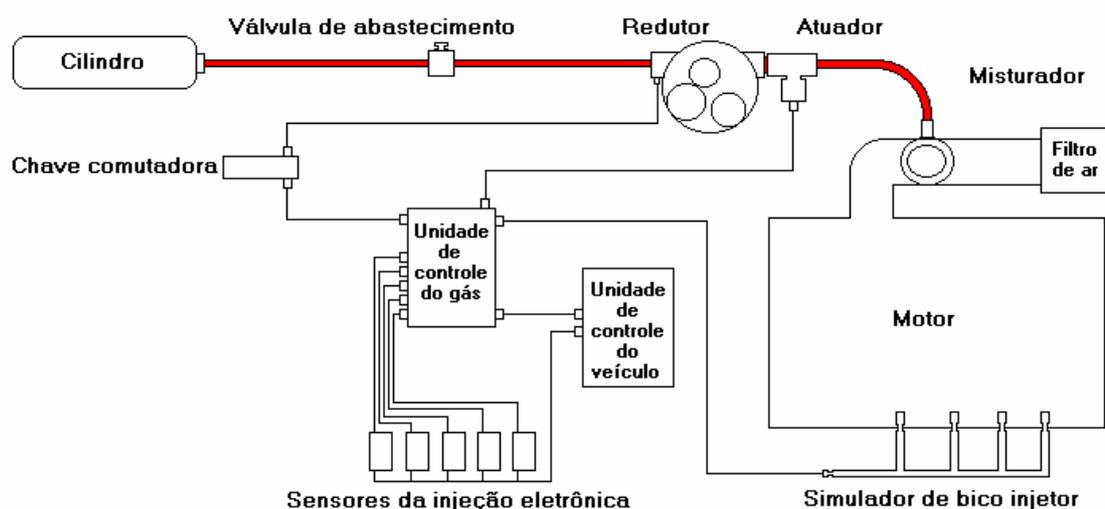
3.4.1.3. Kits de conversão de 3ª Geração

A característica principal deste tipo de kit é o acionamento eletrônico com monitoramento de alimentação, microprocessador da estequiometria e sua implementação é própria para veículos com injeção eletrônica e catalisador.

O sistema de alimentação do gás é feito por um redutor de pressão de três estágios, com acionamento eletrônico da liberação do fluxo de gás natural. A regulagem da vazão do gás natural, com pressão positiva para marcha lenta e pressão negativa para médias e altas rotações, é comandada eletronicamente por um processador que comanda atuadores em malha fechada, em função do sinal de sonda lambda.

Estão incluídos nesta geração tanto sistemas com injeção de gás monoponto (uma única mistura é admitida para todos os cilindros) e sistema de injeção de gás multiponto. A injeção de gás multiponto seqüencial constitui o topo de linha desta geração. Os sistemas de 3ª geração, cuja principal característica é o controle eletrônico total do motor, têm um desempenho e precisão muito superiores aos dos sistemas mecânicos convencionais. No Brasil, este tipo de kit de conversão para gás constitui a melhor tecnologia disponível no mercado. A seguir são apresentados os principais componentes e o seu princípio de funcionamento (Figura 23).

Figura 23 Princípio de funcionamento de um kit de conversão



Em um kit de conversão com regulagem eletrônica da vazão do gás, o GNV é armazenado no veículo num cilindro metálico, colocado, geralmente, no porta-malas. Quando o veículo entra em funcionamento, o gás armazenado é enviado ao redutor através da tubulação de alta pressão. O redutor reduz a pressão que vem do cilindro de 200 Bar para, aproximadamente, 1 Bar. Saindo do redutor, o GNV passa pelo atuador, que controla a vazão de gás que abastecerá o coletor de admissão do motor, para uma melhor mistura ar/combustível. Finalmente, o GNV passa por um misturador ou bico injetor, que faz o GNV entrar em contato com o ar aspirado pelo motor e fluir para a câmara de combustão do motor, onde sofre ignição, para criar a força necessária para mover o veículo.

A chave comutadora tem a função de selecionar o combustível a ser utilizado, cortando ou liberando o fluxo do gás, para que os dois combustíveis não se misturem. Quando o veículo convertido possui injeção eletrônica, é possível a utilização de uma unidade de controle para haver uma melhor mistura ar/combustível.

Os principais componentes que formam um kit de conversão são:

✓ **Válvula do Cilindro**

A válvula do cilindro é responsável por grande parte da segurança do kit e incorpora três sistemas: (1) sistema de excesso de fluxo, que impede a saída de gás do cilindro com uma vazão superior à projetada (muito importante no caso de ruptura do tubo de alta pressão); (2) sistema de excesso de pressão, que alivia a pressão interna do cilindro evitando sua ruptura e (3) sistema de fechamento total do gás.

✓ **Caixa Estanque**

A caixa estanque é fechada hermeticamente ao redor da válvula do cilindro e orienta eventuais vazamentos e alívios de pressão para o exterior do veículo.

✓ **Suporte**

O suporte é responsável pela fixação do cilindro ao veículo e é fabricado em aço e projetado para resistir a oito vezes o peso do cilindro, conforme Norma NBR 11 353.

✓ **Cilindro**

O cilindro é fabricado em obediência às normas ISO-4705 e NBR 12790 - DOT 3AA e possui uma pressão máxima de abastecimento de 200 Bar. Algumas das marcas de cilindros presentes no mercado são: Cilbrás, Inflex, Mat-Incêndio e Orsky.

✓ **Válvula de abastecimento**

A válvula de abastecimento é responsável pelo abastecimento de gás natural do veículo e é instalada no compartimento do motor. Possui um sistema de retenção que não permite que o gás natural contido dentro do cilindro retorne. Na hora do abastecimento, a válvula de abastecimento permite que o bico de abastecimento se desconecte para não haver perda do combustível.

A válvula de abastecimento possui, também, uma tampa de segurança, que evita a penetração de sujeira que poderia causar futuros vazamentos, e um manete de fechamento rápido, que irá cortar a passagem do gás natural, isolando a tubulação de alta pressão e o cilindro dos demais componentes do sistema.

Alguns modelos apresentam uma trava que impede a passagem do gás da válvula de abastecimento até o redutor.

✓ **Manômetro**

O manômetro indica a pressão do gás natural contido no cilindro e no sistema com todas as válvulas abertas. Como o volume de gás natural guarda estreita relação com a pressão é possível verificar, aproximadamente, o volume de gás no cilindro segundo a leitura do manômetro.

✓ **Tubo de alta pressão**

O tubo de alta pressão é responsável pelo transporte do gás pelos componentes do sistema que trabalham com alta pressão (até 220 bar). Ele conduz o gás natural do cilindro até o redutor, passando pela válvula de abastecimento.

A tubulação de alta pressão é fabricada em aço trefilado sem costura, conforme as normas do INMETRO/ANBT e, ao contrário do que se imagina, é proibida no Brasil a utilização de ligas de cobre neste tipo de tubulação, devido à menor resistência em relação ao aço. A tubulação de alta pressão é instalada, em geral, por baixo do veículo.

✓ **Redutor de Pressão**

O redutor de pressão tem a função de reduzir a pressão do gás natural que vem do cilindro (aproximadamente 200 Bar), para que entre no motor à pressão atmosférica (aproximadamente 1 Bar). Esta redução é feita, geralmente, em três estágios de redução, de 200 bar até 4 bar e de 4 bar até 1.5. O terceiro estágio não reduz a

pressão, apenas libera o gás natural, em função da pressão negativa do coletor para alimentar o motor.

✓ **Atuador**

O atuador tem a função de regular a vazão de gás natural que vai para o misturador. No caso de veículos carburados a regulagem é feita manualmente, e em veículos com injeção eletrônica multiponto a regulagem é feita eletronicamente.

✓ **Tubulação de baixa pressão**

A tubulação de baixa pressão tem a função de conduzir o gás natural do redutor ao misturador, passando pelo atuador. A tubulação de baixa pressão deve ser feita de borracha específica para as condições de pressão e temperatura de trabalho.

✓ **Misturador**

O misturador funciona com o princípio de Venturi. Tem a função de formar a mistura ar/gás natural. Também serve para introduzir o gás no coletor e, posteriormente, na câmara de combustão. Existem vários tipos de misturadores, de acordo com o tipo de potência e cilindrada do motor. Assim, cada tipo de motor possui um respectivo modelo de misturador que irá assegurar uma boa mistura de ar/gás natural. Uma escolha adequada do tipo de misturador poderá garantir o funcionamento otimizado do sistema GNV, com perda mínima de potência, baixo consumo e bom funcionamento do motor, tanto a gás como a gasolina.

