

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
USP**

**Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia
PIPGE**

Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física
Escola Politécnica / Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

ALBERTO DANTAS DE OLIVEIRA FILHO

**SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GÁS NATURAL EM ÔNIBUS
DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO**

São Paulo

2006

ALBERTO DANTAS DE OLIVEIRA FILHO

**SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GÁS NATURAL EM ÔNIBUS
DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO**

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Eletrotécnica e Energia, Instituto de Física, Escola Politécnica e Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Energia.

Área de concentração: Energia

Orientador:
Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá

São Paulo

2006

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira Filho, Alberto Dantas de.

Substituição de diesel por gás natural em ônibus do transporte público urbano /. Alberto Dantas de Oliveira Filho; orientador Murilo Tadeu Werneck Fagá. São Paulo, 2006.

144p. : il.; 30cm.

Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

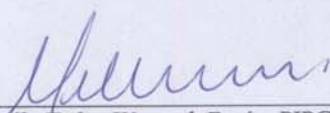
1. Gás natural 2. Transporte público 3. Gás natural – Transporte urbano I. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP – FEA – IEE - IF

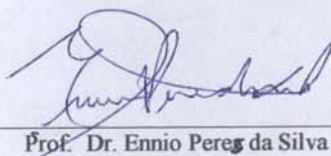
ALBERTO DANTAS DE OLIVEIRA FILHO

“Substituição de diesel por gás natural em ônibus do transporte público urbano”

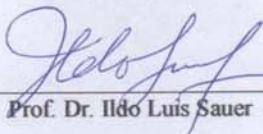
Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 29/04/2006 pela Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá – PIPGE/USP
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora



Prof. Dr. Ennio Pereg da Silva – UNICAMP



Prof. Dr. Ildo Luis Sauer – PIPGE/USP

A minha saudosa irmã,
Maria Rita de Oliveira (*in memoriam*).
Eterna amiga, que tão cedo nos deixou.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Murilo Fagá, orientador deste trabalho, amigo e conselheiro.

Aos professores e funcionários do PIPGE e do IEE que de alguma forma contribuíram para este trabalho, em especial a Edmilson Moutinho dos Santos, Ildo Sauer, Sinclair Guerra, Célio Bermann e Patrícia Mattai.

A Sílvia Velázquez, do CENBIO, Laurindo Junqueira, da Secretaria Municipal de Transportes de São Paulo, a Pedro Rama, da SPTrans, a Pedro Machado e Márcio Schettino, da EMTU, a Gabriel Branco, da *EnvironMentality*, e a Olímpio Álvares Jr., da CETESB, pelas horas de conversas e inestimáveis informações fornecidas.

A Adolfo Mendonça, Antônio José da Silva (Toninho), Elizabete Vieira e Luciana Cardoso, pela atenção com que fui recebido na ANTP e pelos dados estatísticos e materiais disponibilizados.

A Marcelo Leite, da Omni Engenharia, por seu indispensável apoio.

A todas as pessoas que de alguma forma ajudaram a realizar este trabalho.

Em especial, à minha esposa Ariadne, pelo permanente apoio, incentivo e compreensão. Aos meninos Gustavo e Paulo, que Ariadne trouxe a este mundo, e a Mariana: minhas fontes de inspiração e motivação para seguir em frente.

A minha família, e a meus pais. Sem eles eu não teria chegado até aqui.

“... Recriar o paraíso agora, para merecer quem vem depois”.

Beto Guedes e Ronaldo Bastos

PREFÁCIO

Enquanto uma tese de doutorado se propõe à obtenção de uma nova descoberta, de forma significativa para o progresso da ciência, ou mesmo de uma consideração original sobre um tema já versado, a contribuição mínima que se espera de uma dissertação de mestrado é a sistematização de conhecimentos concernentes a um tema específico, que proporcione avanço na organização de determinado assunto e conseqüentemente do pensamento acadêmico como um todo. Seus resultados devem servir de referência para futuros trabalhos científicos, de inspiração na formação de idéias inovadoras e de subsídios para a tomada de decisões na esfera das autoridades políticas e administrativas.

A magnitude da contribuição proporcionada pela dissertação de mestrado no ambiente científico não está relacionada apenas à competência do pesquisador no manuseio de técnicas e métodos adotados. Sua sensibilidade às condições em que vive a sociedade e às transformações de que esta carece será igualmente importante. Por ser um trabalho pessoal de reflexão interpretativa, em alguns momentos a neutralidade deve ceder lugar à audácia em avançar por idéias novas no universo do tema escolhido.¹

O trabalho de pós-graduação, caracterizado como obra intelectual gerada no âmbito da universidade pública, amparada nos recursos da nação brasileira, como no caso deste texto, deve ter seus resultados disponíveis à sociedade, para que o esforço despendido em sua elaboração converta-se em benefícios para o arcabouço acadêmico e para o bem estar da coletividade.

Com este espírito e sob estas intenções foi concebida a presente monografia científica. Em seu desenvolvimento buscou-se manter coerência com o esforço do Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da USP em estimular a pesquisa de questões vinculadas à disponibilidade de energia, seus usos finais e seus impactos sociais, econômicos, tecnológicos, institucionais e ambientais, através da análise e avaliação dos sistemas energéticos existentes, das possíveis alternativas e as conseqüências de sua produção e utilização.

¹ Antônio J. SEVERINO, *Metodologia do trabalho científico*, p. 146, 151.

RESUMO

OLIVEIRA FILHO, A. D. **Substituição de diesel por gás natural em ônibus no transporte público urbano**. Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. 144 p.

A tecnologia do motor a diesel é tradicionalmente a mais usada nos ônibus e em outros tipos de veículos pesados em todo o mundo, em virtude de sua eficiência termodinâmica, robustez e confiabilidade. No entanto, nas últimas duas décadas, várias iniciativas começaram a surgir em alguns países para substituir diesel por gás natural nos ônibus urbanos, motivadas por questões energéticas, visando promover redução do consumo de diesel e petróleo, e por questões ambientais, como forma de reduzir a poluição atmosférica nas cidades. No Brasil, os programas de ônibus a gás têm sido sistematicamente mal sucedidos e abandonados diante de barreiras operacionais e financeiras. O objetivo deste trabalho é avaliar os impactos, a conveniência e as perspectivas do uso de gás natural em ônibus urbanos em cidades brasileiras. A hipótese formulada considera que a substituição de diesel por gás natural em ônibus urbanos tem potencial para gerar benefícios ambientais e energéticos, mas o êxito dos programas requer a observação de um conjunto de premissas, envolvendo condições, recursos e ações. Para sustentar essa hipótese são apresentadas análises dos impactos da substituição de diesel por gás natural nas emissões de poluentes e na redução do consumo de diesel, bem como análises comparativas do ônibus a gás com outras tecnologias. Também são apresentadas avaliações das circunstâncias em que ocorreram algumas experiências com ônibus a gás no Brasil e são destacados aspectos que devem ser considerados na decisão por novos programas. Os resultados dessas análises revelam vantagens no uso do ônibus a gás, mas indicam a necessidade de análises econômicas e financeiras para avaliar o balanço entre os benefícios oferecidos e os custos envolvidos.

Palavras-Chave: Gás Natural; Transporte Público; Substituição de combustível; ônibus a gás natural.

ABSTRACT

OLIVEIRA FILHO, A. D. **Substitution of diesel for natural gas in buses in public urban transportation.** Dissertation (Master degree) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. 144 p.

The technology of the diesel engine is traditionally the mostly used in buses and other types of heavy duty vehicles worldwide, mainly due to its thermodynamic efficiency, robustness and reliability. However, in last two decades, several initiatives have been undertaken in some countries in order to substitute diesel for natural gas in urban buses, motivated by energy issues, aiming at to promote reduction of the consumption of diesel and oil, and by environmental issues, as a way to reduce the atmospheric pollution in the cities. In Brazil, the gas bus programs have been systematically unsuccessful due to operational and financial barriers. The objective of this work is to evaluate the impacts, the convenience and the perspectives of the use of natural gas in urban buses in Brazilian cities. The hypothesis suggested considers that the substitution of diesel for natural gas in urban buses has potential to promote environment and energy benefits, but the success of the programs requires the observation of a set of premises, involving conditions, resources and actions. In order to support this hypothesis, analyses of the impacts of the substitution of diesel for natural gas in the emissions of pollutants and in the reduction of the consumption of diesel are presented, as well as comparative analyses of the gas bus with other technologies. The present work also presents evaluations of the circumstances, which involved some gas bus experiences in Brazil, and aspects that must be considered in the decision for new programs are highlighted. The results of these analyses show advantages in the use of gas buses, but indicate the need of economic and financial analyses in order to evaluate the balance between the benefits offered and the costs involved.

Key Words: Natural Gas, Public Transportation; Fuel substitution; natural gas buses.

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	v
PREFÁCIO	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS	xiv
ABREVIATURAS E SIGLAS	xv
INTRODUÇÃO	1
1 Relevância do tema.....	1
2 Estado da questão.....	2
3 Hipóteses	3
3.1 Primeira hipótese	3
3.2 Segunda hipótese	3
4 Problemática	4
5 Objetivos	5
5.1 Objetivo geral.....	5
5.2 Objetivos específicos.....	5
6 Metodologia.....	6
6.1 Aquisição de informações	7
6.2 Tratamento das informações.....	7
6.3 Análise crítica.....	7
CAPÍTULO I ASPECTOS DA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL.....	8
1 Motivos para o uso de gás natural em ônibus.....	9
2 Problemas relacionados ao uso de diesel em transportes.....	10
3 Alterações decorrentes da substituição de combustível.....	11
3.1 O ônibus a gás na matriz de transportes públicos terrestres	12
4 Gestão de sistemas de ônibus nos transportes públicos	14
4.1 Gestão de transportes em outros países.....	15
4.2 Gestão de sistemas rodoviários.....	16
5 Frotas brasileiras de ônibus e outros veículos a diesel.....	17
5.1 Fontes de dados de frotas nacionais	17
5.2 Frotas de ônibus	20
6 Impactos energéticos do uso de gás natural em ônibus	22
6.1 Consumo de diesel no setor de transportes	23
6.2 Importação de petróleo e auto-suficiência.....	26
6.3 Importação de petróleo e balanço de derivados.....	29
6.4 Impactos do ônibus a gás na importação de petróleo (economia de divisas)	31
6.5 Diversificação da matriz energética	34
6.6 Impactos do ônibus a gás na matriz energética	36
7 Impactos ambientais do uso de gás natural em ônibus	39
7.1 Poluição atmosférica local causada por veículos a diesel	40
7.2 Impactos do ônibus a gás nas emissões locais na RMSP	43
8 Conclusões sobre os impactos do ônibus a gás natural	52

CAPÍTULO II	ALTERNATIVAS PARA O ÔNIBUS URBANO	54
1	Gás natural como energia primária no transporte público.....	55
2	Ônibus a gás natural	56
2.1	O combustível	56
2.1.1	Gás natural comprimido (GNC).....	57
2.1.2	Gás natural liquefeito (GNL).....	58
2.1.3	Gás natural veicular (GNV).....	59
2.1.4	Especificações do gás natural no Brasil	59
2.1.5	Disponibilidade do gás natural	61
2.1.6	Disponibilidade de infra-estrutura de gás natural	61
2.2	O veículo.....	63
2.2.1	Ônibus a gás natural OEM.....	65
2.2.2	Ônibus a gás natural convertido.....	66
2.2.3	Ônibus dedicado ao gás natural.....	68
2.2.4	Ônibus “ <i>dual-fuel</i> ” (diesel-gás)	69
2.2.5	A mistura ar-combustível no ônibus a gás natural.....	72
3	Ônibus a diesel limpo	75
3.1	O combustível	75
3.2	O veículo.....	76
4	Ônibus híbrido diesel-elétrico	78
5	Trolebus	79
6	Outras tecnologias.....	80
7	Comparativos entre alternativas de ônibus urbanos	81
7.1	Opções de ônibus urbanos.....	82
7.2	Parâmetros de comparação	82
7.2.1	Redução de emissões.....	83
7.2.2	Perfil atual da frota a substituir	84
7.2.3	Custos de aquisição, infra-estrutura e outros.....	88
CAPÍTULO III	EXPERIÊNCIAS E PERSPECTIVAS DO ÔNIBUS A GÁS	91
1	Experiências brasileiras.....	92
1.1	Desenvolvimento do mercado brasileiro de ônibus a gás.....	92
1.2	Cronologia do ônibus a gás no Brasil	93
1.3	Programas de ônibus a gás.....	97
1.4	O caso de Natal	99
1.5	O caso de São Paulo	101
1.6	Problemas dos programas brasileiros.....	102
1.6.1	Tecnologia.....	102
1.6.2	Qualidade do gás.....	104
1.6.3	Acesso ao gás	104
1.6.4	Custos	105
1.7	Equívocos político-administrativos	107
1.7.1	As leis do ônibus a gás da cidade de São Paulo.....	107
1.7.2	Descoordenação e restrição geográfica dos programas	107
1.7.3	Uso político da tecnologia e propagação de metas irrealis.....	108
2	Experiências internacionais	110
2.1	O caso dos EUA.....	111
2.1.1	Problemas em programas norte-americanos	112
2.1.2	Fatores de sucesso identificados	113
2.1.3	Incentivos fiscais e financeiros nos EUA	115
3	Conjuntura dos países considerados.....	116
4	Perspectivas para novos programas no Brasil.....	120
4.1	Análises financeira e econômica de projetos de substituição de combustível.	121
CONCLUSÕES	.....	123
REFERÊNCIAS	.....	125

GLOSSÁRIO	133
APÊNDICES.....	135
Apêndice 1 Frotas de ônibus das Regiões Metropolitanas.....	135
Apêndice 2 Ciclos termodinâmicos dos motores de combustão interna.....	136
ANEXOS	137
Anexo 1 Reservas nacionais, produção e importação de gás natural.....	137
Anexo 2 Curvas de Hubbert para petróleo e gás.....	139
Anexo 3 Critérios de poluição do ar	140
Anexo 4 Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera .	141
Anexo 5 Limites de emissões PROCONVE para veículos pesados	142

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1	Metodologia utilizada na dissertação.....6
Figura 2	Elementos fundamentais de um sistema de transportes 11
Figura 3	Consumo por setor da economia mundial (2003) .....23
Figura 4	Consumo por setor da economia brasileira (2003) .....23
Figura 5	Evolução do consumo de óleo diesel no Brasil .....25
Figura 6	Perspectiva de auto-suficiência nacional de petróleo .....27
Figura 7	Perspectiva de auto-suficiência nacional de diesel e petróleo (1) ....28
Figura 8	Perspectiva de auto-suficiência nacional de diesel e petróleo (2) ....29
Figura 9	Consumo e oferta de derivados (2004) .....31
Figura 10	Potencial de redução de importação de diesel .....32
Figura 11	Matriz energética nacional - energia final para todos os usos (%) .34
Figura 12	Matriz energética nacional de transportes (%)35
Figura 13	Matriz energética nacional - energia final para todos os usos.....35
Figura 14	Matriz energética nacional de transportes .....36
Figura 15	Potencial de incremento do consumo de gás natural .....37
Figura 16	Vista aérea da RMSP .....45
Figura 17	Emissões comparativas de motores GNV e diesel no Brasil .....50
Figura 18	Variação de parâmetros do ônibus a gás em função do fator λ 73
Figura 19	Potencial poluidor e limites de emissões de ônibus .....87
Figura 20	Cronologia do ônibus a gás no Brasil (geral).....94
Figura 21	Cronologia do ônibus a gás no Brasil (1980-1994).....95
Figura 22	Cronologia do ônibus a gás no Brasil (1994-2005).....96
Figura 23	Programas de ônibus a gás no Brasil.....98
Figura 24	Evolução das frotas de ônibus a gás no Brasil .....99
Figura 25	Evolução da frota de ônibus a gás natural nos EUA..... 112
Figura 26	Ônibus a gás natural na frota urbana versus PNB <i>per capita</i> 117
Figura 27	Curvas de Hubbert para petróleo e gás - mundo 139
Figura 28	Curvas de Hubbert para petróleo - Brasil..... 139

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1	Crerios de classificação no setor de transportes 12
Tabela 2	Matriz de transportes públicos terrestres no Brasil..... 13
Tabela 3	Resumo da frota brasileira de nibus .....20
Tabela 4	Consumo de energia e derivados de petróleo em transportes .....24
Tabela 5	Premissas operacionais de ônibus urbanos (cidade de São Paulo).26
Tabela 6	Consumo e proporção de refino de derivados (2004) .....30
Tabela 7	Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar na RMSP .....42
Tabela 8	Emissões dos ônibus no transporte coletivo no Brasil.....43
Tabela 9	Participação da frota de ônibus urbanos nas emissões da RMSP ...44
Tabela 10	Emissões comparativas de motores GNV e diesel no Brasil .....49
Tabela 11	Redução de emissões devido ao uso de motores pesados a GNV 51
Tabela 12	Especificação brasileira do gás natural .....60
Tabela 13	Comparativo entre as malhas de gasodutos do Brasil e dos EUA....62
Tabela 14	Classificações dos ônibus a gás natural .....64
Tabela 15	Coeficientes da fórmula do potencial poluidor da frota.....84
Tabela 16	Limites legais de emissões para nibus .....85
Tabela 17	Fatores de emissões e potencial poluidor de ônibus selecionados ..86
Tabela 18	Alternativas para substituição da frota atual de ônibus urbanos.....89
Tabela 19	Frotas de ônibus a gás no mundo 110
Tabela 20	Principais países que possuem frotas de ônibus a gás natural 116
Tabela 21	Frotas de ônibus das Regiões Metropolitanas do Brasil..... 135

ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas de instituições e empresas:

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
ANTT	Associação Nacional dos Transportes Terrestres
ARTESP	Agência (reguladora) de Transporte do Estado de São Paulo
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CENPES	Centro de Pesquisas da Petrobrás
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo
CMTC	Companhia Municipal de Transporte Coletivo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente; vinculado ao IBAMA
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da UFRJ
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo
EP / USP	Escola Politécnica da USP
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FEA / USP	Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP
GEIPOT	Grupo Executivo para a Integração da Política de Transportes (nome original, 1966);

Ou: Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes (renomeado em 1969);

Ou ainda: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (renomeada em 1973 e mantida a sigla original).