✓ **Variador de avanço**

O variador de avanço é classificado como uma peça opcional em alguns tipos de kits no mercado. O variador de avanço é um dispositivo que modifica o avanço de ignição original do motor durante o funcionamento a GNV, retomando o avanço original quando se utiliza o combustível original. Este componente processa informações recebidas da unidade de comando da ignição eletrônica, ajustando o ponto de ignição em função da rotação (aumenta o ângulo de avanço original entre

de 30 e 15°), pois a velocidade de propagação da chama, em uma mistura ar-gás, é muito mais lenta do que na mistura ar-gasolina.

✓ **Eletroválvula do gás**

A eletroválvula do gás corta o fornecimento de gás para o veículo quando o combustível original é selecionado na chave comutadora ou quando a chave se encontra na posição neutra em veículos carburados.

✓ **Eletroválvula da gasolina**

A eletroválvula da gasolina serve para cortar o fornecimento de gasolina para o motor quando o motorista aciona o gás na chave comutadora. A eletroválvula da gasolina somente é encontrada em veículos carburados ou com injeção eletrônica monoponto, pois nos veículos com injeção eletrônica multiponto o simulador de bico injetor tem a função de cortar o fornecimento de gasolina para o motor.

✓ **Emulador ou simulador de bico injetor**

O simulador de bico injetor somente é utilizado em veículos com injeção eletrônica multiponto e tem duas funções. Serve para impedir que os bicos injetores injetem gasolina e para retornar o sinal de funcionamento do bico injetor para a central de comando, de forma que essa comprove que os bicos injetores estejam funcionando perfeitamente. Desta forma, a central de comando eletrônico não acusa problema no funcionamento dos bicos quando o veículo está rodando com gás.

3.4.1.4 Kits de conversão de 4ª Geração

Esta geração de kit, além de contar com o controle eletrônico total do sistema de combustível, é totalmente compatível com o sistema OBD, atualmente exigidos, tanto na Europa quanto nos EUA, para veículos à combustível líquido. A abreviação OBD vem do inglês on-board diagnostics. OBD é um sistema de diagnóstico que detecta o mau funcionamento do motor e do sistema de exaustão. Um sistema OBD é projetado para detectar comportamentos adversos no sistema de gerenciamento do

motor, o qual causa aumento das emissões acima da faixa que o veículo foi projetado durante sua vida útil. A faixa de emissões é constantemente testada e uma luz indicadora de mau funcionamento, localizada no painel do veículo, acenderá se as emissões ultrapassarem 1,5 vez a emissão padrão aplicável. A intenção é prover um monitoramento contínuo do desempenho do sistema de controle de emissões, e as falhas podem ser detectadas tão logo que ocorram, e o veículo continuará obtendo desempenho satisfatório de emissões durante toda sua vida útil.

3.4.2 Kit de conversão e as fases do PROCONVE

As gerações dos kits acompanham também as Fases do PROCONVE e a redução nas emissões, conforme se observa na Tabela 9. Os kits de diferentes gerações dependem diretamente do sistema de gerenciamento de combustão em que são implantados.

A Tabela 9 mostra a comparação entre os sistemas de gerenciamento da combustão dos veículos a gasolina/álcool e os indicados para veículos a gás natural conforme cada fase do PROCONVE. Atualmente encontram-se disponíveis no mercado brasileiro, kits de conversão de até terceira geração.

Tabela 9 Sistemas de gerenciamento da combustão & fases do PROCONVE

PROCONVE Ano/Modelo	FASE I 1988	FASE II 1992-1996	FASE III 1997 em diante
CO g/km	24	12	2
HC g/km	2,1	1,2	0,3
NOx g/km	2,0	1,4	0,6
Aldeídos g/km	-	0,15	0,03
Geração	Primeira	Segunda	Terceira
Sistema de gerenciamento da combustão de veículos Gasolina	Carburador Mecânico	Carburador eletromecânico, injeção eletrônica analógica ou digital, com ou sem catalisador.	Injeção eletrônica digital operando closed-loop com catalisador de 3 vias
Sistema de gerenciamento da combustão de veículos convertidos a GNV	Redutor +Dosador Manual +Venturi calibrado	Redutor +Motor de Passo + Venturi Calibrado + Controle de λ	Redutor +Motor de Passo + Venturi Calibrado + Closed Loop Total (λ , RPM) + catalisador. Sistemas Injetados.

3.5 Veículos a gás natural: aspectos econômicos

Os custos dos veículos a gás natural (VGN) variam conforme seja o veículo movido apenas a gás natural ou a gasolina convertido. Os VGN originais são mais caros do que os similares a gasolina, ambos vendidos pelas montadoras. A Daimler-Crysler, por exemplo, cobra cerca de US\$ 4000 a mais por seus veículos leves a gás natural do que pelos modelos somente a gasolina. A General Motors cobra aproximadamente US\$ 3700 mais do que um veículo a gasolina. No entanto, esses números podem variar, dependendo do veículo e do número de cilindros de combustível. Com mais veículos sendo lançados no mercado, espera-se que este diferencial de custo venha a cair sobretudo porque, apesar do custo da tecnologia de GNV ser maior que a de veículos convencionais, o preço menor do gás natural oferece uma vantagem econômica a longo prazo.

No Brasil, a vantagem financeira de se converter um veículo a gasolina para gás é grande, chegando a 70% de economia para o usuário final em função do diferencial de preços entre GNV e gasolina. Esta é, sem dúvida a principal razão para a elevada taxa de crescimento das conversões ocorrida nos últimos anos. Atualmente, o preço de conversão do veículo para o uso do gás natural varia entre US\$ 857 e US\$ 1300². Esta faixa depende de vários fatores, como o tipo de veículo, tipo de kit a ser implantado, número de tanques de combustível e custo de mão de obra.

A economia obtida com o custo do combustível é acrescida às economias decorrentes de um menor desgaste de velas e um maior intervalo entre trocas de óleo lubrificante. Podemos dizer que para um usuário que rode em média 250 km/dia durante 22 dias no mês, o investimento inicial em conversão, por exemplo se fosse de R\$ 3000,00, poderá ser amortizado entre 5 e 6 meses.

A Tabela 10 apresenta comparativamente a economia por quilometro rodado do uso de gás natural comparado à gasolina em veículos leves.

Tabela 10 Economia por quilometro rodado no uso de gás natural & gasolina.

Modelo	Consumo Gasolina (km/L)	Consumo GNV (km/Nm³) ***	Custo por Km rodado Gasolina (R\$/km)	Custo por Km rodado GNV (R\$/km)	Economia por Km (R\$/km)
Kombi 1.6*	7,8	9,4	0,22	0,08	0,14
Quantum 1.8*	10,6	12,7	0,16	0,06	0,10
Blazer 2.2**	7,2	8,6	0,24	0,09	0,15
Popular**	12	14,4	0,14	0,05	0,09
Teórico	X	Y	1,715/X	0,766/Y	(1,715/X) (0,766/Y)

Fontes:

*O consumo médio de gasolina dos modelos Volkswagen, Kombi e Quantum, foram obtidos junto à montadora.

**O consumo médio do modelo Blazer 2.2 e o consumo genérico dos populares foram obtidos através de uma consulta a uma gama de revendedoras.

***O consumo médio de GNV foi obtido através de um fator comum fornecido pelas convertedoras, em que autonomia dos veículos a GNV, em km/Nm³, é 20% maior que a Gasolina, em km/L.

3.6 O veículo convertido pelo usuário final no contexto brasileiro

No Brasil, quase 100% dos veículos a gás são bi-combustíveis (gasolina/gás natural comprimido) e foram convertidos pelo usuário final nas chamadas oficinas convertedoras. Conforme foi explicado anteriormente, a conversão é feita mediante a implementação de um sistema a gás que é frequentemente chamado “kit de conversão”.

No Brasil, independentemente da marca e do tipo de sistema de GNV, a norma NBR11353, bem como os Regulamentos Técnicos RTQ 33 e 37 do INMETRO e a Resolução No. 291 do CONAMA definem os requisitos indispensáveis para a instalação dos componentes mecânicos e elétricos utilizados na conversão de veículos leves.

² 1US\$ = 3,5 Reais

A sistemática atual de homologação das oficinas de conversão contempla uma inspeção inicial e outra após um ano. No entanto, este procedimento não tem qualquer tipo de fiscalização, o que faz com que muitas empresas de conversão (oficinas de conversão) não mantenham o mesmo padrão de instalação, utilizando muitas vezes, componentes de péssima qualidade. Em termos de certificação, encontra-se em vias de aprovação um novo regulamento técnico do INMETRO, que estabelecerá os requisitos de segurança para a fabricação destes componentes.

Existe uma enorme vantagem tecnológica dos veículos com OEM, em comparação aos veículos convertidos pelo usuário final. É por este motivo que em países como os EUA e Japão, praticamente não existe o programa de conversão de veículos usados para gás natural, pois o rigor da homologação e os níveis exigidos de emissões só podem ser atendidos mediante projetos específicos desenvolvidos pelos fabricantes.