IANGV	<i>International Association for Natural Gas Vehicles</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEE / USP	Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP
IF / USP	Instituto de Física da USP
LIMA / COPPE / UFRJ	Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente da COPPE / UFRJ
MBB	Mercedes Benz do Brasil
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MT	Ministério dos Transportes
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
ONU	Organização das Nações Unidas
Petrobrás	Petróleo Brasileiro S.A.
PIPGE / USP	Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da USP
PRODESP	Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo
SPTRANS	São Paulo Transporte S.A.
TBG	Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S/A
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	Universidade de São Paulo

Abreviaturas e símbolos:

AET	Anuário Estatístico dos Transportes (publicação do GEIPOT)
-----	--

AFV	<i>Alternative fuel vehicles</i>
BEN	Balanço Energético Nacional
CH ₄	Metano
CNG	<i>Compressed natural gas</i>
CO	Monóxido de carbono
DOC	<i>Diesel oxidation catalyst</i>
DPF	<i>Diesel particulate filter</i>
EEV	<i>Enhanced environmentally friendly vehicle</i>
EGR	<i>Exhaust gas recirculation</i>
EUA	Estados Unidos da América
GASBOL	Gasoduto Bolívia-Brasil
GEE	Gás de efeito estufa
GHG	<i>Green house gas</i> (gás de efeito estufa - GEE)
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GMV	Gás metano veicular
GN	Gás natural
GNC	Gás natural comprimido
GNL	Gás natural liquefeito
GNV	Gás natural veicular
GTL	<i>gas to liquid</i>
HC	Hidrocarbonetos totais
LNG	<i>Liquefied natural gas</i>
MDL	Mecanismos de desenvolvimento limpo
MP	Material particulado
MTBF	<i>Maximum Time Between Failures</i>
NG	<i>Natural Gas</i>
NGV	<i>Natural gas vehicle</i>
NMHC	Hidrocarbonetos não-metano
NO _x	Óxidos de nitrogênio
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OC	<i>Oxidation catalyst</i>
O ₃	Ozônio
p.	página

PNB	Produto nacional bruto
PP	Potencial poluidor
PROCONVE	Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SCR	<i>Selective catalytic reduction</i>
SO ₂	Dióxido de enxofre
ULSD	<i>Ultra-low sulphur diesel</i>
UPGN	Unidade de processamento de gás natural
VUC	Veículo urbano de carga

Unidades de medida:

atm	Atmosfera métrica (= 1,01325 bar = 101.325 Pa = 101.325 N / m ²)
bar	bar (= 0.98692 atm = 1 x 10 ⁵ Pa = 1 x 10 ⁵ N / m ²)
barril	42 galões americanos = 159 litros
CV	Cavalo-vapor (= 735,5 kW)
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
Mtep	Mega tep, ou milhões de tonelada equivalente de petróleo
Mtoe	Mega toe, ou milhões de tonelada de óleo equivalente
N	Newton
N / m ²	Newton por metro quadrado (= 1 Pa)
Pa	Pascal (= 1 N / m ² = 1 x 10 ⁻⁵ bar = 9,8692 x 10 ⁻⁶ atm)
ppm	Parte por milhão (= 0,0001%)
tep	Tonelada equivalente de petróleo = 1,08 toe
toe	Tonelada de óleo equivalente = 10 ⁷ kcal
µg / m ³	Microgramas por metro cúbico

INTRODUÇÃO

1 Relevância do tema

O setor de transportes é responsável por um dos maiores montantes de consumo de energia do mundo moderno, o que torna fundamental a abordagem de seus aspectos energéticos. Atualmente, o uso intenso de óleo diesel como combustível no setor tem contribuído com o agravamento da poluição atmosférica nas grandes cidades e com a intensificação da dependência do petróleo, indesejável nos países importadores. Com a intenção de atenuar esses problemas, em diversas partes do mundo a substituição de diesel no transporte público tem sido adotada com resultados relativamente satisfatórios nos últimos vinte anos, mas no Brasil todas as experiências com frotas de ônibus a gás conduzidas nesse período fracassaram e foram gradativamente abandonadas, restando poucos veículos em operação.

Voltam à cena neste momento novas intenções para reativação das frotas de ônibus a gás natural no Brasil, manifestadas por instituições governamentais de âmbitos municipal, estadual e federal. Boa parte dos problemas ocorridos em experiências pregressas parece estar solucionada, mas algumas dificuldades aparentemente superadas carecem de análise cuidadosa, e algumas barreiras certamente ainda persistem e precisam ser discutidas.

Sabe-se que uma mudança de tecnologia dessa natureza costuma não fluir naturalmente, sendo necessários programas específicos para promover sua introdução no mercado. A decisão pela implantação de novos programas deve prescindir de estudos cuidadosos relacionando seus potenciais benefícios com os custos envolvidos, porque boa parte destes irão onerar o setor público. Considerou-se relevante o estudo do tema “**Substituição de diesel por gás natural em ônibus no transporte público urbano**” em uma dissertação de mestrado por se julgar conveniente o estímulo de uma discussão atual no ambiente acadêmico.

2 Estado da questão

Os primeiros textos sobre ônibus a gás disponíveis para pesquisa datam da década de 1980, quando surgiram experiências pioneiras de substituição de diesel. Desde então o tema tem sido retomado com certa frequência, suscitando intensas discussões e a publicação de artigos em congressos, na imprensa e em periódicos especializados de instituições dos setores de transporte, urbanismo, energia, meio ambiente e de universidades. Livros e teses acadêmicas sobre o assunto também são eventualmente encontrados, porém em quantidade muito pequena.

No Brasil, grande parte dos trabalhos trata dos problemas observados em suas frotas de ônibus a gás e das dificuldades a que foram submetidos os empresários do setor. Alguns textos enfatizam exclusivamente aspectos ambientais, ou questões energéticas e financeiras, ou ainda apontam soluções de problemas dos programas e cenários de substituição de diesel e desenvolvimento do mercado de gás natural. Alguns artigos da imprensa anunciam intenções de retomadas de frotas estagnadas e novos programas de ônibus a gás, sendo que a maioria destes jamais foi realizada. Observa-se em alguns trabalhos elaborados por instituições nacionais e estrangeiras promotoras de setores do mercado de gás natural uma tendência a valorizar vantagens, muitas vezes sem quantificá-las, ou fazendo-o de forma superficial e desproporcional, por exemplo, comparando ônibus a diesel obsoletos com ônibus a gás natural de última geração, ou omitindo as desvantagens destes.

3 Hipóteses

Com a finalidade de estabelecer os limites do tema estudado, são propostas as seguintes hipóteses:

3.1 Primeira hipótese

A substituição de óleo diesel por gás natural em ônibus urbanos no Brasil pode resultar em benefícios ambientais e energéticos, tais como redução das emissões atmosféricas nos centros urbanos, diversificação da matriz energética, intensificação do uso do gás natural e redução da importação de diesel.

3.2 Segunda hipótese

Deve ser observado um conjunto bem definido de premissas, envolvendo condições, recursos e ações indispensáveis para que iniciativas de substituição de diesel por gás natural em frotas brasileiras de ônibus urbanos ocorram com êxito.

4 Problemática

Tomando como base as hipóteses apresentadas, a presente dissertação busca respostas para as questões abaixo.

- Qual a magnitude dos benefícios ambientais e energéticos provenientes da substituição de diesel por gás natural em ônibus?
- A tecnologia do ônibus a gás natural é mais vantajosa que outras novas tecnologias potencialmente disponíveis para o transporte público?
- Quais são as premissas – condições, recursos e ações – necessárias para que iniciativas de introdução de frotas de ônibus urbanos a gás natural ocorram com êxito?
- Qual a conveniência e viabilidade em se despendem os esforços referentes a essas premissas?

As respostas, sugestões e possíveis soluções para estas questões formam a tese central do trabalho, sintetizada nas conclusões da dissertação.

5 Objetivos

Este trabalho foi realizado tendo-se em mente os seguintes objetivos:

5.1 Objetivo geral

Estudar o uso de gás natural em ônibus urbanos no Brasil e em outros países, avaliar seus impactos, sua conveniência, perspectivas e viabilidade em cidades brasileiras.

5.2 Objetivos específicos

- Analisar quantitativamente e avaliar o grau de importância dos potenciais benefícios energéticos, ambientais e econômicos da substituição de óleo diesel por gás natural em ônibus urbanos;
- Comparar o ônibus a gás natural com outras tecnologias disponíveis;
- Analisar o desempenho de iniciativas de implementação de frotas de ônibus urbanos a gás no Brasil e no mundo, identificando seus problemas e os fatores determinantes de sucessos que possam ser aplicados em programas brasileiros;
- Apresentar como sugestão um conjunto de premissas, envolvendo condições, recursos e ações a serem observados, indispensáveis para que a implementação de programas de ônibus a gás no Brasil seja bem sucedida;
- Analisar a viabilidade do estabelecimento de frotas de ônibus a gás natural e a conveniência de se despendem os esforços necessários à sua viabilização no Brasil.

6 Metodologia

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho divide-se em três partes, conforme esquematizado na Figura 1.

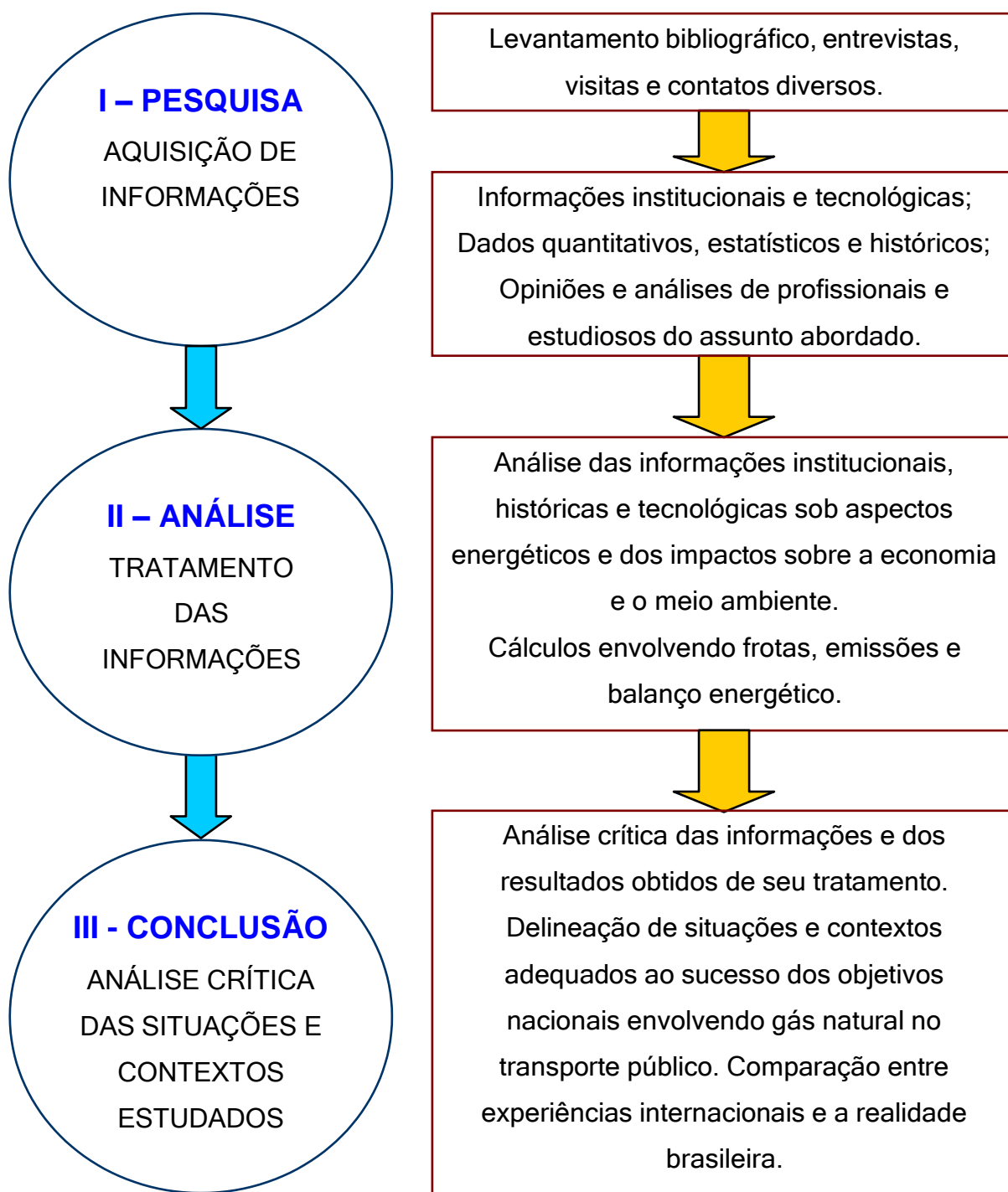


Figura 1 Metodologia utilizada na dissertação

6.1 Aquisição de informações

Por ter este trabalho uma natureza predominantemente investigativa, foi definida como parte inicial da metodologia o levantamento de informações tecnológicas, históricas, institucionais e estatísticas.

Foi pesquisada a bibliografia encontrada nas bibliotecas da USP e de outras instituições públicas e privadas, e também informações disponíveis na rede *Internet*, em especial os dados sobre experiências internacionais.

Com a finalidade de obtenção de informações específicas e opiniões, foram realizados contatos telefônicos e reuniões com estudiosos do assunto e profissionais de empresas e instituições envolvidos em programas de ônibus a gás. Contatos com órgãos e pesquisadores no exterior foram realizados por correio eletrônico.

6.2 Tratamento das informações

Os dados quantitativos foram sistematizados por meio de métodos matemáticos e recursos de planilhas eletrônicas, envolvendo cálculos de frotas, emissões de gases poluentes, balanço energético, e avaliação do grau de significância dos impactos estudados. Os resultados foram formatados em gráficos e tabelas.

As informações tecnológicas, históricas, institucionais e de infra-estrutura relacionadas com a introdução do gás natural no transporte público foram analisadas principalmente sob aspectos energéticos e dos impactos sobre a economia e o meio ambiente.

6.3 Análise crítica

Nesta fase da pesquisa foram realizadas análises críticas das situações e contextos estudados e dos resultados do tratamento destas informações, com a finalidade de preparar as conclusões do trabalho. Buscou-se a delimitação de situações e contextos adequados ao sucesso dos objetivos nacionais envolvendo a introdução do gás natural no transporte público. Como ferramenta básica de análise foi utilizada a comparação entre experiências internacionais e a realidade brasileira, observadas as proporções de contextos das cada nação.

CAPÍTULO I ASPECTOS DA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL

Neste capítulo são abordados alguns aspectos do setor de transportes, em especial os problemas de ordem ambiental e de estratégia energética envolvendo os ônibus a diesel, e os potenciais impactos da proposta de substituição de combustível como forma de mitigação desses problemas. São sistematizados dados das frotas rodoviárias brasileiras de ônibus e de outros veículos a diesel.

1 Motivos para o uso de gás natural em ônibus

As propostas de substituição de diesel por gás natural têm basicamente duas motivações: a energética, em termos econômicos e de segurança energética; e a ambiental, em níveis local, regional e global.

A motivação energética objetiva a redução da dependência de petróleo, especialmente nos países importadores, bem como o equilíbrio da matriz energética pela intensificação do uso de gás natural, oportuna nos países onde esta fonte de energia é abundante, tanto por oferta em função de produção doméstica como por importação em condições econômicas e estratégicas vantajosas em comparação com as condições de oferta de petróleo. O Brasil se enquadra nesse perfil, tanto porque importa petróleo para suprir demanda de diesel, como também em função da situação atual de oferta doméstica de gás natural e de perspectivas favoráveis em longo prazo. Por outro lado, a motivação ambiental é fundamentada na expectativa de redução da poluição atmosférica nas áreas urbanas e da redução da poluição global, com referência à emissão de gases de efeito estufa.

O gás natural tem sido utilizado há cerca de duas décadas como uma das principais alternativas ao diesel em ônibus urbanos em diversos países. Em praticamente todas as experiências internacionais são apontadas como principais vantagens a redução das emissões atmosféricas e a diversificação da matriz energética, proporcionando o aumento da segurança energética em nível nacional e local.

2 Problemas relacionados ao uso de diesel em transportes

O setor de transportes representa atualmente um dos recursos mais essenciais e indispensáveis ao ser humano, afetando praticamente todas as áreas da vida moderna. As pessoas precisam se deslocar freqüentemente para realizar suas atividades, e os bens que utilizam são transportados em toda sua cadeia produtiva, desde a matéria-prima até o produto final.

O desenvolvimento tecnológico da humanidade na área de transportes resultou nos complexos sistemas que hoje nos cercam e fazem parte de nossas vidas cotidianas, mas que também geram alguns efeitos prejudiciais à saúde das pessoas e ao ambiente. Além desses efeitos, atualmente tratados como “*externalidades*”, a forma como os sistemas de transporte se estruturam em determinada sociedade pode se tornar danosa a sua economia, por não ser a mais adequada em termos de usos finais dos recursos energéticos.

Esta é em muitas cidades do mundo a situação atual dos transportes, baseados principalmente no uso de veículos movidos a combustíveis derivados de petróleo, cuja combustão produz emissões de gases poluentes. Dentre os veículos urbanos usados tanto para transporte de passageiros como de cargas, os que usam óleo diesel estão considerados entre os mais nefastos em termos de poluição atmosférica, além de contribuírem para o desequilíbrio da matriz energética nacional e elevar a necessidade de importação de petróleo. Estes problemas são comuns a muitas cidades, e quanto maiores as frotas de veículos, mais se agravam os efeitos da poluição.

Algumas metrópoles dispõem de sistemas de trens metropolitanos movidos a eletricidade, os “metrô”, que circulam em túneis subterrâneos e viadutos exclusivos, aliviando o tráfego nas vias públicas. O aumento dessas malhas seria um atenuante para os problemas causados pelos ônibus a diesel, com o benefício adicional de reduzir os congestionamentos no trânsito urbano. No entanto, seu custo é muito elevado e requer investimentos consideráveis, que em muitos casos implicam em endividamento do setor público. Esta é uma das conveniências da opção pela alternativa de substituição de combustível: embora ela seja uma solução paliativa, apresenta a vantagem de exigir menos recursos financeiros que a ampliação de infraestrutura no modal metroviário.

3 Alterações decorrentes da substituição de combustível

De maneira geral, um sistema de transportes é composto basicamente por veículos, energia e infra-estrutura, organizados e dimensionados com o objetivo de transportar cargas e passageiros (Figura 2).

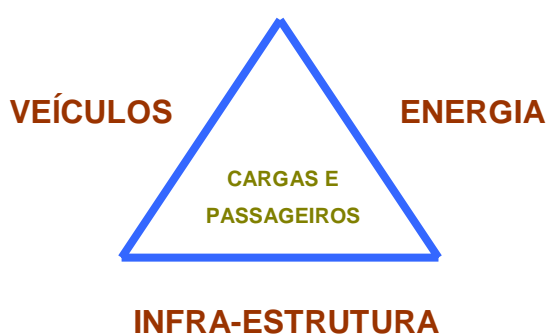


Figura 2 Elementos fundamentais de um sistema de transportes

As frotas de ônibus estão sujeitas a basicamente dois tipos de alterações tecnológicas no caso da substituição de diesel por gás natural: os veículos podem ser adaptados ao uso do combustível alternativo, passando por um processo chamado de conversão, ou podem ser substituídos por outros veículos novos, projetados e fabricados especificamente para usar o gás natural como combustível, conhecidos como veículos a gás dedicados OEM (*Original Equipment Manufacturer*). Com o uso do gás natural como nova fonte de energia, a tecnologia de suprimento e operação dos sistemas passa por alterações importantes e requer adaptações técnicas e administrativa nas empresas de ônibus e em sua cadeia de fornecedores. A infra-estrutura de um sistema de transportes envolve a base viária pela qual se deslocam os veículos, os recursos de abastecimento, manutenção, controle e regulação do sistema. A substituição de diesel por gás natural não envolve alterações na infra-estrutura viária do sistema de ônibus, no entanto é necessário adaptar a infra-estrutura de abastecimento, uma das mais importantes e custosas de todas as alterações. A diferença do estado físico do combustível é um dos pontos fundamentais que caracterizam a mudança de tecnologia. As empresas com frotas mistas de ônibus, parte delas funcionando com diesel e parte com gás natural, precisam ter suas garagens equipadas com equipamentos apropriados tanto para o combustível líquido quanto para o gasoso, além de necessariamente dispor de

profissionais preparados para o manuseio de ambas as tecnologias. A operação e manutenção das frotas, assim como a condução dos veículos, também são atividades afetadas pela mudança tecnológica e carecem de adaptações.

3.1 O ônibus a gás na matriz de transportes públicos terrestres

Os sistemas de transportes são classificados essencialmente quanto ao tipo de modal, que é a solução tecnológica adotada como infra-estrutura para determinado meio. A Tabela 1 indica outros critérios de classificações comumente usados.

Nos transportes públicos urbanos, os principais tipos de modais usados são o rodoviário, que usa veículos sobre pneus que compartilham o espaço disponível nas vias públicas das cidades com os pedestres e com veículos de passeio, carga e de outros serviços, e o ferroviário, no qual os veículos utilizam como infra-estrutura malhas de trilhos exclusivos. No modal rodoviário, os transportes públicos urbanos são servidos principalmente por ônibus, micro-ônibus e furgões, quase em sua totalidade movidos a óleo diesel.

Tabela 1 Critérios de classificação no setor de transportes

Modais	Objetivos do transporte	Usos	Veículos	Áreas de atuação	Formas de propulsão	Fontes de energia primária
Aeroviário Aquaviário Dutoviário Ferroviário (transporte sobre trilhos) Rodoviário (transporte sobre pneus)	Transporte de cargas Transporte de passageiros	Particular Público (Coletivo)	Automóvel Caminhão Caminhonete Furgão (Van) Micro-ônibus Motocicleta Ônibus Trem comum Trem metroviário (Metrô) Trólebus Utilitário	Interestadual Intermunicipal Urbano metropolitano (abrangendo municípios da mesma região metropolitana) Urbano municipal (limitado à área do município)	Álcool Diesel Eletricidade Gasolina Gás natural Híbrido	Biomassa Gás natural Hidro / GN / petróleo (em trólebus) Petróleo

Os programas de substituição de diesel por gás natural são geralmente restritos aos ônibus por razões de ordem prática e de interesse público. Por se tratar de apenas um tipo de veículo, reduz-se o volume de mudanças tecnológicas iniciais. Sendo urbanas, as frotas estão submetidas a regimes onde o consumo relativo e absoluto de combustível é elevado e os impactos poluidores são importantes. Sendo geridas por órgãos do poder público, o poder de atuação dos governos sobre os sistemas de transportes torna mais simples o controle sobre os programas.

Dentre os critérios de classificação vistos na Tabela 1, a substituição de diesel por gás natural em questão restringe-se ao modal rodoviário, em veículos para passageiros, de uso público (coletivo) definidos como ônibus,¹ com áreas de atuação urbana municipal, limitado à área do município e urbana metropolitana, abrangendo municípios de uma mesma região metropolitana.

Também não são considerados para inclusão em programas de substituição de diesel por gás natural os ônibus urbanos de fretamento, muito utilizados atualmente em áreas urbanas e fiscalizados pelos mesmos órgãos de gestão de linhas regulares.

Em tese, todos os veículos movidos a diesel destacados na Tabela 2 poderiam ser alvos de substituição de combustível em estágios futuros, por motivações de redução de poluição urbana, caso o mercado de veículos a gás evolua para uma situação mais consolidada e diversificada.

Tabela 2 Matriz de transportes públicos terrestres no Brasil ²

Modal	Veículos	Atuação	Propulsão	Fonte de energia primária	Milhões de passageiros por ano (c)	(%)
Ferroviário (transporte sobre trilhos)	Metropolitano (Metrô)	Municipal	Eletricidade	Hidro / GN / petróleo	1.430	10%
	Trens metropolitanos (malha ferroviária convencional)	Metropolitana				
		Interestadual	Diesel	Petróleo	N.D.	N.D.
Rodoviário (transporte sobre pneus)	Ônibus	Metropolitana			133	1%
		Municipal			1.969	14%
			Híbrido (a)	10.331	75%	
Eletricidade (b)	Hidro / GN / petróleo					
		Gás natural	Gás natural			
	Micro-ônibus	Municipal e metropolitana	Diesel	Petróleo	N.D.	N.D.
	Furgões (Vans)					

(a): Diesel-elétrico; (b): Trólebus; (c) Dados: ANTP, 2003; N.D.: Dado não disponível.

Os dados de passageiros transportados por modal informados da Tabela 2 revelam que os ônibus urbanos municipais e metropolitanos participam com 89% da matriz de transportes públicos no Brasil (75% municipal e 14% metropolitano).

¹ Ônibus: Veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para mais de vinte passageiros, ainda que, em virtude de adaptações visando à maior comodidade destes, transporte número menor.

² Dados de passageiros transportados por modal: ANTP, Relatório: Perfil do Transporte e Trânsito Urbanos – 2003, p. 132.

4 Gestão de sistemas de ônibus nos transportes públicos

Cada país tem sua maneira própria de administrar os transportes públicos urbanos sobre pneus, entretanto predominam os modelos em que os sistemas de ônibus são operados por empresas privadas e geridos pelas prefeituras ou por órgãos especializados vinculados aos governos municipais. Esses modelos de gestão costumam sofrer modificações no decorrer do tempo e da sucessão das administrações. No Brasil, as prefeituras eram no passado, em sua maioria, não somente responsáveis pela gestão dos sistemas, mas também por sua operação, além de serem proprietárias das frotas de ônibus, no todo ou em parte. Citando o exemplo da cidade de São Paulo, que tem atualmente uma das maiores frotas de ônibus urbanos do mundo³, a Companhia Municipal de Transporte Coletivo (CMTC) possuía este perfil até o início da década de 1990.

Nas últimas duas décadas a propriedade e a operação de algumas frotas têm sido transferidas para a iniciativa privada, cabendo às autoridades de transporte público o estabelecimento das concessões de linhas, definição de itinerários, padronização dos veículos, definição de critérios de qualidade, projetos viários e outras ações referentes à gestão dos sistemas. Este papel é desempenhado atualmente na capital de São Paulo pela São Paulo Transporte S.A. (SPTrans), empresa controlada pela Prefeitura Municipal da Cidade de São Paulo que sucedeu a CMTC na década de 1990. Estão sob sua gestão as linhas de ônibus que circulam dentro dos limites do município de São Paulo.

A gestão de sistemas de ônibus em regiões metropolitanas costuma ser atribuído aos governos estaduais, porque as linhas abrangem mais de um município. Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), por exemplo, a gestora é a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo S.A. (EMTU)⁴, controlada pelo Governo do Estado de São Paulo. Esses sistemas são naturalmente interessantes

³ Ver item “Frotas brasileiras”, p. 17.

⁴ A EMTU também responsável é pelo gerenciamento do transporte intermunicipal das outras regiões metropolitanas do Estado São Paulo: Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) e Região Metropolitana de Campinas (RMC). É vinculada à Secretaria de Transportes Metropolitanos (STM).

sob o aspecto de substituição de diesel por motivos ambientais, porque seus ônibus contribuem para a poluição do ar em áreas urbanas.

Como se percebe, os municípios inseridos em regiões metropolitanas podem ser servidos por dois sistemas de ônibus distintos: o sistema urbano do município, gerido pela prefeitura municipal (ou por órgão a ela vinculado), cujas linhas são restritas à sua área geográfica, e o sistema metropolitano, gerido por órgão do governo estadual, e cujas linhas ligam cada município a outros na região.

4.1 Gestão de transportes em outros países

Os modelos de gestão de sistemas de ônibus urbanos observados em outros países são em sua maioria semelhantes aos brasileiros, onde o estado tem forte participação em seu controle, por se tratar de serviço essencial.

Nos EUA, por exemplo, os sistemas de ônibus urbanos são geridos por órgãos chamados de “*Transit Authorities*”, responsáveis pela gestão de sistemas de ônibus em áreas chamadas de “*Transit Districts*”. Na cidade de New York, por exemplo, a “*Metropolitan Transportation Authority Bus Company (MTA)*” controla sete empresas de ônibus que operam sob sistema de franquias, concedidas pelo “*New York City Department of Transportation (DOT)*”. O DOT, vinculado à prefeitura de New York, é responsável pela supervisão das franquias das empresas de ônibus e pelo gerenciamento da infra-estrutura e sinalização viárias da cidade.⁵ No Canadá, por exemplo, a “*Toronto Transit Commission (TTC)*” é o órgão de gestão que serve à cidade de Toronto.

As frotas das cidades mencionadas acima possuem exemplos de substituição de diesel⁶.

⁵ New York City DOT, 2006.

⁶ Ver CAPÍTULO III.

4.2 Gestão de sistemas rodoviários

Os sistemas de ônibus rodoviários, que operam linhas intermunicipais não metropolitanas, interestaduais e internacionais, são geridos por órgãos estaduais e federais. No Brasil, a Associação Nacional dos Transportes Terrestres (ANTT), vinculada ao Ministério dos Transportes (MT), é o órgão responsável pelo transporte regular rodoviário coletivo interestadual e internacional de passageiros. O transporte intermunicipal de passageiros dentro de cada unidade da federação é gerido por órgãos estaduais. Ainda exemplificando o caso de São Paulo, a Agência (Reguladora) de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP) fiscaliza as empresas permissionárias que operam linhas regulares intermunicipais, suburbanas e as de fretamento.

Esses sistemas também poderiam ser em princípio inseridos em programas de substituição de diesel. Sob aspectos ambientais, no entanto, se comparados com os ônibus urbanos, a contribuição dos ônibus rodoviários para a poluição do ar das cidades é inferior, porque sua circulação em áreas urbanas é restrita ao trajeto entre as estações rodoviárias e os acessos às rodovias. Por esse motivo, e também devido à falta de postos de abastecimento de gás natural em boa parte dos destinos e ao longo das linhas, a substituição de diesel em questão não considera em um primeiro momento os ônibus intermunicipais não metropolitanos, os interestaduais e os internacionais. Por outro lado, permanece válido o interesse por motivos energéticos da mesma forma como o seria para qualquer outra frota que use o diesel como combustível, embora o consumo relativo e absoluto dos sistemas rodoviários seja inferior ao dos sistemas urbanos.

5 Frotas brasileiras de ônibus e outros veículos a diesel

A escolha do tipo de frota a ser inserida em um programa de substituição de diesel por gás natural é decorrência da definição de sua motivação principal, normalmente energética ou a ambiental. Analisando-se a partir do ponto de vista energético, considerar-se-ia interessante, em princípio, a substituição de qualquer tipo de veículo movido a diesel, independente do local onde este circule, por outros que usem combustível alternativo, preferencialmente o gás natural. Neste caso, o potencial de redução de consumo de diesel seria proporcional à frota total de veículos movidos a diesel no país.

Entretanto, se for considerado o ponto de vista ambiental, torna-se desejável a substituição de veículo a diesel de qualquer tipo, que circule em áreas densamente urbanizadas, por outros que usem tecnologia menos poluente. Desta forma, a intensidade do potencial de redução das emissões locais seria proporcional à frota urbana de veículos movidos a diesel de cada cidade ou região metropolitana, consideradas isoladamente. Para efeitos de poluição global, voltaria a ser interessante a substituição de qualquer tipo de veículo a diesel, independente do local onde este circule, por outros que emitam menos gases de efeito estufa.