Apesar da tecnologia de veículos OEM dedicados a gás natural existir em a nível internacional, esta tecnologia ainda não está disponível no mercado brasileiro o que poderia ser apontado, além do fator econômico, como uma das causas do crescimento acelerado do mercado de conversões fora da montadora.

Neste sentido, a tecnologia de funcionamento de um veículo a gás no Brasil, esta sendo explorada pelos fabricantes, importadores de kits de conversão e convertedores de veículos, os quais, na maioria dos casos, não dispõem da tecnologia, infraestrutura e mão de obra qualificada para este fim. O investimento e a qualidade que as montadoras brasileiras poderiam proporcionar para o desenvolvimento de veículos com combustíveis alternativos é muito maior do que atualmente oferecida pelas oficinas convertedoras, que, em geral, têm sido motivadas apenas pelo benefício econômico.

É importante mencionar que, atualmente, está sendo testado o novo kit desenvolvido pela Rodagás, que deverá ser implementado no Astra bi-combustível da General

Motors³ e que tem previsão de saída em série para o segundo semestre de 2002. Este tipo de veículo bi-combustível não foi desenvolvido pela montadora e sem pelo fabricante do Kit. De qualquer modo, este será o primeiro veículo bi-combustível (álcool/gás) convertido com garantia da montadora no Brasil⁴. No entanto, mesmo existindo esta tecnologia, se o uso do veículo dedicado a gás ou bi-combustível gasolina/gás não for promovido de forma comercialmente competitiva, muito provavelmente as conversões fora da montadora continuarão existindo.

Apesar da existência de normas, regulamentos e resoluções que balizam a utilização do GNV mediante uma conversão, a falta de articulação entre os diversos agentes envolvidos, a pouca preocupação com o desenvolvimento de tecnologia nacional e a falta de fiscalização, leva à realização de conversões com utilização de componentes inadequados ou reutilizados, uso de mão de obra desqualificada e regulagem inadequada do veículo convertido no país.

Infelizmente, a maioria das conversões realizadas até o momento, não leva em consideração nenhuma preocupação com qualidade, segurança e limitação das emissões de escapamento do veículo convertido. As causas apontadas para isto poderiam ser a falta de informação e, principalmente, o apelo econômico, que leva tanto a oficina convertidora como o usuário final à implementação de kits de conversão não compatíveis com a tecnologia do veículo convertido. Frequentemente, o veículo, após a conversão, continua rodando sem uma regulagem adequada do sistema de ignição. Quase 90% das conversões de veículos foram realizadas mediante a instalação de sistemas a gás com regulagem manual da vazão do gás, mesmo tratando-se veículos com tecnologia de injeção multiponto e catalisador de três vias. Isto poderia provocar um impacto enorme, tanto na segurança como na emissão de gases de escapamento do veículo convertido. Neste sentido, o capítulo cinco tem o objetivo de verificar o verdadeiro impacto na emissão de gases de escapamento da conversão de veículos leves para gás natural no contexto brasileiro.

³ Este kit funciona com injeção direta e seqüencial de gás e nele se encontram presentes quatro bicos injetores de GNV

⁴ .Entrevista pessoal na Rodagás, agosto 2002.

CAPÍTULO IV MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO NO SETOR VEICULAR

4.1 Resumo

O presente capítulo pretende familiarizar o leitor com os conceitos relativos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), aplicados ao setor veicular.

O conceito e objetivo do MDL são descritos focalizando a importância da formação da linha de base na avaliação da adicionalidade dos projetos sob o mesmo. Em seguida é apresentado um resumo dos principais acordos internacionais tomados pelas partes e o seu estágio atual no que diz respeito à contabilização das Unidades de Redução da Emissão (URE).

Finalmente, as principais dificuldades na formação de linhas de base e os poucos antecedentes da implementação de projetos veiculares sob o MDL identificam a implementação destes tipos de projetos (do setor veicular) como uma prática ainda pouco explorada.

4.2 O mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

Em dezembro de 1997, a COP-3 da UNFCCC reuniu-se em Quioto, Japão, e adotou o Protocolo de Quioto, que determina os limites de redução de emissão de GEE¹ para nações individuais. O Protocolo de Quioto determina o compromisso quantificado de limitação ou redução da emissão que cada país, deve atingir, sendo que este objetivo de redução, varia de país para país, com reduções de pelo menos 1% baseadas nos níveis de 1990 para todos os países desenvolvidos, e com uma redução um pouco mais flexível para as economias em transição.

¹ Os GEE que são considerados no Protocolo de Quioto são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) o hexafluoreto de enxofre (SF₆) e as famílias dos perfluorcarbonos (compostos completamente fluorados, em especial perfluorometano CF₄ e perfluoretano C₂F₆ e hidrofluorcarbonos (HFCs)).

Estes limites deverão ser atingidos durante o período de 2008 a 2012 e o Protocolo será legalmente obrigatório quando 55 países, respondendo por , pelo menos, 55% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) dos países industrializados em 1990, tiverem assinado e ratificado o acordo. Desde março de 2001, 84 países, incluindo os EUA, assinaram o Protocolo e 33 promoveram a ratificação. O Brasil, os países da União Européia, Japão e China, já ratificaram o Protocolo.

Apesar de o Protocolo não apontar como cada nação deve atingir suas metas de redução, três mecanismos foram criados com a finalidade de viabilizar a redução das emissões de GEE no mundo, sendo que os mais representativos são o **Mecanismo de Implementação Conjunta (IC)** e o **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)** sendo este último o único que permite envolvimento de países em desenvolvimento.

O mecanismo de IC envolve projetos executados entre dois ou mais países com metas de emissão legalmente obrigatórias. Este grupo de países é chamado de “grupo de países do Anexo I” e é formado, principalmente, por países industrializados e alguns outros com economias em transição.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo foi definido no Artigo 12 do Protocolo de Quioto como um projeto executado entre um país industrializado e um em desenvolvimento. No entanto, projetos de MDL também podem ser realizados unilateralmente por parte de um país em desenvolvimento.

O MDL tem como objetivo “assistir às Partes não incluídas no Anexo I da Convenção para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam com o objetivo final da Convenção de prestar assistência às Partes incluídas no Anexo I, para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões” (Protocolo de Quioto, 1999).

O conceito de MDL surgiu da combinação de duas idéias: o novo fundo de desenvolvimento limpo, proposto inicialmente pelo Brasil, e o plano de implementação conjunta entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Atualmente espera-se que os projetos de MDL proporcionem financiamento e tecnologia aos países em desenvolvimento e ajudem aos países industrializados a cumprirem seus compromissos de redução de emissões. Um dos principais requisitos de um projeto MDL é o de aumentar as metas de desenvolvimento sustentável do país anfitrião que, normalmente, será o país em desenvolvimento.

Segundo o artigo 12 do Protocolo, os projetos de MDL também devem resultar em reduções de emissões reais e mensuráveis i.e. **adicionais** de GEE; constatada esta redução, os projetos de MDL ganham certificados de redução de emissão (CRE), que serão acumulados pelos países industrializados de modo que possam cumprir suas metas de redução de emissões.

Os CRE são unidades verificadas e autenticadas de redução de GEE de projetos de mitigação e serão emitidos depois de uma avaliação feita, primeiro, pelo órgão competente em cada país (no Brasil é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima) e, a seguir, pelo órgão executivo do MDL, de modo a garantir o controle do Governo sobre os projetos requerentes ao MDL, evitando que estes se sobreponham à soberania Nacional.

Durante a Quarta Conferência das Partes (COP 4), realizada em Buenos Aires, em 1998, foram iniciados os trabalhos de regulamentação do Protocolo de Quioto e, na ocasião, foi estabelecido o Plano de Ação de Buenos Aires, que estipulou o ano 2000 como data limite para que fossem colocados em prática os principais regras e questões técnicas.

No entanto, as primeiras regulamentações referentes ao MDL foram estabelecidas somente na sessão reconvocada da COP 6 realizada em Bonn – Alemanha e

foram finalizadas na Sétima Conferência das Partes (COP 7), realizada em 2001, em Marrakech, Marrocos.

A seguir são resumidos os principais acordos celebrados até o momento, pelas partes, no que diz respeito à contabilização dos CRE:

- ✓ Foi definido o critério de **adicionalidade**, segundo o qual toda atividade de projeto de MDL é adicional se consegue reduzir as emissões antrópicas de GEE para níveis inferiores aos que teriam ocorrido na ausência da atividade de projeto do MDL registrada.
- ✓ Foi definido o critério de complementaridade, segundo o qual o uso dos mecanismos deve ser complementar à ação doméstica e deve, portanto, constituir um elemento significativo ao esforço feito por cada país desenvolvido para atingir seu compromisso de redução e/ou limitação de GEE.
- ✓ Foi definido o critério adicionalidade econômica, segundo o qual, fundos públicos de países desenvolvidos para projetos de MDL não devem resultar em redução da assistência oficial para desenvolvimento e devem ser separados e não contabilizados nas obrigações financeiras destes países.
- ✓ Com relação ao uso da energia nuclear, foi definido que os países desenvolvidos devem abster-se de usar certificados de redução de emissão gerados por instalações nucleares para atingir suas metas de redução.
- ✓ Foram definidos os projetos de pequena escala como os projetos de energia renováveis, com capacidade máxima de produção equivalente de até 15 Megawatts; 2) projetos de melhoria da eficiência energética, que reduzam o consumo de energia do lado da oferta e/ou da demanda, até o equivalente a 15 Gigawatt/hora por ano; e 3) outras atividades de projeto que tanto reduzam emissões antrópicas por fontes quanto emitam, diretamente, menos do que 15 quilotoneladas equivalentes de dióxido de carbono por ano.

- ✓ Foi definido que a metodologia de linha de base deve ser específica para o projeto e deve levar em conta limites, fugas, circunstâncias nacionais e políticas setoriais e que pode ser calculada como:
 - ✓ Emissões atuais ou históricas existentes,
 - ✓ Emissões de uma tecnologia que representa uma alternativa atrativa, considerando as barreiras para o investimento, ou
 - ✓ Emissões médias de projetos similares realizados nos cinco anos anteriores, em circunstâncias sociais, econômicas, ambientais e tecnológicas semelhantes e cujo desempenho esteja entre os primeiros 20 por cento de sua categoria.

- ✓ Foi definido que o período de crédito dos projetos de MDL será, no máximo, de sete anos, com duas renovações, desde que a linha de base original do projeto seja ainda válida ou atualizada considerando a existência de novos dados com um máximo de dez anos, sem opção de renovação.

- ✓ Os participantes deverão submeter à entidade operacional a documentação sobre a análise de impactos ambientais do projeto, incluindo os transfronteiriços, se considerados significativos pelos participantes ou pelo país.

- ✓ Todas as unidades de emissão obtidas com os três mecanismos de flexibilidade foram definidas como fungíveis i.é, podem ser transferidas livremente, ou seja, todas as unidades são consideradas da mesma forma. Isto torna os mecanismos mais viáveis e aumenta as oportunidades para o custo-efetividade.

- ✓ Foi criada uma nova Unidade de Remoção (URM) para representar os créditos de sumidouros gerados nos países do Anexo I (incluído através do JI).

- ✓ Foi permitido o MDL unilateral, o que autoriza um país não Anexo I a desenvolver um projeto de MDL sem um parceiro do Anexo I e negociar os créditos de emissão resultantes.

- ✓ Foi determinado que o Conselho Executivo do MDL deverá aprovar as metodologias para linhas de base, monitorar os planos e limites dos projetos, credenciar entidades operacionais; e desenvolver e manter o registro de MDL.

- ✓ Os projetos que desejem ser elegíveis para validação e registro no MDL deverão ser submetidos para registro até 31 de Dezembro de 2005. No entanto, o período de contabilização dos créditos pode começar antes do registro, no entanto, após 1º de Janeiro de 2000.

O governo brasileiro foi o primeiro dos países em desenvolvimento a estabelecer uma Comissão Interministerial sobre Mudança do Clima (em 7 de Julho de 1999). O decreto estabelece que a comissão será a autoridade nacional designada para aprovar os projetos considerados elegíveis do MDL.

4.3 Linhas de base para projetos sob o MDL

Todo projeto de MDL é adicional se consegue reduzir as emissões antrópicas de GEE para níveis inferiores aos que teriam ocorrido na ausência da implementação do projeto de MDL registrado. Assim, a adicionalidade de um projeto é avaliada comparando as emissões do projeto com as emissões de um cenário de referência ou linha de base. Se o projeto proposto tem uma emissão abaixo da linha de base, então pode ser considerado adicional. De forma que, a linha de base de um projeto de MDL ou IC é uma hipótese que representa a melhor suposição possível a respeito do curso futuro dos eventos, que nunca ocorrerão se um projeto de MDL for executado e, conseqüentemente, nunca poderá ser inteiramente verificado após o fato.

Segundo o Acordo de Marrakesh, somente projetos cujas emissões sejam mensuráveis são passíveis de qualificação para o MDL. Para tanto, as emissões de GEE monitoradas e reais do projeto de IC ou de MDL são comparadas à linha de base previamente fixada, e a diferença entre as duas fornece a quantidade de Unidades de redução da emissão (URE) elegíveis para serem transferidas de uma parte ou de uma entidade legal para outra.

É interessante observar que uma linha de base ou cenário de referência com altos níveis de emissões é atraente tanto para os financiadores do projeto, uma vez que estes poderão obter maiores quantidades de créditos como também conveniente para o país anfitrião já que proporcionará uma maior facilidade de atrair projetos MDL. Devido aos benefícios do **estabelecimento de um cenário de referência deste tipo, existe o risco de se superestimar a projeção da linha de base**, com a conseqüente criação de créditos artificiais de redução de emissões, o que levaria ao desvio do objetivo original da Convenção do Clima. **Conseqüentemente, o método usado para o desenvolvimento da linha de base tem um impacto definitivo na determinação da adicionalidade ambiental e na medida de benefícios dos projetos MDL.**

Desenvolver uma linha de base de projeto requer predizer o curso hipotético dos eventos que provavelmente ocorreriam na ausência do projeto; quando tais predições são baseadas na análise cuidadosa de tendências atuais e históricas, são, provavelmente, exatas no curto prazo. Entretanto, quanto mais se extrapola a linha de base para o futuro, maior a possibilidade de que as predições da linha de base difiram do curso real dos eventos. O uso de linhas de base impróprias ou antigas pode resultar na aceitação dos projetos de CDM que não são adicionais e na concessão de URE que não reflita reduções reais de emissões de gases estufa. (Catherine Leinig & Ned Helme, 2000)

Por tanto, existe um iminente desafio em definir uma linha de base representativa para cada projeto. Neste sentido, o presente trabalho pretende colaborar nas

discussões referentes à elaboração da linha de base para projetos veiculares que envolvam frotas cativas.

4.4 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no setor veicular

Há muitas razões para o crescimento das emissões de gás carbônico do setor de transporte. No entanto, os seguintes dois fatores tem sido freqüentemente apontados na literatura como as principais dificuldades da redução das emissões de gás carbônico no setor de transportes:

- ✓ O setor de transporte está ligado a quase todas as outras atividades econômicas, de forma que uma ação que visa à redução de Gases do Efeito Estufa, têm maiores possibilidades de produzir efeitos secundários fora do seu objetivo principal (OECD, IEA, 2001)
- ✓ O setor de transportes usa um único combustível (o petróleo) de forma extensiva enquanto outros setores têm maior flexibilidade para escolher entre uma variedade de combustíveis (OECD, IEA, 2001). No Brasil a adição de 22% de álcool à gasolina gerou um combustível alternativo de elevada qualidade sob o ponto de vista ambiental.

Estes dois fatos fazem com que seja extremamente difícil estabilizar as emissões de GEE provenientes do setor de transportes enquanto a economia global e população estiverem crescendo. Uma maneira de resolver o problema é implementando o uso de combustíveis alternativos como são o álcool, gás natural, hidrogênio e outros.

Por outro lado, há muitas razões para se reduzir às emissões de gases de escapamento de veículos em veículos motorizados e o aquecimento global é somente uma e, provavelmente, não a mais importante causa do interesse. Freqüentemente, a redução da poluição urbana do ar é o interesse mais imediato. Assim, a redução das emissões de chumbo, material particulado, monóxido de

carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e outras emissões precursoras de ozônio, têm centralizado, muitas vezes, a atenção das políticas de mitigação.

Algumas estratégias de mitigação conseguem controlar eficazmente as consequências para a saúde pública, mas farão pouco, ou muito pouco, contra o Aquecimento Global.

Assim, por exemplo, enquanto as emissões de NOx e CH4 podem ser controladas com controles de emissões padrão e inspeção do veículo, tais controles são incapazes de controlar as emissões de CO₂. Em geral, a maioria dos países como Brasil e EEUU, têm feito maiores progressos na redução de emissões de chumbo, CO e particulados do que na Emissão de Gases Estufa.

Muitos autores² apontam as seguintes cinco alternativas como os principais caminhos para reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa no setor de transportes

(A).Mudar a eficiência do combustível dos veículos.

Isto significa mudar a eficiência do combustível dos veículos, sem mudar o tipo de combustível que os veículos usam. Embora aumentar a eficiência térmica do combustível de um veículo claramente requeira alguma forma de alteração física do veículo, há vários caminhos potenciais para chegar a este resultado. Estes incluem investimento direto para uma mudança física no design do veículo para melhorar eficiência da queima do combustível, como é o caso dos motores com injeção eletrônica, ou veículos com formato mais aerodinâmico.