O conhecimento de dados confiáveis que permitam obter um retrato atual e preciso sobre frotas de ônibus e de outros veículos movidos a diesel é fundamental para se proceder as análises de potencial de substituição deste combustível. No entanto, a obtenção desses dados no Brasil torna-se difícil porque os relatórios das instituições do setor são publicados com periodicidade irregular, e em alguns casos há limitação da disponibilidade dos mesmos. Além disso, dentre as fontes de dados disponíveis, podem ser observadas algumas divergências entre informações como quantidades, evolução das frotas, regimes de rodagem e distribuição geográfica.

5.1 Fontes de dados de frotas nacionais

Os dados sobre frotas de veículos e outros parâmetros operacionais de transportes terrestres em geral têm sido disponibilizados no Brasil de forma descontinuada e desprovida de uma padronização de metodologia e formato, inclusive entre os relatórios publicados por órgãos governamentais. Como não há uma pesquisa

disponível para a comunidade de censo geral de veículos, as estatísticas disponíveis atualmente são baseadas em dados de produção, de cadastros de licenciamento, de pesquisas isoladas realizadas por entidades especializadas, que complementam dados de pesquisa com estimativas para a obtenção de dados globais.

Na década de 1960 foi criado pelo governo militar um grupo interministerial denominado Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes (GEIPOT), que iniciou em 1970 a publicação do Anuário Estatístico dos Transportes (AET), reunindo informações oriundas de diferentes entidades públicas e privadas sobre o setor de transportes do País. Renomeado em seguida para Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes, subordinado diretamente ao Ministério dos Transportes, e posteriormente para Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, o GEIPOT entrou em processo de liquidação em 2000, ano de publicação do derradeiro AET. Os dados do AET não destacam frotas de ônibus, mas apenas as de transporte coletivo, envolvendo outros tipos de veículos.

Vinculado ao Ministério das Cidades, o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), órgão máximo executivo de trânsito da União e membro do Sistema Nacional de Trânsito (SNT), divulga estatísticas de frotas de veículos com base no licenciamento realizado anualmente pelos Departamentos de Trânsito dos Estados (DETRANs). No entanto, como esses dados parecem acumular a entrada anual de veículos nas frotas, sua exatidão talvez possa ser questionada quanto ao sucateamento e saída de circulação de veículos. Os dados do DENATRAN destacam os ônibus por municípios, no entanto sem distinguir os tipos de veículos e suas aplicações. Cruzando estes dados com a base de dados de municípios do IBGE foi possível obter números das frotas de ônibus das regiões metropolitanas⁷, apesar de não destacar os ônibus urbanos.

A Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), publica desde 1987 o Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira e declara usar como uma das fontes os dados do DENATRAN. Comparando dados

⁷ Ver Tabela 3 – Resumo da frota brasileira de ônibus, p. 20 e Apêndice 1 – Frotas de ônibus das Regiões Metropolitanas, p. 135.

dessas duas instituições, nota-se divergência entre os números referentes a frotas, provavelmente em função de estimativas realizadas pela ANFAVEA sobre os dados do DENATRAN⁸.

Informações sobre frotas específicas podem ser encontradas em entidades não governamentais, como por exemplo, nos Anuários Estatísticos da Associação Nacional dos Transportes Terrestres (ANTT) estão disponíveis dados de ônibus rodoviários interestaduais e internacionais. Dados sobre ônibus urbanos podem ser obtidos na Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), que pesquisa anualmente dados estatísticos das frotas de todo o Brasil. A pesquisa da ANTP é realizada através de questionários enviados a prefeituras, empresas de ônibus e órgãos gerenciadores de transportes públicos urbanos de municípios com população superior a 60.000 habitantes, nos quais é presumida a existência de um sistema de transporte organizado. Este universo abrange 437 municípios, que participam com 80% do PIB nacional, e onde residem 69% da população brasileira. Para efeito de totalização regional e nacional, a instituição estima as frotas de ônibus dos municípios com população inferior a 60.000 habitantes, que não são consultados, e de outros que eventualmente não respondam aos questionários⁹.

Como se pode perceber, o Brasil carece de um sistema de banco de dados completo e coeso sobre suas frotas de veículos, atualizado periodicamente em função da dinâmica do setor e disponível para toda a comunidade. Informações deste tipo são ferramentas indispensáveis à pesquisa nos setores de transportes, energia, economia, meio ambiente e ao planejamento da administração pública.

⁸ Como exemplo de divergência de dados temos a frota total de veículos automotores, informada como 21 milhões pela ANFAVEA, 23 milhões pelo GEIPOT e 41 milhões pelo DENATRAN (ver Tabela 3 – Resumo da frota brasileira de ônibus, p. 20).

⁹ ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. *Relatórios Técnicos*.

5.2 Frotas de ônibus

A Tabela 3 apresenta um resumo das frotas brasileiras de veículos automotores (total), veículos movidos a diesel, coletivos a diesel e ônibus de vários tipos. As frotas de ônibus são divididas entre regulares, que operam linhas controladas por órgãos públicos, e as de fretamento.

Tabela 3 Resumo da frota brasileira de ônibus

Tipos de veículos	Brasil	Regiões Metropolitanas	SP (UF)	RMSP	Município de São Paulo	Fonte / ano
Automotores (todos)	23.241.966	N.D.	12.673.590	N.D.	5.031.732	GEIPOT, 2000
	21.357.000	N.D.	7.788.898	N.D.	N.D.	ANFAVEA, 2003
	41.046.279	20.673.416	13.876.829	6.806.770	4.677.145	DENATRAN, 2005
	N.D.	N.D.	13.200.000	7.000.000	N.D.	PRODESP, 2001
Movidos a diesel	3.157.008	N.D.	969.251	N.D.	286.746	GEIPOT, 2000
	N.D.	N.D.	988.500	419.400	N.D.	PRODESP, 2001
Coletivos a diesel	420.187	N.D.	143.457	N.D.	57.116	GEIPOT, 2000
Ônibus	342.000	N.D.	111.218	N.D.	N.D.	ANFAVEA, 2003
	247.148	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	ANTP, 2003
	330.129	161.926	96.948	48.997	34.114	DENATRAN, 2005
Regulares	103.682	74.658	30.151	16.523	8.417	(somatório)
Urbanos	90.706	74.658	25.099	16.523	8.417	(somatório)
Municipais	67.244	53.038	20.131	12.496	8.417	ANTP, 2003; SPTrans, 2005
Metropolitanos	23.462	21.620	4.968	4.027	N.A.	ANTP, 2003; EMTU, 2005
Rodoviários	12.976	N.A.	5.052	N.A.	N.A.	(somatório),
Intermunicipais e suburbanos	N.D.	N.A.	5.052	N.A.	N.A.	ARTESP, 2005
Interestaduais e internacionais	12.976	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	ANTT, 2004
Fretamento	N.D.	N.D.	8.678	4.959	N.D.	ARTESP, 2005; EMTU, 2005

N.D.: Dado não disponível; N.A.: Não se aplica

Diante dos dados disponíveis sobre frotas de ônibus em circulação no Brasil, entre urbanos e outros tipos, pode-se constatar uma discrepância de até 38% entre o maior e o menor número: 247 mil veículos (ANTP, 2003) e 342 mil (ANFAVEA, 2003) (Tabela 3). Os ônibus rodoviários totalizam aproximadamente 13 mil unidades, operando em um regime médio de 9.300 quilômetros por mês, enquanto os urbanos somam cerca de 90 mil veículos, distribuídos em 920 municípios brasileiros.¹⁰ A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) possui uma das maiores frotas de ônibus urbanos do mundo, totalizando mais de 16 mil unidades em 2004. O

¹⁰ ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. *Relatórios Técnicos*.

município de São Paulo possui frota superior a oito mil ônibus urbanos, percorrendo em média oito mil quilômetros por mês.¹¹

Dentre as frotas regulares de ônibus, que podem ser urbanas ou rodoviárias, do ponto de vista ambiental o interesse maior está na substituição de diesel por gás natural nas frotas urbanas, tanto as municipais como as metropolitanas, que podem ser consideradas para análise dos potenciais de redução dos problemas causados pelo diesel, bem como do mercado potencial de outras tecnologias alternativas, em função das motivações de substituição de diesel.

Os números do GEIPOT indicam que 98% dos veículos de transporte coletivo usam diesel, e representam 13% de toda a frota movida a diesel.

¹¹ PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Transportes. SPTRANS - São Paulo Transporte S.A. *Frota Média em Operação*, São Paulo, 2004.

6 Impactos energéticos do uso de gás natural em ônibus

É comum em muitos países, inclusive no Brasil, a propaganda do gás natural veicular como um combustível limpo, cujo uso causa menos poluição que os derivados de petróleo. Embora a maioria das abordagens sobre ônibus a gás enfatize suas vantagens ambientais, uma das motivações para substituição de diesel por gás natural está relacionada à possibilidade de uma utilização mais conveniente dos recursos energéticos em função de sua disponibilidade no país.

Um argumento em favor do ônibus a gás natural pode ser sua contribuição à segurança energética¹² do país. Nos EUA, por exemplo, programas de incentivos à substituição de diesel são explicitamente embasados em questões de segurança energética, porque naquele país é grande a dependência externa de petróleo, enquanto se dispõe de abundante oferta de gás natural.¹³

No Brasil, parte do petróleo importado é usada para atender à demanda de diesel, pois enquanto há uma necessidade de importar petróleo com essa finalidade, por outro lado há um excesso de outros derivados¹⁴. O consumo excessivo de diesel intensifica a dependência do petróleo e contribui para o desequilíbrio da matriz energética nacional.

Convém analisar os principais aspectos energéticos do uso de diesel, para então avaliar em que medida a alternativa do ônibus a gás natural apresenta vantagens. Uma dessas vantagens seria o exemplo proporcionado à sociedade pelos programas de ônibus a gás, provocando um efeito de incentivo a outras iniciativas de redução de uso de derivados de petróleo, em consonância com os planos governamentais de elevar a participação do gás natural na matriz energética brasileira.

¹² A expressão *segurança energética* é freqüentemente usada no exterior, podendo ser entendida como a minimização das vulnerabilidades nacionais em relação a variações nos preços do petróleo, a riscos de desabastecimento causados por conflitos internacionais ou outros motivos.

¹³ Nos EUA a oferta de gás natural é originária 85% de sua produção doméstica, 12% de importação do Canadá e 3% do México (IEA, 2003), países com os quais as relações comerciais são bastante amistosas.

¹⁴ Ver item Importação de petróleo e auto-suficiência, p. 26.

6.1 Consumo de diesel no setor de transportes

No ano de 2003, o uso final de transportes foi responsável por 26% de toda a energia consumida no mundo, mesmo percentual observado no Brasil. O setor demandou 53% de todos os derivados de petróleo consumidos no Brasil, ficando próximo do percentual mundial, de 57% (Figura 3 e Figura 4).

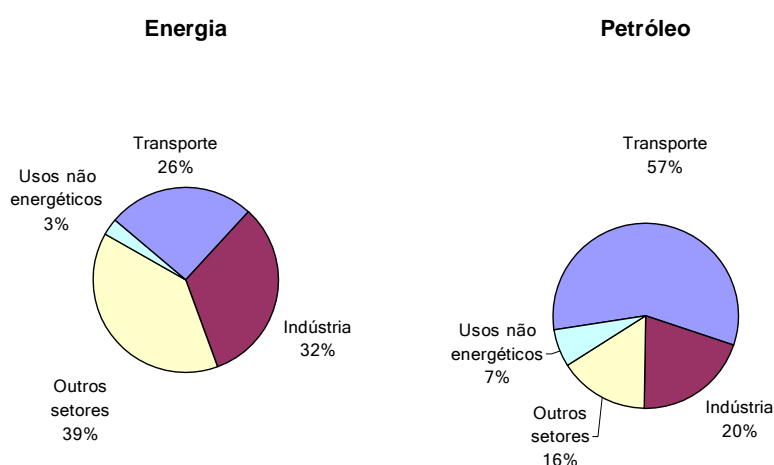


Figura 3 Consumo por setor da economia mundial (2003) ¹⁵

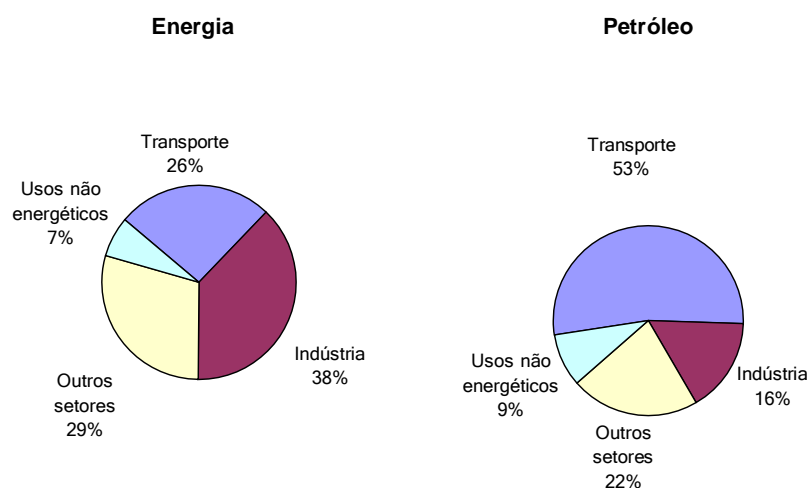


Figura 4 Consumo por setor da economia brasileira (2003) ¹⁶

¹⁵ Cálculos e formatação do autor com base em dados do IEA - Energy Balances for World, 2003.

¹⁶ Cálculos e formatação do autor com base em dados do BEN - Balanço Energético Nacional, 2003.

Ainda considerando dados do ano de 2003 resumidos na Tabela 4, percebe-se que o petróleo foi responsável por 85% de toda a energia consumida no setor de transportes no Brasil. Em nível mundial esta proporção foi ainda maior, atingindo 95%.¹⁷

Também pode ser verificada na matriz energética nacional uma forte presença do diesel, que representou 17% de todo o consumo de energia no país, contra um percentual de 14% no mundo.

A dependência de diesel nos transportes brasileiros é também mais intensa que a média mundial: enquanto no Brasil o setor de transportes demandou 81% de todo o diesel consumido, no mundo o percentual ficou em 63% (Tabela 4).

Tabela 4 Consumo de energia e derivados de petróleo em transportes ¹⁸

Consumo em 2003 (10 ³ tep)	Brasil			Mundo		
	Total	Transportes		Total	Transportes	
Energia (todas as fontes)	180.800	47.307	26%	6.747.343	1.754.472	26%
Derivados de petróleo	75.246	40.263	54%	2.868.917	1.664.676	58%
Óleo diesel	30.812	24.974	81%	930.931	586.385	63%
Energia (todas as fontes)	100%	100%	-	100%	100%	-
Derivados de petróleo	42%	85%	-	43%	95%	-
Óleo diesel	17%	53%	-	14%	33%	-

Sob aspectos de estratégia energética, essa dependência de diesel verificada no setor de transportes brasileiro é indesejável por várias razões, principalmente porque uma parte do diesel usado no Brasil é de origem importada. Por outro lado, o petróleo é um recurso cuja oferta no mundo está atualmente em seu pico, sendo previsto por especialistas o início de sua fase de declínio para os próximos anos, resultando em escalada de seu preço no mercado internacional.

¹⁷ Foi escolhido o ano de 2003 para este exemplo por motivo de indisponibilidade dos dados do balanço mundial do IEA referentes a 2004, desejáveis para efeitos de comparação, embora o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2004 já estivesse disponível na época da pesquisa. Em 2004, os percentuais citados neste item não sofreram grandes alterações no Brasil, em relação a 2003.

¹⁸ Cálculos, conversão de unidades e formatação do autor com bases em dados do IEA e BEN.

O modal rodoviário¹⁹ é o maior consumidor de diesel no Brasil, tendo sido responsável em 2003 pela demanda de 97% do consumo de diesel em transportes, de 79% de consumo nacional de diesel e de 41% do consumo nacional de derivados de petróleo.²⁰

O consumo de diesel em transporte rodoviário no Brasil tem crescido de forma aproximadamente linear nas últimas três décadas, a uma taxa média de 6% ao ano, conforme representado na Figura 5.