Outros exemplos são: renovação de frotas de veículos, incentivos econômicos diretos para veículos com tecnologia mais eficiente como programas de taxaçoão ou incentivos econômicos indiretos.

² IPCC, 2001.

(B) Mudar o tipo de combustível dos veículos.

Por exemplo, investir diretamente no desenvolvimento e comercialização de veículos com combustível alternativo ou aplicar incentivos econômicos diretos e indiretos para a compra destes veículos como um sistema de taxaço, subsídios na compra de veículos com combustível alternativo, ou impostos e subsídios diferenciados para os diferentes tipos de combustíveis. Assim por exemplo, o uso de álcool como combustível automotivo reduz em quase 100% a emissão de CO₂ se comparamos o ciclo de vida do álcool proveniente da cana de açúcar com o da gasolina.

No Brasil a adição de 22% de álcool à gasolina trouxe reduções da ordem de 40% nas emissões de CO e da ordem de 35% nas emissões de HC e gerou um combustível alternativo de elevada qualidade sob o ponto de vista ambiental.

A disponibilidade do etanol hidratado e da mistura Gasolina C, no mercado nacional desde o princípio da década de 80, trouxe benefícios para o meio ambiente e para a saúde pública, destacando-se a redução drástica das concentrações de chumbo na atmosfera, visto que o etanol é também um anti-detonante substituto do aditivo a base de chumbo, totalmente retirado do combustível nacional desde 1991; desde então a gasolina manteve basicamente uma composição de entre 22% a 25% de álcool até os dias atuais. A evolução tecnológica e da legislação influenciaram também fortemente na redução das emissões provocadas por estes avanços (injeção eletrônica, PROCONVE, etc), já que a gasolina não sofreu mais alterações.

Tabela 11 Fatores médios de emissão de veículos leves em São Paulo (g/km)

Ano -Modelo	Combustível	CO	HC	NOx	RCHO
Pré 1980	Gasolina	54,0	4,7	1,2	0,05
1980-1983	Gasolina C	33,0	3,0	1,4	0,05
2001	Gasolina C	0,48	0,11	0,14	0,004

Fonte: CETESB, 2002.

(C) Trocar o modo de transporte para outro que seja menos intenso em relação aos GEE.

Troca do modo refere-se a mudanças na proporção de serviços de transporte fornecidos pelos meios diferentes (bicicleta, carro, ônibus, trem, etc. para transporte de passageiros e caminhão, trem, navio, etc. para transporte de carga) sem mudar as tecnologias e combustíveis dentro de cada modo. Investimentos específicos que contribuiriam para este tipo de mudança incluem aumento e melhora no serviço de transporte público para introduzir maior fluxo e a criação de mais centros de transporte de fretes intermodais. Política de incentivos que contribuam para que as pessoas troquem para meios com baixas emissões de gás estufa, inclui subsídios na transição, aumento do custo de estacionamento ou taxas de utilização das rodovias, taxando o transporte de frete através de modos diferentes, e implementando políticas de uso de terra que encorajem outros modos de se deslocar como caminhando ou andando de bicicleta.

(D) Reduzir a atividade de transporte (mudança nas distâncias absolutas que as pessoas/mercadorias percorrem)

Enquanto este for, conceitualmente, o mais direto dos modos para afetar emissões de gás estufa de transporte, é, frequentemente, o mais difícil de pôr em prática. Isto porque a redução da atividade de transporte exige que os indivíduos mudem de local. Alguns exemplos de tecnologias e políticas que poderiam produzir

reduções de atividade são a otimização nas logísticas para a entrega de bens, troca de mercadorias e cidades planejadas.

4.5 Efeitos colaterais e de interação

Na hora de implementar uma das alternativas acima mencionadas, com a finalidade de reduzir a emissão de GEE, pode suceder a aparição dos efeitos colaterais, que afetam as emissões do projeto de CDM fora de seu objetivo principal.

O efeito colateral ocorre quando o projeto de CDM é implementado e não só ocorre a redução direta das emissões de GEE que é esperada, mas também podem ocorrer outros efeitos positivos ou negativos na emissão dos GEE que não são óbvios. Estes efeitos podem ser divididos em dois tipos: efeitos técnicos e econômicos.

- ✓ Efeito colateral econômico - Acontece quando um projeto causa uma mudança de preço que afeta a demanda de um bem que, significativamente, muda as emissões de gás estufa, mas a mudança de preço não era o objetivo principal do projeto. Um exemplo específico seria um projeto de troca de combustível no qual o combustível alternativo emite menos gases estufa por pessoa ou tonelada por quilometro percorrido, mas que custe o suficiente para que o preço do transporte caia (OECD, 2001).
- ✓ Efeito colateral técnico.- Acontece quando um projeto causa uma melhora ou uma piora na infra-estrutura física que não era o objetivo principal do projeto, mas isso altera emissões de gás estufa no sistema. Por exemplo, um projeto que converte ônibus a diesel para gás natural comprimido (CNG), poderia conduzir ao efeito colateral técnico de vazamento de metano adicional de dutos de gás natural, devido ao aumento do uso de gás natural. O aumento do uso de gás natural pode reduzir emissões de gás de estufa quando substitui gasolina ou combustível de diesel, mas o efeito de colateral do vazamento de

metano aumenta emissões de gás estufa. Um efeito de colateral técnico positivo aconteceria em um projeto de troca de combustível em que não só seriam menores as emissões no local de destino do combustível alternativo em comparação ao combustível convencional, como, também, durante o seu processamento (OECD, 2001).

Atualmente, vários modelos de ciclo de vida foram criados para modelar estes tipos de efeitos de colateral técnicos no setor de transporte, mas foram calculados com dados detalhados de países desenvolvidos. Estes modelos podem ser usados para entender melhor os efeitos de colaterais, mas, para usá-los realmente para calcular o tamanho de qualquer efeito particular em um país em desenvolvimento, dados locais precisariam ser coletados.

O efeito de interação acontece quando a redução do impacto da emissão de um gás de efeito estufa de um projeto for afetado por outros projetos simultaneamente implementados. Como existem cinco maneiras de afetar as emissões de gás estufa do setor de transporte, pode ocorrer a implementação de dois projetos simultâneos para alcançar a mesma meta. Por exemplo, uma região que visa à redução das emissões de gás de efeito estufa, tomando atitudes que conduzirão a uma troca do transporte individual (veículo leve) pelo transporte coletivo (ônibus, três, metro). A região considera a política de elevar o custo de dirigir através de pedágios crescentes em rotas comuns e o investimento em melhorias no serviço de transporte coletivo. Se a região implementa só a política ou somente faz o investimento, é provável que esta troca seja relativamente pequena. Porém, se a região for capaz de coordenar as duas estratégias para gerar um efeito de interação positivo, a mudança resultante pode ser significativa (OECD, 2001)

4.6 Dificuldade de implementação de projetos veicular visando a redução de Gases de Efeito Estufa.

No mundo, numerosos projetos e ações têm sido implementados para controlar e aliviar os problemas ligados a transportes, incluindo acidentes, congestionamentos

e poluição urbana do ar. No entanto, há pouca experiência internacional na implementação de projetos ligados a transporte visando, especificamente, à redução da emissão de GEE. A maioria das iniciativas de mitigação de GEE visa setores como a geração de energia, setor industrial, desenvolvimento de energia renovável, ou atividades de uso do solo e reflorestamento.

Assim, por exemplo, dos 144 projetos registrados como projetos pilotos de Atividades Implementadas Conjuntamente (AIC)³, apenas um é do setor de transporte. Este é conhecido como projeto RABA/IKARUS de ônibus a Gás Natural Comprimido, é financiado por investidores holandeses e está sendo desenvolvido na Hungria. O projeto envolve desenvolvimento e teste de um novo motor a GNC em novos ônibus utilizados para substituir 1500 ônibus diesel. Nos EUA existem algumas ações voluntárias para reduzir emissões no setor de transportes. Um exemplo são os 73 projetos de redução de emissão de GEE do setor de transporte, relatados ao Programa de Redução Voluntária de Gases Estufa. Um número pequeno, se comparado aos 435 projetos de geração de energia, transmissão e distribuição relatados no mesmo ano. Quase metade (47) desses projetos para transporte envolveram uso de veículos com combustíveis alternativos (AVF), sendo que 17 promoveram o uso de veículos a gás natural (VGN).