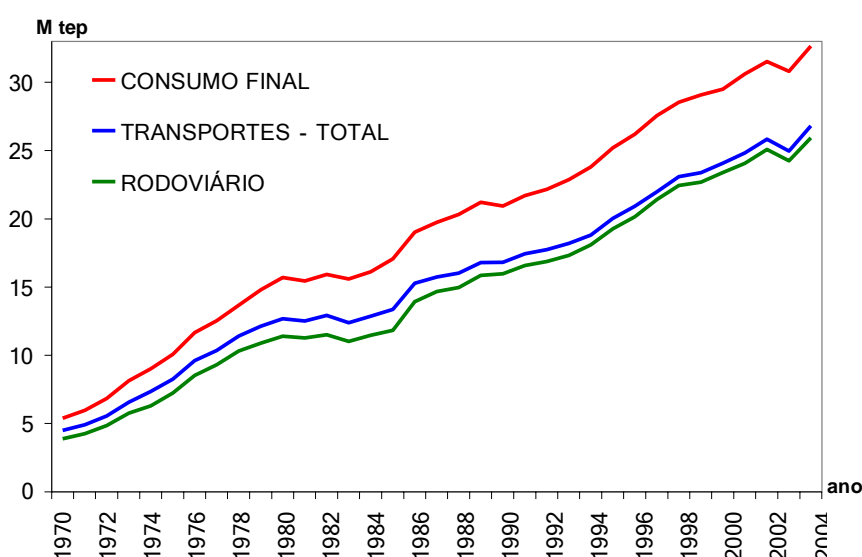


Figura 5 Evolução do consumo de óleo diesel no Brasil²¹

Os serviços de transporte coletivo urbano de quase todas as cidades de médio e grande porte do mundo têm sido realizados utilizando-se principalmente os ônibus, micro-ônibus e furgões, quase em sua totalidade movidos a óleo diesel. As

¹⁹ Por *modal rodoviário* entende-se aquele que abrange indistintamente todos os tipos de veículos de transporte sobre pneus. A expressão *ônibus rodoviário*, por seu turno, refere-se aos ônibus não urbanos, geralmente com apenas uma porta, dentre outras características específicas para operação em estações rodoviárias e rodovias. São responsáveis pelo transporte de passageiros em linhas internacionais, interestaduais e intermunicipais não metropolitanas, ou seja, não restritas aos municípios de uma região metropolitana.

²⁰ Cálculos e formatação do autor com base em dados do BEN - Consolidado 2003.

²¹ Cálculos e formatação do autor com base em dados do BEN - Consolidados 1970 a 2004.

propostas de substituição de diesel em ônibus visam inserir o gás natural da divisão de mercado de combustíveis nesse segmento de transporte.

Considerando as quantidades de ônibus das frotas nacionais já mencionadas neste capítulo, é possível estimar a participação desses veículos no consumo nacional de diesel. Para a frota nacional total considerada em 247 mil ônibus (Tabela 3), se aplicadas as premissas operacionais dos ônibus urbanos da Tabela 5, obter-se-ia um consumo de 9,4 bilhões de litros de diesel, ou oito milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), equivalente a um quarto do consumo nacional em 2004. No entanto, estes valores não podem ser assumidos como próximos da realidade, porque a maioria dos ônibus não está sujeita aos mesmos regimes de rodagem e consumo dos urbanos da cidade de São Paulo.

Tabela 5 Premissas operacionais de ônibus urbanos (cidade de São Paulo)

Ônibus	Diesel	Gás	Unidades
Regime de rodagem (1)	8.000	8.000	km/mês
Consumo médio urbano (1)	0,40	0,59	l/km; m ³ /km
	2,50	1,69	km/l; km/m ³
Consumo anual p/ veículo	38.400	56.640	litros; m ³
	33	50	tep

(1) SPTrans, 2001.

No entanto, aplicando-se as premissas operacionais da Tabela 5 somente para a frota de ônibus os urbanos, estimada em 90 mil unidades (Tabela 3), obtém-se um valor de consumo de 3,5 bilhões de litros de diesel, ou três Mtep, correspondente a 9% do consumo nacional em 2004. Estes números parecem representar de maneira relativamente coerente a participação dos ônibus urbanos no consumo nacional de diesel.

6.2 Importação de petróleo e auto-suficiência

Uma das motivações energéticas da substituição de diesel por gás natural é a redução da importação de diesel e petróleo com o objetivo de obter economia de divisas e melhorar o equilíbrio do balanço dos derivados.²² Este argumento parece perder força, em um primeiro momento, em função das recentes expectativas de

²² Ver item Importação de petróleo e balanço de derivados, p. 29.

obtenção da auto-suficiência nacional de petróleo nos próximos anos, que na verdade é uma situação há muito almejada pela Petrobrás e pelo governo brasileiro.

Embora o tema da auto-suficiência seja polêmico e controverso, é possível realizar um exercício de projeção de dados históricos de produção e consumo para visualização de sua perspectiva no Brasil. O gráfico da Figura 6 representa a evolução histórica da produção interna de petróleo e do total anual processado em refinarias brasileiras²³, cujo valor é próximo do consumo interno de derivados. A área entre as curvas expressa uma idéia do volume de importação de petróleo a cada ano, enquanto as linhas de tendências de produção e consumo indicam em sua interseção uma projeção do ponto de produção igual ao consumo por volta do ano de 2006. Não foram considerados nesta análise aspectos específicos do mercado consumidor e da indústria de exploração e produção de petróleo.

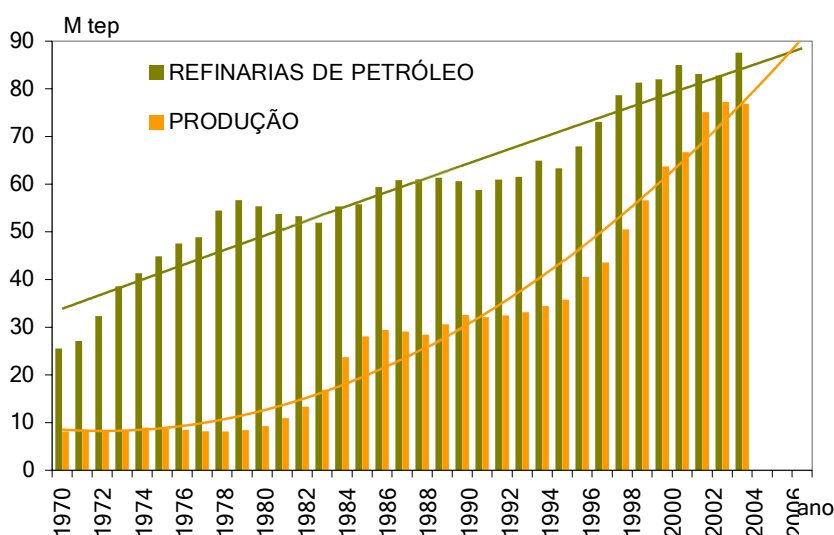


Figura 6 Perspectiva de auto-suficiência nacional de petróleo ²⁴

Também com base em séries históricas do Balanço Energético Nacional (BEN) desde o ano de 1970 pode-se projetar a situação de auto-suficiência específica para o diesel. A linha de tendência polinomial da curva de consumo de diesel de origem

²³ A conta 'REFINARIAS DE PETRÓLEO' do BEN expressa a soma de todo o petróleo refinado no país, incluindo o importado e o originário da produção nacional.

²⁴ Cálculos, projeção e formatação do autor com base em dados do BEN – Consolidados 1970 a 2004.

importada da Figura 7 aponta para a obtenção da auto-suficiência do diesel somente em 2010, mais tardiamente que para o petróleo, em 2006.²⁵

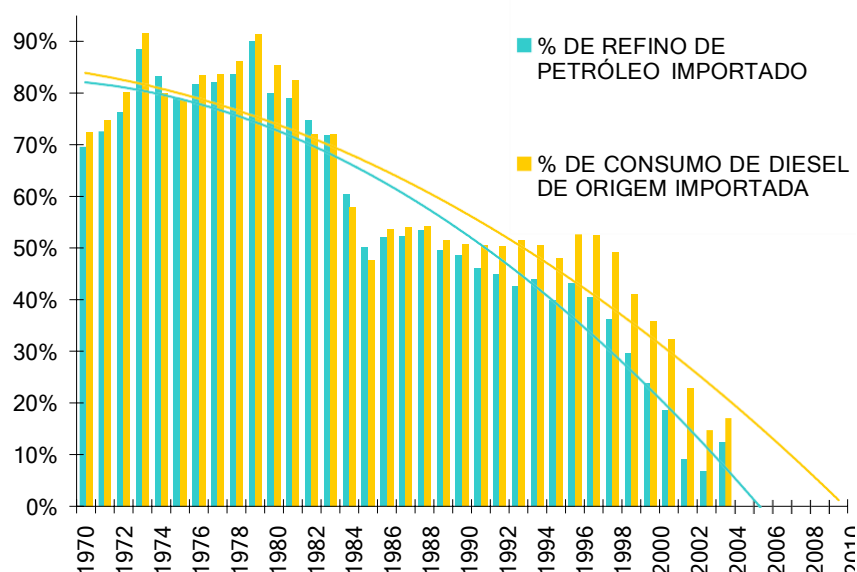


Figura 7 Perspectiva de auto-suficiência nacional de diesel e petróleo (1)²⁶

Uma projeção mais otimista pode ser obtida usando-se a mesma sistemática, porém com uma consideração de tendência mais recente, limitada aos últimos 17 anos, período em que se observa uma menor dispersão dos dados. A linha de tendência polinomial da curva de consumo de diesel de origem importada da Figura 8 projeta a auto-suficiência do diesel também para 2006.

Independentemente do ano em que ocorra a auto-suficiência, consensualmente prevista para 2006, especialistas do setor afirmam que a situação deverá ter duração de apenas quatro a oito anos, a depender da evolução do consumo e da produção, logo retornando o país à condição de dependência externa.²⁷ Esta fugacidade anunciada da auto-suficiência nacional de petróleo pode ser atribuída em parte ao fenômeno de exaustão das reservas de petróleo, que pode ser previsto com o uso

²⁵ A linha de tendência polinomial é um recurso de planilha eletrônica. No caso da curva de consumo de diesel de origem importada, a equação da linha de tendência é $y = -0,0004x^2 - 0,0053x + 0,8437$.

²⁶ Cálculos, projeção e formatação do autor com base em dados do BEN – Consolidados 1970 a 2004.

²⁷ Edmilson MOUTINHO DOS SANTOS; declaração disponível em:

<http://oglobo.globo.com/petroleo/blogs/eddie/default.asp?periodo=200412>.

do recurso matemático das curvas de Hubbert.²⁸ Por outro lado, o consumo tem crescido em média 4% ao ano desde 1970, sendo provável a manutenção de um ritmo nos próximos anos não muito diferente desta média.

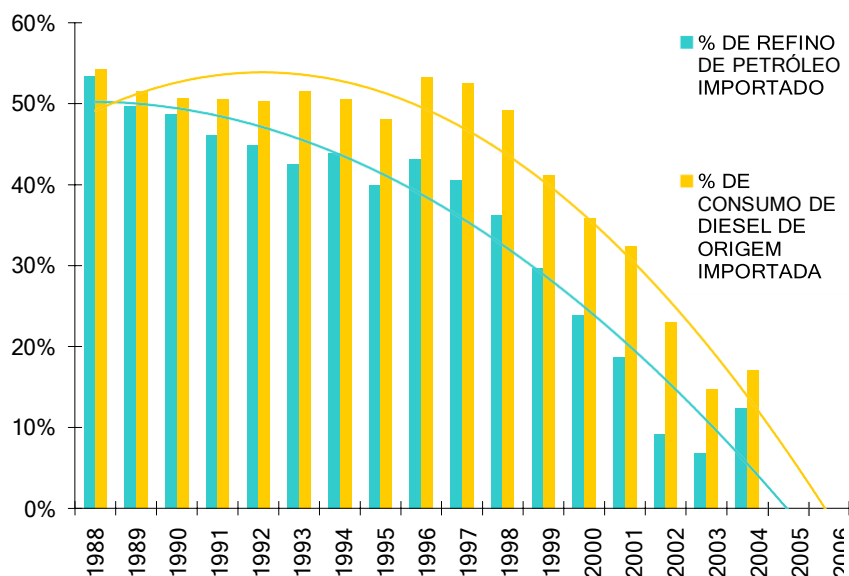


Figura 8 Perspectiva de auto-suficiência nacional de diesel e petróleo (2)²⁹

Diante deste cenário, permanece válido o argumento de redução da importação, em favor da substituição de diesel por gás natural em ônibus. Por outro lado, o eventual sucesso de novos programas de ônibus a gás natural nos próximos anos seria um fator de contribuição para se atingir a auto-suficiência de petróleo no Brasil.

6.3 Importação de petróleo e balanço de derivados

Pode ser observado recentemente no Brasil que ocorre simultaneamente importação de alguns derivados e exportação de outros. Este fenômeno de desequilíbrio do balanço dos derivados ocorre porque suas demandas de consumo não coincidem com as proporções do refino.

O processo de refino de petróleo permite a produção de cada derivado em quantidades proporcionais entre si, em faixas de percentuais não muito flexíveis. Nas refinarias brasileiras, por exemplo, o diesel tem sido obtido nos últimos dez anos

²⁸ Ver Anexo 2 - Curvas de Hubbert para petróleo e gás, p.139.

²⁹ Cálculos, projeção e formatação do autor com base em dados do BEN – Consolidados 1970 a 2004.

em proporções energéticas variando entre 32 e 38% do petróleo processado.³⁰ A decisão pela obtenção de percentuais maiores de um determinado derivado pode requerer processamentos adicionais, resultando em elevação do seu custo final. A Tabela 6 mostra os percentuais de refino ocorridos no ano de 2004.

Pode ser notado na última coluna da Tabela 6 que as refinarias nacionais processaram em 2004 um montante de 5,8 Mtep de petróleo a mais do que o consumido internamente, enquanto houve importação de 10,8 Mtep de óleo cru.³¹ Hipoteticamente, se as proporções de consumo e refino coincidissem, essa importação poderia ser reduzida para aproximadamente a metade.

Tabela 6 Consumo e proporção de refino de derivados (2004)³²

DERIVADO	M tep							
	ÓLEO DIESEL	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GASOLINA	GLP	NAFTA	QUEROSENE	OUTROS DERIVADOS	TOTAL
CONSUMO FINAL	32,7	6,4	13,6	7,2	7,2	2,4	13,2	82,7
PROPORÇÃO DE CONSUMO (MÉDIA NO ANO)	39%	8%	16%	9%	9%	3%	16%	100%
REFINARIAS DE PETRÓLEO	33,3	16,2	14,2	5,0	6,7	3,5	9,6	88,5
PROPORÇÃO DE REFINO (MÉDIA NO ANO)	38%	18%	16%	6%	8%	4%	11%	100%

Um melhor equilíbrio do balanço de derivados poderia ser obtido, por exemplo, reduzindo-se o consumo de diesel, que resultaria em redução de importação de petróleo. O balanço de consumo e oferta de derivados pode ser visto em maiores detalhes na Figura 9.

Pode ser visualizado na Figura 9 que o diesel é o derivado que apresenta o maior déficit entre consumo e produção nacional. Por esse motivo, é grande seu potencial para contribuir para o equilíbrio do balanço de derivados, através da redução gradativa em seu consumo.

Embora o excesso de derivados das refinarias seja exportado, o que poderia representar uma compensação da perda de divisas gerada na importação de diesel, esta situação de desequilíbrio ainda pode ser considerada indesejável. Considerando que a produção brasileira de petróleo provavelmente começará a

³⁰ Cálculos do autor com base em dados do BEN - Consolidados 1994 a 2004.

³¹ Cálculos do autor com base em dados do BEN - Consolidado 2004.

³² Formatação e cálculos do autor com base em dados do BEN - Consolidado 2004.

entrar em declínio na década de 2010³³, o montante energético do que hoje é exportado em forma de derivados provavelmente precisará ser importado no futuro, a preços certamente mais altos.