A pouca experiência e metodologias limitadas para quantificar, validar, monitorar, verificar e certificar reduções potenciais de emissões, os altos custos de transação

³ A UNFCCC introduziu o conceito de implementação conjunta (IC), que se refere a arranjos, através dos quais uma entidade em um país cumpre parcialmente seu compromisso doméstico de reduzir os níveis de GEE, financiando e auxiliando o desenvolvimento de um projeto em outro país. Para testar o conceito de IC, a Fase Piloto das Atividades Implementadas Conjuntamente (AIC) foi estabelecida na primeira Conferência das Partes para a UNFCCC (COP-1), realizada em Berlim em 1995. Projetos iniciados durante esta fase foram chamados "Atividades Implementadas Conjuntamente", para distingui-las dos projetos IC habilitados que a Convenção venha a permitir no futuro. A meta da Fase Piloto AIC deveria fornecer tecnologias avançadas e investimentos financeiros a países em desenvolvimento, ao mesmo tempo que permitiria que as nações industrializadas cumprissem sua parte do compromisso de redução com o menor custo. Por causa do status de piloto deste programa, ficou decidido que os projetistas não poderiam receber crédito ou outros incentivos financeiros para projetos desenvolvidos e aprovados como parte desta iniciativa.

associados ao desenvolvimento e, principalmente, às dificuldades na contabilização da linha de base dos projetos veiculares têm desencorajado a implementação de projetos no setor de transporte para participar no MDL. Porém, devido ao tamanho atual e o rápido crescimento projetado do setor, não considerar projetos do setor de transportes seria ignorar o maior potencial de redução de GEE.

4.7 Linha de base para projetos veiculares sob o MDL

Linhas de base desenvolvidas para projetos potenciais que sejam capazes de reduzir emissores de GEE em fontes estacionárias têm sido bastante estudadas por um grande número de organizações (como por exemplo: OECD, IEA, UNEP). No entanto, a formação de linhas de base para projetos veiculares são pouco exploradas.

Considerando que existem significativas diferenças entre linhas de base para cada categoria no setor de transportes, as seguintes recomendações foram dadas aos “formadores de linhas de base” pelos participantes da Conferencia Internacional sobre a formação de linhas de base (Risoe, maio 2001).

1º. Distinguir as categorias mais representativas do setor, que são:

- ✓ Projetos de substituição de combustíveis.
- ✓ Projetos de mudança da eficiência do combustível dos veículos.
- ✓ Projetos de mudança do modo de transporte para outro que seja menos intensivo.
- ✓ Projetos de redução da atividade de transporte.

2º. Cálculos de linhas de base podem ser procedentes da identificação de projetos típicos. Efeitos secundários devem ser significativos no setor de transportes e poderiam ser contabilizados de uma maneira padronizada.

3° A falta de dados no setor de transportes é significativa, motivo pelo qual bancos de dados de referência deveriam se desenvolver e disponibilizados ao público.

Em geral, três principais desafios técnicos têm sido identificados para a formação da linha de base:

- Deficiência nos dados históricos e atuais.
- Incerteza nos dados históricos e atuais.
- Incerteza nas projeções.

Estes desafios são comuns no desenvolvimento de bases de referência para projetos em todos os setores, mas eles são particularmente aguçados para o setor de transportes porque o consumo de combustível no setor de transporte e os dados de fatores de emissão e quilometragem média percorrida são fisicamente difíceis de coletar, devido à natureza altamente dispersa das emissões do setor.

Para encontrar o consumo ou emissões de uma fonte fixa, é normalmente possível instalar um medidor confiável para obter diretamente um ou ambos os valores. No entanto, fontes de emissão de Gases Estufa no setor de transporte são pequenas, numerosas, móveis e descentralizadas, de modo que a contabilização das emissões é, normalmente, pouco confiável.

Para calcular as emissões de dióxido de carbono do setor de transporte de uma determinada região é necessário possuir uma das seguintes relações de informações:

- A quantidade de cada tipo de combustível consumido para os meios de transportes propostos para uma dada região e um dado período de tempo.

OU

- O consumo dos veículos, o tipo de combustível consumido e as quilometragens percorridas em uma dada região e um dado período de tempo.

Se a primeira relação de informações é a disponível, as emissões de dióxido de carbono podem ser calculadas por simples multiplicação da quantidade de

combustível queimado pelo apropriado fator de conversão (CO_2/L) para aquele combustível. A obtenção das emissões globais de CO_2 , através da segunda relação é ligeiramente mais complexa, sendo a fórmula apropriada a seguinte:

$$\text{km percorrida} \times \text{Consumo (l/km)} \times \text{Fator de Emissão (gCO}_2\text{/l)}$$

Todos estes dados parciais são difíceis de medir precisamente em situações em que os veículos não estão em uma frota totalmente controlada. Informações sobre o consumo de combustível que em geral são obtidos de dados não medidos e sem recebido são sistematicamente subestimados, pois não são totalmente conhecidos os níveis significantes da taxa de evasão. Mesmo se o total consumo de combustível fosse precisamente determinado, a porção deste combustível que é utilizada nos transportes nem sempre é claramente separada dos outros usos finais. Diferenças entre as regiões, na política de obtenção dos dados tanto de combustíveis e veículos, assim como as diferenças entre os requerimentos exigidos por cada localidade, podem causar enormes distorções nos dados regionais de consumo e posse dos veículos.

Em algumas cidades, dados obtidos indicam que o número de veículos que lhes pertence pode ser substancialmente subestimado, devido ao fato de que os registros na cidade são maiores do que nas regiões vizinhas.

Por outro lado, há também incertezas nos dados puramente técnicos, como a economia de combustível e as emissões para um veículo em particular. Isto porque, apesar de estes dados serem obtidos com alta precisão em condições laboratoriais, as condições dos percursos reais podem diferir das do laboratório e as diferenças no ciclo percorrido podem apresentar impactos no atual consumo e nas emissões registradas. Neste sentido, em alguns lugares, principalmente nos países desenvolvidos, estimativas têm sido feitas na tentativa de converter os resultados laboratoriais em consumo e fatores de emissão reais, mas essas estimativas são ainda bastante preliminares (OECD, EIA, 2001)

No entanto, apesar de os dados laboratoriais não serem totalmente representativos, são muito mais específicos que os valores de emissão de GEE calculados baseados no consumo de combustível.

Neste sentido, projetos que envolvam a participação de frotas cativas, centralmente administradas, constitui o sub-grupo do setor veicular mais provável a ser primeiramente implementado, como projeto de CDM.

No entanto, existe uma clara necessidade de maior trabalho, discussão e implementação de projetos com casos de estudo que permitam atingir experiência na formação de linhas de base para os diferentes tipos de projetos do setor de transportes.

4.8 Formação da linha de base para projetos veiculares: Antecedentes

Considerando as premissas dadas nas COP6 e COP7 para desenvolver projetos sob o Protocolo de Quioto e considerando, também, as sugestões feitas pela *Nacional Energy Technology Laboratory*, podemos definir as seguintes etapas para a quantificação de uma linha de base para projetos veiculares.

- Etapa 1: Quantificação das emissões históricas
- Etapa 2: Cálculo do caso de referência ou linha de base
- Etapa 3: Cálculo das emissões relativas ao projeto.
- Etapa 4: Cálculo dos benefícios líquidos de emissão do projeto.

4.8.1 Etapa 1: Quantificação das emissões históricas

O primeiro passo da quantificação da linha de base envolve o cálculo do histórico das emissões, isto é, a emissão anterior à implementação do projeto propriamente dito. A metodologia sugere que as emissões históricas incluam dados por não

menos de 12 meses consecutivos antes do início do projeto. Estes números são importantes porque proporcionam uma idéia sobre qual é a atual emissão antes de iniciar a atividade de redução de gases estufa.

4.8.2 Etapa 2: Cálculo do caso de referência ou linha de base.

O segundo passo de quantificação engloba uma estimativa de como teriam sido as emissões sem a implementação do projeto de redução de GEE no futuro (10 anos). Essa etapa também é conhecida como caso de referência do projeto e deve incluir dados até o tempo de duração total do projeto.

Estimar as emissões futuras é um processo difícil porque é quase impossível saber tudo o que pode ou não acontecer em 10 ou 20 anos, além do que, muitos resultados diferentes podem ser atingidos, dependendo das suposições utilizadas no cálculo das futuras emissões. A determinação do que poderia ter ocorrido caso o projeto de redução de GEE não fosse implementado, pode ser feita considerando as três suposições seguintes.

- ✓ Considerando uma linha de base estática i.é, presume-se que não existe variação na emissão com a passagem do tempo. As emissões permanecem constantes ao longo do projeto, porém são iguais ao histórico das emissões dos veículos a gasolina, anterior ao projeto. Essa situação não leva em consideração as mudanças das emissões do veículo ou equipamento com o passar do tempo.
- ✓ Considerando uma linha de base dinâmica, ou seja, presume-se uma emissão variável i.é, .se assume que existe uma variação na emissão de poluentes atmosféricos devido ao desgaste das peças do veículo.
- ✓ Considerando a emissão de poluentes durante o ciclo de vida do combustível utilizado pelo veículo.

A Forma mais correta de fazer a contabilização das emissões é considerando o ciclo de vida do combustível utilizado pelo veículo. No caso do gás natural, se comparado com a gasolina, a redução na emissão de GEE será muito menor ao considerar o ciclo de vida do combustível, do mesmo modo se consideramos o ciclo de vida do álcool combustível poderemos calcular uma emissão praticamente nula de CO₂. No entanto o calculo das emissões considerando análise de ciclo de vida requer uma grande quantidade de dados específicos, o que dificulta muito a sua aplicação na pratica. Atualmente muitos softwares específicos, baseados em dados de países desenvolvidos, têm sido desenvolvidos com o intuito de ajudar no calculo das emissões durante o ciclo de vida dos combustíveis mais comuns. Para países em desenvolvimento estes softwares poderiam ser utilizados apenas como guia e não aplicados para este tipo de calculo já que os valores de emissões obtidos estariam assumindo uma faixa de erro muito grande. É necessária maior pesquisa neste sentido.

4.8.3 Etapa 3: Cálculo das emissões relativas ao projeto.

O terceiro passo inclui uma estimativa das emissões se o projeto fosse implementado i.é, uma estimativa de todas as emissões relevantes ao projeto durante sua duração.

4.8.4 Etapa 4: Um cálculo dos benefícios líquidos de emissões do projeto

A quarta e última etapa de quantificação engloba o cálculo dos benefícios líquidos do projeto. Para chegar ao benefício líquido, devem ser subtraídas as emissões do projeto (etapa 3) das estimativas das emissões do caso referencial (etapa 2). A diferença vai representar o benefício líquido das emissões do projeto.

CAPÍTULO VII CONCLUSÕES

- ✓ Contrariamente ao que freqüentemente se espera, a conversão de um veículo a gasolina para gás no contexto brasileiro, não necessariamente significa que o veículo emitirá menor quantidade de todos os tipos de gases de escapamento, ficando automaticamente mais limpo ou menos poluente do que era a gasolina. Para obter este resultado, deve ser implementado um equipamento adequado ao patamar tecnológico do veículo, acompanhado de uma boa regulagem.
- ✓ No contexto brasileiro, as características menos poluentes do uso do gás no setor veicular não estão sendo eficientemente aproveitadas e, pelo contrario, a conversão para gás de veículos a gasolina tem, na sua grande maioria, aumentado a emissão de NOx e HC.
- ✓ Quando o veículo convertido roda a GNV, 90% da emissão de hidrocarbonetos totais emitidos pelo escapamento do veículo correspondem ao metano e, portanto podemos dizer que a emissão de hidrocarbonetos não metânicos, quando o veículo anda a gás, é menor do que a fração não metânica a gasolina.
- ✓ Um veículo convertido a gás, no contexto brasileiro, emite menos carbono à atmosfera do que o mesmo rodando à gasolina, experimentando uma redução média de 71% na emissão de CO e 23% na emissão de CO₂.
- ✓ O uso de kit com regulagem manual ou eletrônica num veículo convertido, não influencia, significativamente, o Potencial de Aquecimento Global. Esta variação é em média de 5 %.
- ✓ O kit com regulagem eletrônica têm melhor desempenho do que o kit com regulagem manual, no que diz respeito à emissão de poluentes atmosféricos, demonstrando um comportamento esperado.

- ✓ Resultados obtidos neste trabalho mostram que muitos veículos a gasolina, com um ano de idade, já se encontram acima dos níveis de emissão de gases de escapamento estabelecidos pelo PROCONVE. Atualmente não existe fiscalização neste sentido.
- ✓ A obtenção de uma regulação adequada do kit de conversão não é uma tarefa fácil e só é possível com a utilização de equipamento especializado e mão de obra qualificada. Veículos usados, convertidos para gás pelo usuário final, no contexto brasileiro, dificilmente poderão cumprir com o limite do PROCONVE. Uma maneira mais eficiente de explorar os benefícios ambientais do gás, se comparado com a gasolina, no setor veicular, é oferecer outras alternativas, além da conversão de veículos usados para o mercado. Isto reforça a idéia de que a participação das montadoras neste processo deveria ser mais ativa. Deste modo, as montadoras poderiam comercializar veículos bi-combustíveis a gás/gasolina e dedicados a gás, desenvolvidos com projetos específicos, que possam cumprir com os limites estabelecidos pelo PROCONVE.
- ✓ Para o desenvolvimento sustentável do mercado de gás natural veicular, é preciso não apenas um adequado desenvolvimento da tecnologia nacional no que diz respeito a veículos dedicados a gás e/ou bi-combustível. É, também, imprescindível, a sua promoção no mercado de forma competitiva. Caso contrário, é bastante provável que as conversões inadequadas, sem regulação, continuem existindo.
- ✓ A entrada em vigor do processo de Inspeção e Manutenção de veículos usados se apresenta como uma boa oportunidade para a fiscalização do cumprimento da resolução No. 291, no que diz respeito às emissões de gases de escapamento em veículos convertidos.
- ✓ Frotas cativas centralmente administradas constituem o sub-grupo do setor veicular mais provável a ser primeiramente implementado, como projetos sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

- ✓ Na prática, para avaliar a adicionalidade de projetos veiculares sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, a projeção da variação da emissão dos Gases de Efeito Estufa, ao longo da vida útil do equipamento, deveria ser disponibilizada pelos fornecedores das diferentes tecnologias. Neste caso, as montadoras poderiam disponibilizar estes dados para cada família de veículos.
- ✓ O Potencial de Aquecimento Global ou CO₂ equivalente de um veículo convertido a gás, no contexto brasileiro experimenta uma redução média de 18% após a conversão. No caso da Frota Piloto estudada, a redução calculada foi de 19%.
- ✓ Projetos sob o MDL, que envolvam frotas de veículos, devem considerar reduções de CO₂ calculadas dentro da vida útil do canalizador, i.é, 80.000 km.
- ✓ A substituição de gasolina por gás natural numa frota de veículos leves pode ser considerada adicional, no contexto nacional. No entanto, é aconselhável uma previa análise da qualidade da conversão a ser feita no veículo.
- ✓ A substituição de gasolina por gás natural numa frota de veículos leves, no contexto nacional, tem um efeito colateral econômico positivo, devido ao preço menor do gás frente à gasolina.
- ✓ Projetos de substituição de veículos à gasolina por veículos dedicados a gás seriam mais recomendados do que projetos de conversão para serem considerados adicionais, sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.
- ✓ A metodologia de cálculo apresentada neste trabalho poderá servir como guia para estudos futuros do comportamento de outros combustíveis veiculares alternativos, como metanol, etanol, hidrogênio e flexi-fuel, sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

**ANEXO A KIT DE CONVERSÃO DAS MARCAS RODAGAS E LANDI
RENZO**

KIT DE CONVERSÃO DA MARCA RODAGÁS E LANDI RENZO

A seguir se descreve resumidamente as principais características dos kits de conversão das marcas Rodagás e Landi Renzo, que foram os kits utilizados nas conversões dos veículos analisados.

1. Kit da marca Rodagás

Atualmente o kit da marca Rodagás é o único fabricado em território nacional.

A Rodagás oferece três tipos de kit no mercado: o kit carburado (para veículos carburados), o kit Milenium (para veículos com injeção eletrônica monoponto e multiponto) e o kit Plus (para veículos com injeção eletrônica multiponto).

✓ Kit Carburado

O kit carburado corresponde a 1ª e/ou 2ª gerações de kits, de modo que o funcionamento é exclusivamente mecânico, com regulagem manual. O kit possui redutor mecânico de dois estágios, atuador mecânico, eletroválvula para o combustível original do veículo e chave comutadora de três estágios.

✓ Kit Milenium

O Kit Milenium corresponde a 2ª geração de kits conforme explicado anteriormente. Este tipo de kit é colocado em veículos com injeção eletrônica monoponto e pode ser montado de diversas formas. Muitas das suas peças podem ser utilizadas como opcionais e também pode ser adicionado um variador de avanço para melhorar o consumo, eficiência e emissão de gases de escapamento. Este kit opera com regulagem totalmente mecânica como o kit carburado, se diferenciando apenas pela chave comutadora de dois estágios.