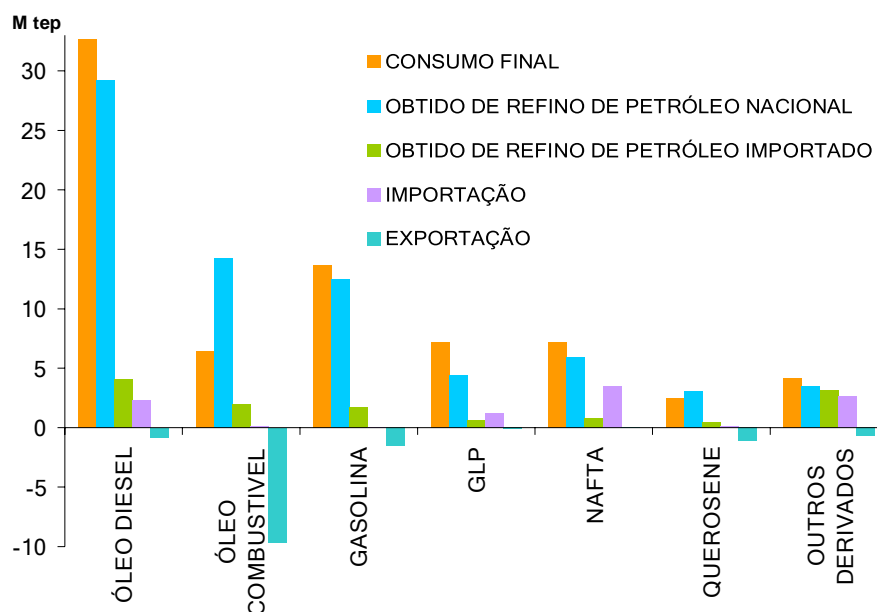


Figura 9 Consumo e oferta de derivados (2004) ³⁴

6.4 Impactos do ônibus a gás na importação de petróleo (economia de divisas)

A importação de diesel representa uma perda de divisas considerável para o país. No ano de 2004, a importação de 5,6 Mtep de diesel,³⁵ energeticamente equivalente a aproximadamente 42 milhões de barris de petróleo, pode ser avaliada em um custo de US\$ 2,5 bilhões em divisas, se considerada a cotação média de US\$ 60 por barril de petróleo no ano de 2005.

Considerando que um ônibus urbano padrão substituído por um equivalente a gás evita o consumo anual de 33 tep de diesel³⁶, pode-se projetar o potencial de importação que pode ser evitada com a substituição gradual da frota brasileira, como

³³ Ver Figura 28 - Curvas de Hubbert para petróleo - Brasil, p. 139, Anexo 2.

³⁴ Formatação e cálculos do autor com base em dados do BEN - Consolidado 2004.

³⁵ Cálculos do autor com base em dados do BEN - Consolidado 2004.

³⁶ Ver Tabela 3, p. 20.

uma função linear apresentada no gráfico da Figura 10, no qual foram considerados os dados de 2004 e as premissas operacionais definidas na Tabela 5, p. 26.

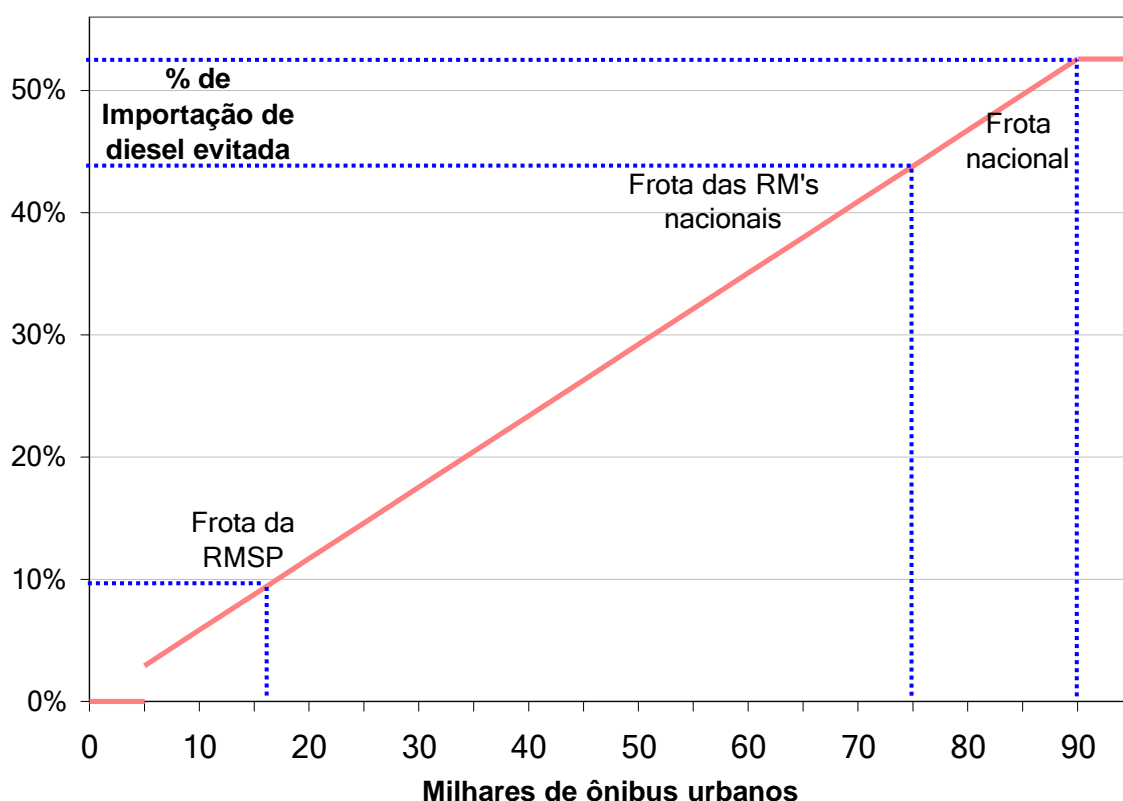


Figura 10 Potencial de redução de importação de diesel

A substituição de toda a frota nacional de ônibus urbanos para gás natural reduziria em 53% a importação de diesel, enquanto que na substituição total da frota da RMSP esta redução seria em torno de 10%. Para a soma das frotas das regiões metropolitanas, a redução seria de 44%.

O consumo da frota total de ônibus urbanos (90 mil unidades) em 2004, estimado em 3 Mtep diesel, corresponde energeticamente a cerca de 22 milhões de barris de petróleo, ou US\$ 1,3 bilhão. Esta importância equivale a 53% da perda de divisas total decorrente da importação de diesel no Brasil, logo, a substituição de diesel em toda a frota urbana teria em 2004 este potencial de redução de importações e economia de divisas.

O consumo anual de cada ônibus a diesel equivale em média a US\$ 14 mil em petróleo importado, com referência ao ano de 2004. A economia de divisas proporcionada por um ônibus a gás natural durante uma vida útil de dez anos, ou seja, de US\$ 140 mil, poderia ser revertida em seu próprio favor em forma de

subsídio, se computada como um crédito na contabilidade dos custos de implementação da frota, considerando que o ônibus a gás natural tem um custo adicional de aquisição, em média 20 a 30% superior a um equivalente a diesel³⁷.

Por outro lado, a argumentação de uma economia potencial de divisas para o país devida ao uso do ônibus a gás deve ser analisada com cuidado, porque parte do gás natural disponível no Brasil também é de origem importada, ou seja, a redução da importação de diesel poderia ter como consequência o uso de outro combustível importado.

Segundo a ANP, pouco menos da metade da oferta de 48 milhões de m³ por dia de gás natural em 2004 foi de origem importada. A produção nacional foi de 46 milhões de m³ por dia, enquanto a produção líquida foi de 26 milhões de m³ por dia, descontadas as perdas, queima, reinjeção e o consumo próprio da Petrobrás. A importação foi de 22 milhões de m³ por dia, tendo sido a maior parte do volume originário da Bolívia (89%) e o restante da Argentina. O gás boliviano é escoado para o Brasil através do gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL), cuja capacidade máxima é de 30 milhões de m³ por dia.³⁸

A importação do gás natural boliviano é regida por um contrato assinado em 1996, com vigência de 20 anos, renovável, que inclui a cláusula *take-or-pay*, que estabelece o pagamento fixo uma quantidade mínima de gás, mesmo que o volume efetivamente consumido seja inferior a este valor.³⁹ Na prática, o Brasil está pagando por um volume de gás superior ao que consome, o que torna conveniente a inserção de novos usos finais para aumentar a demanda deste combustível.

Feitas essas considerações, entende-se que a substituição de diesel por gás natural representa economia de divisas, mesmo havendo importação deste último. Os percentuais apresentados neste item são significativos, colocando a redução da

³⁷ O preço médio de um ônibus Padron de 13,2 m a diesel no Brasil é de US\$ 130 mil.

³⁸ ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Boletim mensal do gás natural, 2004.

³⁹ O gasoduto Bolívia-Brasil, operado pela Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S/A - TBG, tem mais de 3000 km de extensão ao longo dos estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Indiretamente também atende Rio de Janeiro e Minas Gerais.

importação de diesel como um forte argumento em favor do ônibus a gás, em termos de estratégia energética para o país.

6.5 Diversificação da matriz energética

Em muitos países existe a preocupação em se adequar suas matrizes energéticas para reduzir a dependência de petróleo e favorecer outras fontes primárias estrategicamente mais convenientes.

A seqüência de gráficos apresentada a seguir ilustra a evolução da matriz energética nacional e da matriz do setor de transportes, nos quais estão evidenciadas as participações do diesel e do gás natural no decorrer das últimas três décadas. A Figura 11 revela um discreto incremento no percentual de diesel na matriz nacional ao longo do período, aparecendo em 2004 com os quatorze por cento mencionados na Tabela 4 (p. 24), enquanto o gás natural vem evoluindo de maneira tímida, atualmente com participação inferior a dez por cento.

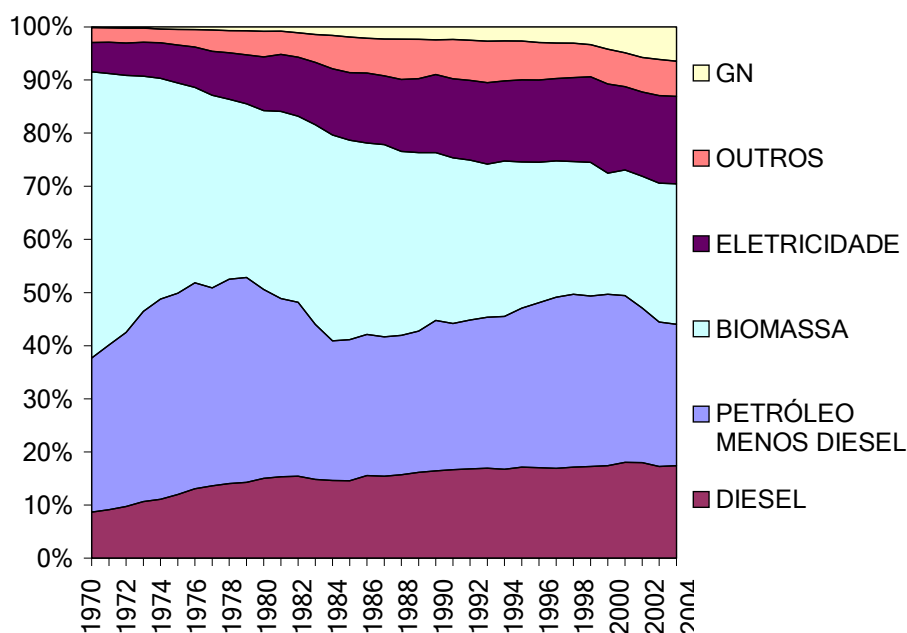


Figura 11 Matriz energética nacional - energia final para todos os usos (%) ⁴⁰

A Figura 12 mostra o peso do diesel na matriz energética de transportes, bem como o aparecimento da participação do gás natural a partir da segunda metade da década de 1990, atualmente com menos de 5% do mercado atual no setor.⁴¹

⁴⁰ Formatação e cálculos do autor com base em dados do BEN - Consolidados 1970 a 2004.

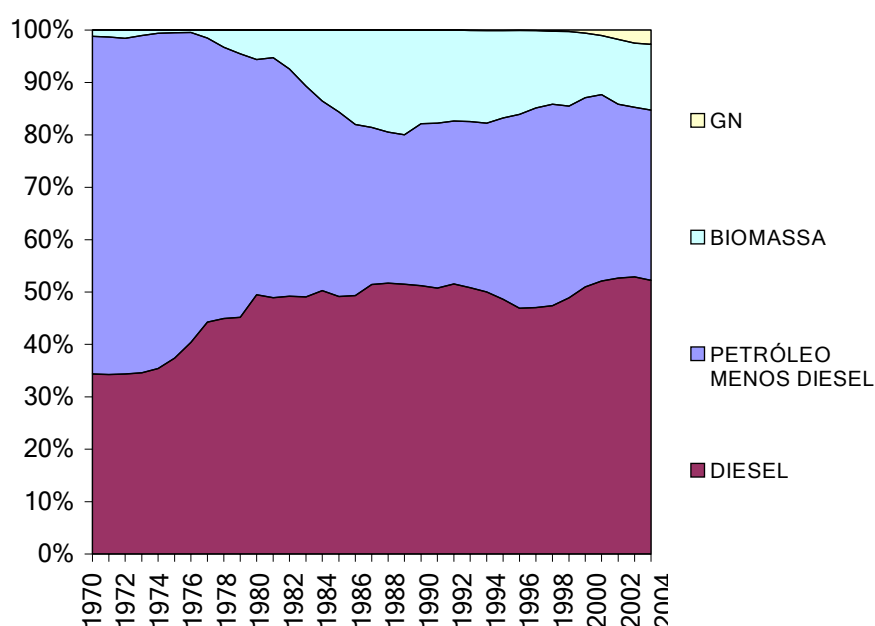


Figura 12 Matriz energética nacional de transportes (%) ⁴²

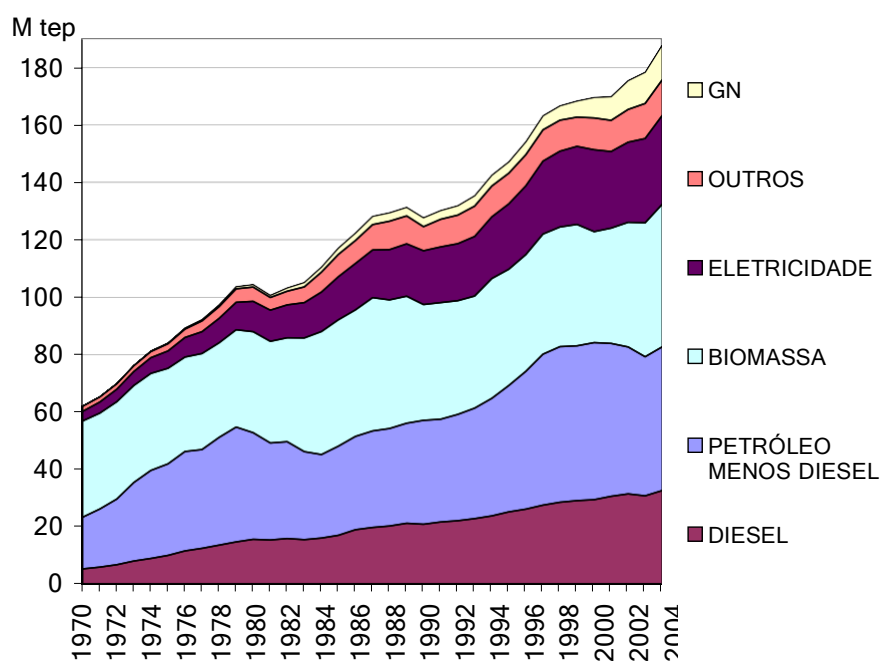


Figura 13 Matriz energética nacional - energia final para todos os usos ⁴³

⁴¹ O fenômeno do auge do Proálcool pode ser notado na década de 1980, com o avanço de biomassa sobre o espaço da gasolina mercado (Figura 11).

⁴² Formatação e cálculos do autor com base em dados do BEN - Consolidados 1970 a 2004.

⁴³ *Ibid.*

A tendência de crescimento do consumo de diesel é ilustrada na Figura 13 (consumo total) e na Figura 14 (transportes).

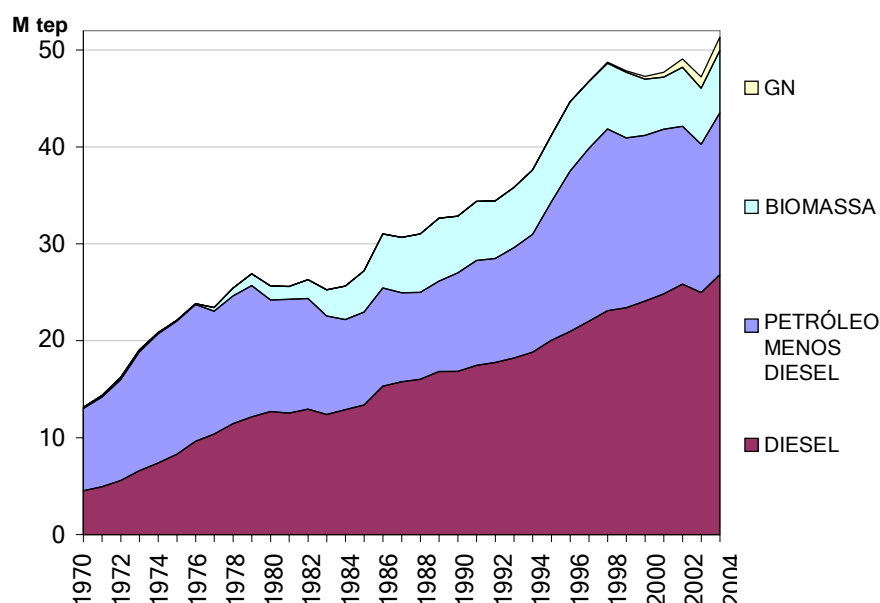


Figura 14 Matriz energética nacional de transportes ⁴⁴

Mais abundante que o petróleo em muitos países, o gás natural se apresenta especialmente estratégico para o Brasil em face de sua grande disponibilidade e da crescente perspectiva de sua oferta em longo prazo, tanto por importação de países vizinhos como originário das reservas nacionais, ampliadas após as recentes descobertas na bacia de Santos, anunciadas em 2003. Diante desses aspectos, iniciativas que estimulem o uso de gás natural têm sido consideradas de grande conveniência para a segurança energética nacional.

6.6 Impactos do ônibus a gás na matriz energética

O consumo final de gás natural no Brasil em 2004 foi de 12 Mtep 38 milhões de m³ por dia correspondendo a 6,4% de toda a energia consumida no país.⁴⁵

O Plano Estratégico 2015, lançado pela Petrobrás em 2004, tem como uma de suas metas o incremento do mercado de gás natural brasileiro para 77,6 milhões de m³ por dia em 2010, significando um crescimento anual de 14%. Isso significa aumentar

⁴⁴ Formatação e cálculos do autor com base em dados do BEN - Consolidados 1970 a 2004.

⁴⁵ Cálculos do autor com base em dados do BEN – *Balanco Energético Nacional*, Consolidado 2004.

a participação do gás natural na matriz energética dos atuais 6,4% para algo em torno de 15%.

A substituição de diesel por gás natural na frota de ônibus urbanos poderia ser uma forma de contribuir com esta meta. Um ônibus a gás natural pode potencialmente consumir 50 tep por ano, ou 156 m³ por dia. Toda a frota urbana nacional (90 mil ônibus) movida a gás natural consumiria 14 milhões de m³ por dia, correspondendo a um terço do crescimento esperado pelas metas da Petrobrás.

O gráfico da Figura 15 mostra o potencial de incremento do consumo de gás em relação ao ano de 2003, simulado em função da substituição gradual da frota nacional de ônibus. São levadas em consideração as premissas operacionais definidas na Tabela 5, p. 26.

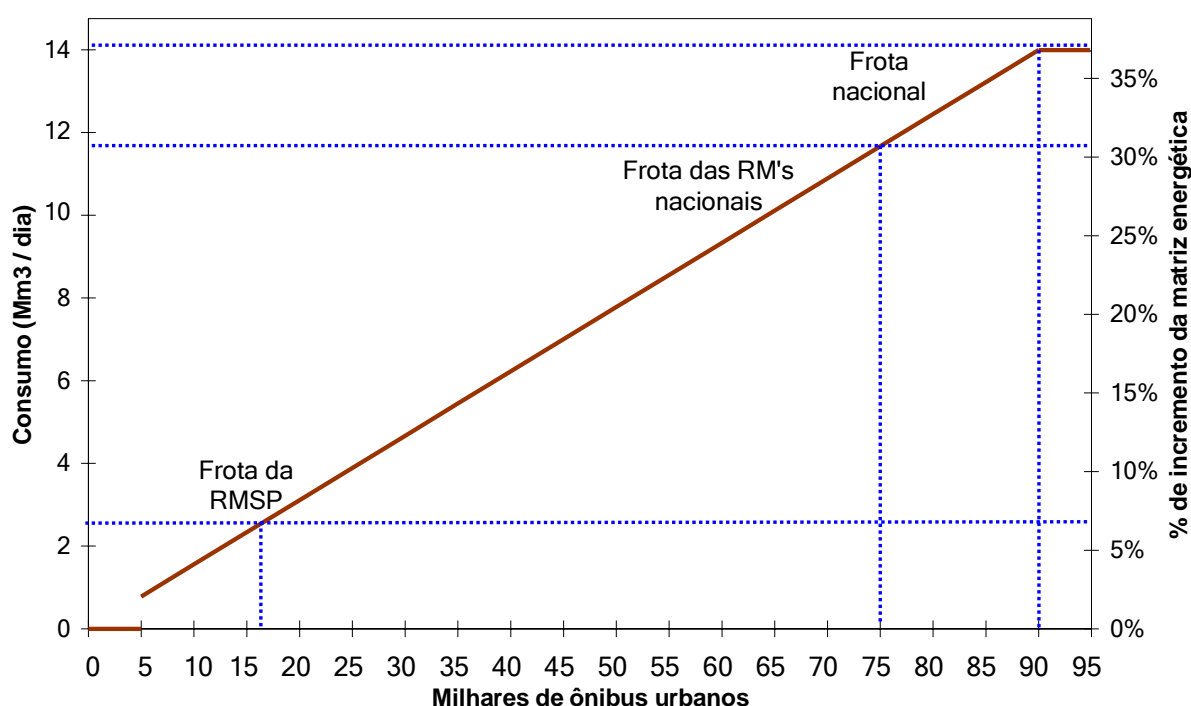


Figura 15 Potencial de incremento do consumo de gás natural

A substituição de toda a frota nacional representaria um crescimento da participação do gás natural na matriz energética, dos atuais 6,5% (em 2003), para 9%. O consumo da frota da RMSP a gás seria de 2,5 milhões de m³ por dia, enquanto as frotas de todas as regiões metropolitanas brasileiras consumiriam 11 milhões de m³ por dia.

Diante da política do governo brasileiro de massificação do uso de gás natural, o potencial de incremento de consumo pode ser considerado como um argumento válido em termos de estratégia energética em favor do ônibus a gás.

Evidentemente a substituição de diesel por gás natural em toda a frota nacional não seria uma meta factível, por causa de uma série de empecilhos, como por exemplo, a disponibilidade de gás natural em todas as áreas urbanas do país. Porém, a substituição de um percentual da frota, em torno de 10% pode ser considerada razoável e possível de se realizar. Desta forma, as eventuais vantagens relativas à diversificação da matriz energética e redução de importação de diesel ocorreriam proporcionalmente.

7 Impactos ambientais do uso de gás natural em ônibus

A motivação ambiental é o aspecto mais freqüentemente enfatizado quando é abordada a substituição de diesel por gás natural em ônibus. Um dos motivos desta ênfase é a atualidade do tema “meio ambiente”, refletindo a crescente preocupação da sociedade em se preservar condições idealmente favoráveis à vida saudável do ser humano e da natureza.

A queima de combustíveis no setor de transportes causa impactos ambientais de alcance global, como o aumento do efeito estufa, impactos regionais, como a formação de chuva ácida, e impactos locais, como o aumento da concentração de poluentes de efeito tóxico na atmosfera. Os principais poluentes locais são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), o material particulado (MP), os hidrocarbonetos (HC) e os óxidos de nitrogênio (NO_x). O ozônio (O₃), um importante poluente, não é emitido diretamente pelos veículos, mas é produzido na atmosfera em reações químicas a partir do NO_x e de outros compostos, na presença da radiação solar.

A motivação ambiental do ônibus a gás é fundamentada na expectativa de redução da poluição atmosférica nas áreas urbanas e da redução da poluição global, partindo da premissa de que o gás natural veicular é um combustível limpo, cujo uso resulta em poluição menor que a causada pelo uso dos derivados de petróleo, inclusive emitindo menos gases de efeito estufa. Os programas de implantação de ônibus a gás natural em todo o mundo são em sua maioria originados por causa da necessidade de se reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera, e são orientados por limites progressivos de redução a serem obedecidos, definidos em legislações específicas.

Convém analisar os principais aspectos ambientais do uso de diesel e do uso de gás natural, ou seja, em termo de emissões de gases poluentes dos escapamentos dos veículos, para então avaliar em que medida a alternativa do ônibus a gás ameniza os problemas de poluição, proporcionando benefícios à saúde da população e reduzindo a emissão de gases de efeito estufa.

7.1 Poluição atmosférica local causada por veículos a diesel

O setor de transportes tem assumido nas últimas décadas o papel de maior causador de poluição do ar nas cidades, constituindo um problema de saúde pública importante, com severas conseqüências sociais. Os veículos a diesel estão entre os mais nefastos em termos de emissões nocivas à saúde humana.

As emissões originadas pelo uso de veículos automotores podem ser divididas em:⁴⁶

- Emissões de gases e partículas - produtos da combustão - lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento do veículo;
- Emissões evaporativas na forma de hidrocarbonetos, lançadas na atmosfera através de evaporação do combustível no interior do veículo;
- Emissões de gases do cárter do motor, que são subprodutos da combustão que passam pelos anéis de segmento e por vapores do óleo lubrificante;
- Emissões de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios e embreagem;
- Ressuspensão de partículas de poeira do solo causada pela circulação dos veículos;
- Emissões evaporativas de combustível nas operações associadas ao seu armazenamento e abastecimento.

Alguns dos principais produtos da combustão em veículos automotores são o dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não oxidados ou parcialmente oxidados (HC), aldeídos (R-CHO), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado (MP). O ozônio troposférico (O_3) tem a sua formação associada à presença de HC e NO_x . Alguns poluentes são regulados, tendo seus limites de emissão definidos por legislação de controle ambiental. No Brasil, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) estabelece limites progressivos de redução de emissões de CO , HC , NO_x e MP .

⁴⁶ Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA) COPPE/UFRJ. Avaliação do PROCONVE - Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores.

Os principais danos à saúde⁴⁷ causados por emissões dos motores ocorrem em nível local, como função de condições favoráveis ou não à dispersão de poluentes em uma área urbana. Os problemas de poluição causados por veículos geralmente são mais intensos nas cidades grandes, que possuem frotas concentradas em áreas densamente ocupadas, onde a dispersão dos poluentes para fora das zonas urbanas normalmente é problemática, salvo os casos de cidades que apresentam condições geográficas e atmosféricas excepcionalmente favoráveis. À medida que aumenta a densidade urbana, o volume das emissões se eleva e as condições para sua dispersão tendem a se reduzir, intensificando os incômodos e tornando mais perceptíveis os problemas de saúde causados pela poluição do ar, característicos das megalópoles.

A escolha das cidades de grande porte e regiões metropolitanas, como a de São Paulo, é bastante conveniente como exemplo de caso para análise dos impactos da introdução de frotas de ônibus a gás na poluição local. A RMSP enfrenta um problema crônico de poluição e conta com um serviço de monitoramento permanente da qualidade do ar realizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que disponibiliza em seus relatórios informações essenciais para esse tipo de estudo.

Estimou-se que em 2004 os veículos a diesel foram causadores de aproximadamente 30% das emissões totais na RMSP,⁴⁸ lançando diariamente na atmosfera mais de duas mil toneladas de poluentes, entre material particulado (MP), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), e hidrocarbonetos (HC). Veículos a gasolina e álcool responderam por 63% das emissões na RMSP, enquanto as indústrias apareceram com 4% (Tabela 7).

⁴⁷ Ver Anexo 4 - *Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera*, p. 141.

⁴⁸ CETESB - Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2004, p. 3.

Tabela 7 Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar na RMSP ⁴⁹

FONTE DE EMISSÃO		EMIÇÃO (1000 t/ano)					Total (massa)	
		CO	HC	NO _x	SO _x	MP ⁴		
MÓVEIS	TUBO DE ESCAPAMENTO DE VEÍCULOS	GASOLINA C ¹	811,4	83,2	45,6	8,1	5,4	953,7
		ÁLCOOL	217,8	23,6	13,1	-	-	254,5
		DIESEL ²	413,5	65,7	295,7	11,9	16,4	803,2
		TÁXI	2,2	0,4	0,5	0,3	0,1	3,5
		MOTOCICLETA E SIMILARES	261,2	34,4	1,6	0,5	0,7	298,4
	CÁRTER EVAPORATIVA	GASOLINA C	-	135,4	-	-	-	135,4
		ÁLCOOL	-	17,4	-	-	-	17,4
		MOTOCICLETA E SIMILARES	-	20,3	-	-	-	20,3
	PNEUS ³	TODOS OS TIPOS	-	-	-	-	8,6	8,6
	OPERAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE COMBUSTÍVEL	GASOLINA C	-	11,6	-	-	-	11,6
		ÁLCOOL	-	0,5	-	-	-	0,5
FIXA	OPERAÇÃO DE PROCESSO INDUSTRIAL	38,6	12,0	14,0	17,1	31,6	113,3	
TOTAL		1745	415	408	37	66	2.671	
Parcela devida a veículos movidos a diesel		24%	16%	72%	32%	25%	30%	

1 - Gasolina C: gasolina contendo 22% de álcool anidro e 600ppm de enxofre (massa)

2 - Diesel: tipo metropolitano com 1100ppm de enxofre (massa)

3 - Emissão composta para o ar (partículas) e para o solo (impregnação)

4 - MP refere-se ao total de material particulado, sendo que as partículas inaláveis são uma fração deste total

A Tabela 7 revela que as fontes móveis são as maiores responsáveis pela poluição atmosférica da Região Metropolitana de São Paulo. Enquanto boa parte das indústrias da RMSP foi desativada ou deslocada para outras regiões, sua frota de veículos aumentou significativamente nas últimas décadas do século XX.

Uma estimativa de emissões devidas à frota total de ônibus urbanos no Brasil pode ser vista na Tabela 8. Apesar do ônibus a diesel ser o elemento poluidor para o qual buscam-se novas alternativas, convém comentar sua vantagem em relação ao automóvel particular. Segundo estudo da ANTP,⁵⁰ o transporte individual emite 4,9 vezes mais poluentes locais e 1,8 vez mais CO₂ que o transporte público.

⁴⁹ CETESB - Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2004, p. 3; adaptação do autor.

⁵⁰ ANTP - Relatório: Perfil do Transporte e Trânsito Urbanos - 2003, p. 138.

Tabela 8 Emissões dos ônibus no transporte coletivo no Brasil ⁵¹

Emissões em 1.000 t

Faixa de população (mil hab.)	Emissão de poluentes locais			Emissão de CO ₂			Emissões totais
	Sistema de ônibus municipal	Sistema de ônibus metropolitano	Total de poluentes locais	Sistema de ônibus municipal	Sistema de ônibus metropolitano	Total de CO ₂	
a. 60 - 250	43	29	72	1.372	904	2.276	2.348
b. 250 - 500	30	16	46	942	502	1.444	1.490
c. 500 - 1.000	24	10	35	768	326	1.094	1.129
d. + de 1.000	79	8	87	2.506	255	2.761	2.848
Total	176	63	239	5.588	1.987	7.576	7.815

Segundo FULTON (2001),⁵² não obstante se um ônibus seja "limpo" ou "sujo", se estiver razoavelmente lotado ele substitui de 10 a 40 veículos particulares motorizados. As conseqüentes economias do combustível e reduções de poluentes como CO₂ poderiam ser muito maiores do que os benefícios potenciais de fazer um melhoramento do combustível ou da tecnologia do ônibus. Assim, colocar ônibus em circulação, e oferecer um serviço que atraia e satisfaça os passageiros, seria, segundo FULTON, a melhor estratégia para fornecer sistemas de transporte eficientes e sustentáveis.

Como crítica a esta afirmação de FULTON, cabe comentar que a simples oferta incremental de ônibus nas ruas não é suficiente para atrair o cidadão e convencê-lo a deixar seu automóvel em casa, e meras melhorias realizadas apenas no quesito conforto do ônibus também não bastam. Todo o sistema de transporte teria de ser melhorado em vários aspectos, como capilaridade, segurança, rapidez, etc.

7.2 Impactos do ônibus a gás nas emissões locais na RMSP

Os ônibus urbanos da RMSP correspondem a 4% do total de veículos a diesel, considerando os dados da Tabela 3 (p. 20). A frota de 16 mil ônibus é quase em sua totalidade movida a diesel, e por sua vez, os veículos a diesel totalizam 420 mil unidades.

⁵¹ ANTP - Relatório: Perfil do Transporte e Trânsito Urbanos - 2003, p. 137, tabela adaptada pelo autor.

⁵² Lew FULTON. *Sustainable transport: new insights from the IEA's worldwide transit study*, p. 23.