✓ **Kit Plus**

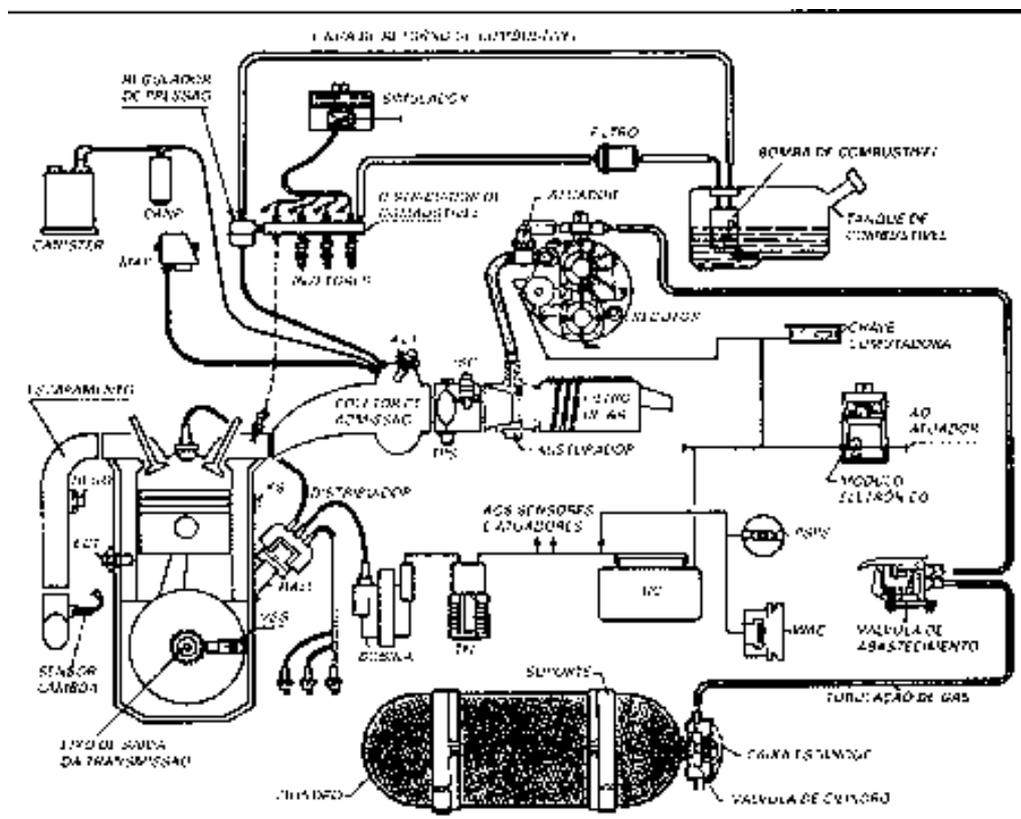
Kit Plus (Figura 1) serve para veículos de 3ª fase do PROCONVE, de modo que este kit é implementado exclusivamente em veículos que possuem injeção eletrônica multiponto, e seu funcionamento é totalmente eletrônico. O kit possui um redutor de dois estágios com entrada de 200 Bar e saída de 1 Bar, um atuador eletrônico que regula a passagem de combustível conforme informações da centralina (M.E.C.G.), um módulo eletrônico de controle do gás (M.E.C.G.) para efetuar as correções na mistura combustível utilizando os sinais do TPS (Borboleta) e da sonda lambda (sensor lambda), um simulador de bico injetor para cortar o fornecimento de gasolina e simular o sinal de correto funcionamento do bico injetor e uma chave comutadora para a troca de combustível.

Nos veículos da Frota Piloto USP que foram convertidos com este tipo de kit, a chave comutadora tem a forma de um botão. Para selecionar o funcionamento com gás natural este botão deve ser pressionado (para engatar o sistema) e logo o pedal do acelerador deve ser pressionado (nesta operação o motor passa por um giro pré-estipulado, que em geral é de 1800 RPM). Para a passagem do gás para a gasolina não é necessário o pressionamento do acelerador, somente um aperto no mesmo botão.

Todas as partidas do veículo devem ser a gasolina, independente se o gás estiver selecionado. Isso garante a lubrificação dos bicos injetores. Se o veículo for desligado com a chave na posição do gás, ao ligá-lo o sistema de gás estará engatado e será necessário um leve pressionamento no pedal do acelerador para que ele volte a funcionar com o gás.

O indicador de combustível é o mesmo tanto para gás como para gasolina. Quando o veículo estiver funcionando a gasolina, o marcador marca a quantidade de gasolina, e quando estiver funcionando a gás, ele marca a quantidade de gás.

Figura 1 Kit Plus da marca Rodagás



Atualmente a Rodagás está desenvolvendo um kit com injeção direta e seqüencial de gás. Nesse kit se encontram presentes quatro bicos injetores de GNV. Para o segundo semestre de 2002 há a previsão do Astra da General Motors sair em série bi-combustível com esse novo kit da Rodagás.

2.1.5.2. Kit da marca Landi Renzo

A Landi Renzo é uma fábrica de kits de conversão italiana e possui representantes, distribuidores e importadoras no Brasil. Todos os seus kits são importados.

O redutor utilizado neste tipo de kit é específico para cada potência do veículo convertido; assim, existem seis tipos de TN 1 SIC para atender potências de: até 130hp, entre 130hp e 190hp, entre 190hp e 220hp, entre 220hp e 250hp, acima de 250hp e para motores turbo até 200hp.

A Landi Renzo apresenta kits para todas as gerações.

✓ **Kit LR de 1ª geração**

Para os veículos da primeira geração a Landi Renzo apresenta três tipos de redutor: TN 1, TN 1/A e TN 1 SIC

Tanto para o redutor TN 1 e para o TN 1 SIC as chaves comutadoras podem ser dos modelos 93, 94 e 95. O modelo 93 possui três posições da chave comutadora e nenhum led de indicação do nível de gás, o modelo 94 é igual ao modelo 93, mas com cinco leds de marcação de combustível e o modelo 95 é igual ao modelo 94, com a diferença de que quando se passa do gás para a gasolina, a eletroválvula do gás não fecha imediatamente, há um pequeno intervalo, suficiente para encher a cuba do carburador que tinha sido esvaziada para a passagem para o gás. Junto com a chave comutadora o conjunto possui uma eletroválvula para o corte de combustível original e um atuador mecânico.

Para o Redutor TN 1/A a chave comutadora é do modelo 102 com três estágios, mas sem marcação de combustível e possui um botão para o enriquecimento da mistura em partidas a frio com o gás. Independente dos redutores e das peças em comum, o kit apresenta uma eletroválvula para o combustível original do veículo e um atuador mecânico.

✓ **Kit LR de 2ª geração**

Para os veículos da segunda geração, a Landi Renzo apresenta dois tipos de redutor: TN 1 e TN 1 SIC. Esses dois redutores funcionam com uma chave comutadora do modelo 96 apenas com dois estágios, pois o estágio neutro não é mais necessário. Independente dos redutores e das peças em comum, o kit apresenta uma eletroválvula para o combustível original do veículo e um atuador mecânico.

✓ **Kit LR de 3ª geração**

Para os veículos da terceira geração, a Landi Renzo apresenta três tipos de redutor: TN 1, TN 1 SIC e TN 1/B.

Quando utilizados os redutores TN1 e TN 1 SIC, o módulo de controle do gás é o LCS – V05, junto com um atuador eletrônico, chave comutadora LCS – V05 de dois estágios e cinco leds para marcação do combustível e simulador de bico injetor.

Se o redutor utilizado for o TN 1/B (Figura 15), o módulo eletrônico é o Lambda control system/2, junto com um redutor eletrônico, chave comutadora e simulador de bico injetor.

**ANEXO B DADOS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DOS VEÍCULOS
CONVERTIDOS.**

Autonomia dos veículos rodando a gasolina

Veículo	Media geral (km/l)
Quantum 2001 CDV618	10,43
Quantum 2000 BSV 8914	9,85
Quantum 2000 BSV 8909	9,28
Quantum 2000 BSV 8901	9,1
Blazer 1997 BVZ9269	8,03
Blazer 1997 BVZ 9094	7,6
Blazer 2001 CDV6205	7,17
Kombi 2001 CDV 6184	7,14
Kombi 2000 BSV 8911	6,9
Kombi 1997 BVZ 8724	6,75
Kombi 1997 BVZ 8891	5,59

Fonte: IEE/USP Estudo do Desempenho de uma amostra de veículos leves da Frota Piloto USP, 2002.

Autonomia dos veículos rodando a gás

Veículo	Media geral (km/m ³)
Quantum 2001 CDV618	13,65
Quantum 2000 BSV 8909	11,93
Quantum 2000 BSV 8901	12,71
Blazer 1997 BVZ9269	8,07
Blazer 1997 BVZ 9094	10,05
Blazer 2001 CDV6205	9,37
Kombi 2001 CDV 6184	8,03
Kombi 2000 BSV 8911	8,16
Kombi 1997 BVZ 8724	9,66
Kombi 1997 BVZ 8891	10,31

Fonte: IEE/USP Estudo do Desempenho de uma amostra de veículos leves da Frota Piloto USP, 2002.

**ANEXO C PLANILHAS DE CÁLCULO DA REDUÇÃO NA EMISSÃO DE
CO₂ EQUIVALENTE DA CONVERSÃO PARA GÁS DA FROTA PILOTO.**