Poder-se-ia afirmar, em princípio grosseiramente, que, com uma participação de 4% na frota a diesel da RMSP, os ônibus urbanos contribuiriam com emissões de poluentes em percentual na mesma ordem de grandeza, embora se saiba que os padrões de emissões e rodagem diferem entre os ônibus e os outros tipos de veículos a diesel. Admitindo-se esta consideração como razoável, pode-se atribuir aos ônibus urbanos uma contribuição de cerca de 1%⁵³ da poluição do ar na RMSP.

Em termos de massa total de poluentes lançados à atmosfera urbana na RMSP, o potencial máximo proporcionável pela substituição de diesel por gás natural em ônibus urbanos seria inferior a 1% de impacto na redução de poluição local, mesmo que toda a frota fosse substituída.

Corroborando esta assunção, ao se considerar os fatores de emissão de ônibus a diesel convencional e as premissas operacionais da Tabela 5 (p. 26), também pode ser obtido um percentual médio de 1% de participação da frota urbana de ônibus nas emissões da RMSP (Tabela 9) variando entre 0,2 para MP e 3,1% para NO_x.

Tabela 9 Participação da frota de ônibus urbanos nas emissões da RMSP⁵⁴

Emissões na RMSP, dados de 2004.	CO	HC	NO_x	MP
Emissões totais (1000 t/ano) (1)	1745	415	408	66
Fatores de emissão para ônibus a diesel (g/km) (1)	4,5	1,1	8,0	0,1
Emissões devidas aos ônibus urbanos (1000 t/ano)	7,1	1,7	12,7	0,2
Parcela devida aos ônibus urbanos	0,4%	0,4%	3,1%	0,2%
Fatores de emissão para ônibus a gás (g/km) (2)	2,0	2,3	3,5	0,01
Redução de emissões devido ao uso do ônibus a gás	56%	-109%	56%	90%

(1) Fonte: CETESB

(2) Fonte: IANGV

O impacto da substituição de ônibus a diesel por gás natural, ou por qualquer outro tipo, como por exemplo o trolebus, que não emite gases de combustão, não seria muito significativo para mudar uma paisagem típica da capital de São Paulo, que nos

⁵³ Quatro por cento da participação dos veículos a diesel, que por sua vez é de 30%.

⁵⁴ Formatação e cálculos do autor. Dados de fatores de emissões citados por Suzana K. RIBEIRO, Estudo das vantagens ambientais do gás natural veicular: O caso do Rio de Janeiro, p. 50 e 51.

dias mais desfavoráveis exibe uma assustadora barra escura de poluição que pode ser vista de vários pontos da metrópole (Figura 16).



Figura 16 Vista aérea da RMSP ⁵⁵

A mudança desta melancólica paisagem requer o controle das outras fontes de emissões, que como visto na Tabela 7, são em sua maioria fontes móveis. A substituição de todos os veículos a diesel por alternativas menos poluentes, por sua vez, teria efeitos visíveis, reduzindo significativamente a poluição. A situação ideal para a maioria das metrópoles seria o banimento total do diesel convencional das áreas urbanas, reservando seu uso para outras aplicações. Uma frota urbana de ônibus a gás natural pode servir de estímulo para o avanço de ações voltadas à melhoria da qualidade do ar.

O banimento total do diesel convencional da RMSP teria um potencial ambiental bem mais interessante, pois como foi visto na Tabela 7 (p. 42), os veículos a diesel são responsáveis por cerca de 30% das emissões totais na RMSP. No entanto, a substituição da totalidade dos veículos a diesel circulantes na RMSP, como ônibus, micro-ônibus, furgões, caminhões de grande, médio e pequeno portes e caminhonetes, por veículos a gás natural implicaria em uma operação de extrema complexidade. Seria necessário envolver considerável quantidade de instituições

⁵⁵ Foto: CETESB.

públicas e empresas, certamente esbarrando em dificuldades importantes para sua viabilização. Por exemplo, os veículos de carga em geral circulam fora na região metropolitana e viajam por localidades desprovidas de abastecimento de gás. Mais adequado seria buscar inicialmente a substituição de uma frota específica, como a de ônibus urbanos, por exemplo, que envolve somente o setor de transporte de passageiros, simplificando o processo. O ônibus funcionaria como “ponta de lança” para um programa mais abrangente, e seu eventual êxito serviria de modelo para o desenvolvimento do mercado de veículos pesados em geral movidos a gás, possibilitando estender os programas de conversão para os demais veículos de passageiros a diesel e para o setor de transporte de cargas. Por exemplo, estima-se que circulam na Região Metropolitana de São Paulo cerca de quinze mil veículos urbanos de carga (VUC’s), que são caminhões de até oito toneladas que poderiam ser equipados com motores a gás natural.

Apenas um por cento de impacto de redução de poluição urbana, como foi concluído anteriormente neste item, não parece um número muito significativo, em termos absolutos, como resultado de um programa de ônibus a gás natural abrangendo toda a frota da região metropolitana, do qual se esperam benefícios ambientais mais representativos. Esta abordagem da redução de emissões, contudo, não é completa, porque há fatores adicionais que influenciam nos efeitos da poluição, como por exemplo, as condições de dispersão de poluentes. Embora aparentemente pequena, esta redução se torna efetiva em se tratando de corredores com tráfego intenso de ônibus, onde as condições de dispersão de poluentes são desfavoráveis.

Os ônibus urbanos circulam em corredores de tráfego formados por ruas, avenidas e calhas exclusivas, cercadas de edificações que obstruem as correntes de ar, desfavorecendo a dispersão dos poluentes emitidos pelos ônibus e pelos outros veículos. As imediações dessas vias costumam ser densamente habitadas, tanto pelas pessoas que residem ou trabalham nos prédios, como também pelas que circulam nos automóveis e pelos pedestres. Nessas circunstâncias, todas essas pessoas, inclusive os ocupantes dos ônibus, estão expostas a concentrações de poluentes superiores aos de outras áreas da cidade que possuem melhores condições de ventilação.

Nos corredores de tráfego em que há predominância de circulação de ônibus, estes podem certamente ser a principal fonte de emissões nesse micro-ambiente, como consequência do fenômeno de concentração de poluentes. No caso de uma via exclusiva de ônibus, estes podem ser em alguns momentos responsáveis por quase todos poluentes presentes no ar circundante. Os impactos da substituição de diesel por gás natural tornam-se mais significativos em ambientes onde os ônibus estão entre as principais fontes de emissões, como no caso dos corredores de tráfego.

A quantificação da redução de emissões nos corredores de tráfego devida à substituição de diesel por gás natural nos ônibus não faz parte do escopo deste trabalho, da mesma forma que os dados conclusivos sobre a consequente redução de gastos com saúde pública, com faltas ao trabalho, óbitos, e demais parâmetros relacionados com a poluição requerem estudos baseados em pesquisas de campo específicas, em função das peculiaridades de cada corredor de tráfego.

Entretanto, é possível estimar valores referenciais de redução de emissões pela comparação entre fatores de emissões de ônibus a diesel e a gás natural, como os apresentados na Tabela 9 (p. 44). A interpretação dos resultados da última linha da Tabela 9 revela que o ônibus a gás considerado emite 90% menos materiais particulados que o ônibus a diesel comparado, e também 56% menos monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, porém emite 109% mais hidrocarbonetos totais.⁵⁶

As condições desfavoráveis de dispersão fazem com que os poluentes emitidos pelos ônibus permaneçam por algum tempo concentrados nos arredores do corredor de tráfego. Substituindo-se esses ônibus por outros menos poluidores, a redução de poluentes em concentração na via teria como limite máximo os valores de redução de emissões da Tabela 9. Por exemplo, se for razoável considerar que os ônibus a diesel são a única fonte de emissão de material particulado no ambiente restrito a

⁵⁶ Os valores de redução de emissões indicados são válidos exclusivamente para veículos com fatores de emissões indicados na Tabela 9 (p. 44). Esses valores variam enormemente para outros modelos de ônibus a gás natural e a diesel, conforme pode ser verificado no item Comparativos entre alternativas de ônibus urbanos, p. 81.

uma via, em determinado período de observação, a substituição por ônibus a gás natural nesse ambiente teria o impacto de redução de 90% desse poluente.

Em entrevista concedida ao autor, o especialista Gabriel Murgel Branco⁵⁷ revelou detalhes do estudo por ele realizado sobre ocorrência de material particulado nos corredores de veículos diesel, publicado em 2005.⁵⁸ Os resultados desse estudo mostram que durante a presença de apenas um único veículo a diesel emitindo fumaça visível em corredores de tráfego podem ser registradas concentrações máximas instantâneas de material particulado superiores a 500 µg/m³, que corresponde ao limiar do estado de emergência.⁵⁹ Também foi observado que as concentrações médias de material particulado nos corredores de tráfego são significativamente maiores que nas vias vizinhas que os circundam, confirmando o efeito das condições desfavoráveis de dispersão de poluentes.

A estimativa de redução de emissões apresentada na Tabela 9 (p. 44) foi realizada com base nos fatores de emissão para ônibus a diesel brasileiros, informados pela CETESB, e para ônibus a gás natural usados no exterior, informado pelo IANGV, instituição internacional vinculada ao mercado de gás natural veicular (GNV). Os resultados desta estimativa são válidos como referência, mas têm aplicação limitada porque não estão sendo comparados veículos da mesma frota urbana.

Por este motivo, convém analisar a estimativa de redução de emissões comparando-se os fatores de emissão médios dos motores a diesel e a gás natural homologados mediante testes realizados pela CETESB (Tabela 10). Dentre esses motores, está o M 366 LAG eletrônico “*Turbo-Cooler*”, fabricado pela Mercedes Benz do Brasil (MBB), usado no ônibus a gás natural brasileiro mais moderno disponível comercialmente, que é o modelo da terceira geração. Os motores que equipam os

⁵⁷ Gabriel Branco, consultor da empresa *EnvironMentality*, é especialista em meio ambiente e emissões veiculares. Ex-executivo da CETESB, participou da criação do PROCONVE e do desenvolvimento do Proálcool.

⁵⁸ Gabriel M. BRANCO e Michael P. WALSH (organizadores), Controle da poluição dos veículos a diesel - uma estratégia para o progresso do Brasil, p. 108.

⁵⁹ Ver Anexo 3 - Critérios de poluição do ar, p. 140.

ônibus a diesel “padrão CONAMA V” são dotados de tecnologia capaz de atender os critérios exigidos nas normas do PROCONVE em vigor a partir de 2004.⁶⁰

Tabela 10 Emissões comparativas de motores GNV e diesel no Brasil ⁶¹

Emissões (g/kWh)	CO	HC	NO _x	MP
Diesel padrão CONAMA V	0,96	0,3	4,66	0,085
GNV sem catalisador	1,832	0,403	2,583	0,027
GNV com catalisador	0,97	0,013	0,581	0,002
Limites CONAMA V (2004)	2,1	0,66	5	0,1
Limites CONAMA VI (2009)	1,5	0,46	3,5	0,02

Os dados da Tabela 10 encontram-se exibidos em forma de gráficos na Figura 17. Percebe-se que os motores a gás natural têm emissões menores de óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) que os motores a diesel, mas emitem mais monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC). O uso de catalisador no motor a gás iguala suas emissões de CO às do motor a diesel e reduz drasticamente as emissões de HC.

Os motores pesados a gás natural atualmente homologados no Brasil já atendem à legislação que será exigida a partir de 2009 pelo PROCONVE (CONAMA fase VI). Os motores a diesel atendem, na média atual, às exigências do CONAMA VI

⁶⁰ Note-se que a Tabela 9 e a Tabela 10 tratam de diferentes tipos de testes. Os fatores de emissão da Tabela 9 são relativos aos **ônibus**, e dimensionados em gramas de poluente emitido por quilômetro rodado pelo veículo (g/km), enquanto a Tabela 10 exhibe fatores de emissão de **motores**, dados em gramas por quilowatt-hora (g/kWh), ou seja, em massa de poluente emitido por unidade de energia mecânica gerada pelo motor. O teste do veículo, para obtenção dos fatores em g/km, poder ser realizado submetendo-se o ônibus a ciclos de testes em dinamômetros de rolo ou em teste de rua. Segundo entrevista concedida ao autor pelo especialista Olímpio de Melo Álvares Jr., da CETESB, os dinamômetros de rolo para veículos pesados são extremamente caros e estão disponíveis em pouquíssimos países, como Suécia e Alemanha. Por outro lado, o teste de rua exige transformar o veículo em um laboratório ambulante, que não é um procedimento muito prático. O teste de motor, por sua vez, é realizado com o motor isolado, fora do veículo, em bancada de laboratório, fornecendo os fatores de emissão em g/kWh. Este é o tipo teste realizado no Brasil para homologação de motores pesados, nos quais a energia mecânica (em kWh) é medida na saída para a caixa de mudanças.

⁶¹ Dados de emissões de ônibus diesel e gás: Renato R. A. LINKE, Vantagens ambientais na substituição dos ônibus urbanos diesel por GNV. CETESB, 2004.

somente nas emissões de CO e HC, estando porém muito acima do limite de MP. Essas emissões podem ser reduzidas o uso de catalisadores, mas alguns desses dispositivos requerem o uso de diesel com teor ultrabaixo de enxofre, abaixo de 50 partes por milhão (ppm), ainda não disponível no Brasil.⁶²

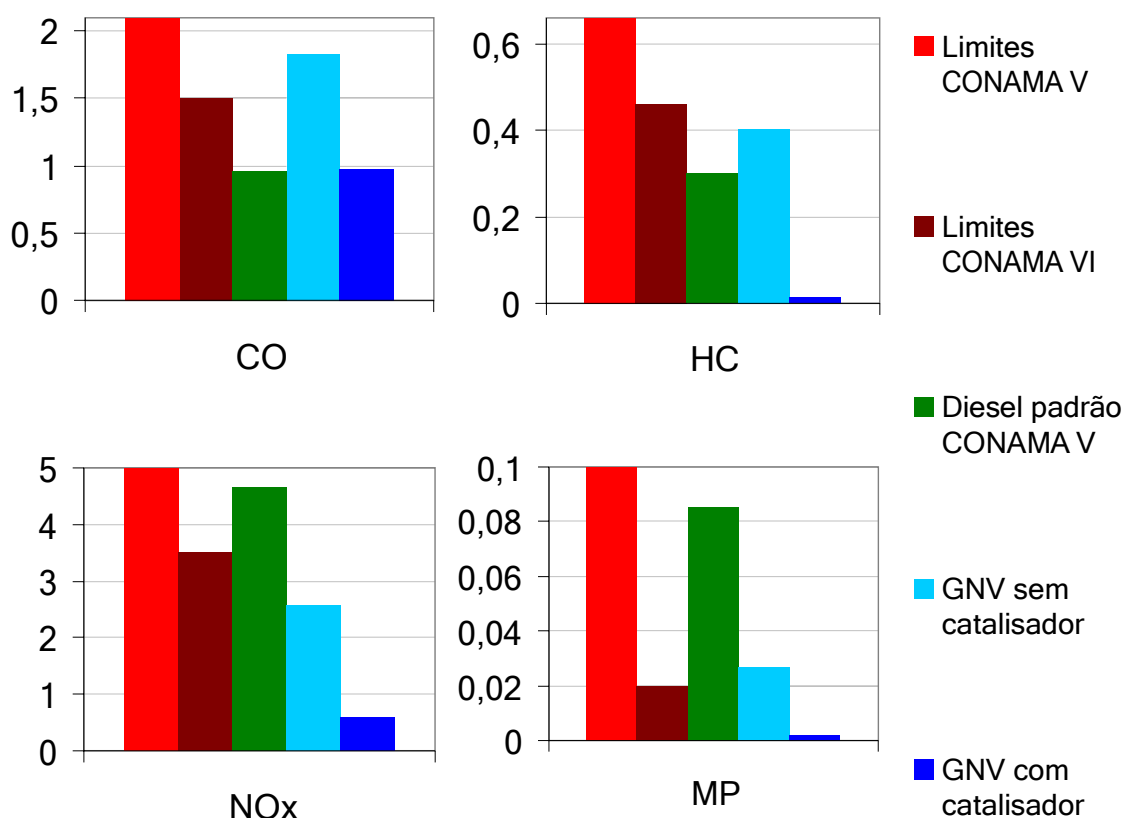


Figura 17 Emissões comparativas de motores GNV e diesel no Brasil ⁶³

Com base no dados da Tabela 10 (p. 49), pode-se considerar que o potencial de redução de emissões dos poluentes devido à substituição de ônibus a diesel padrão CONAMA V por ônibus a gás natural geração 3 da MBB obedeceria os percentuais indicados na estimativa apresentada na Tabela 11.

⁶² Na época em que os motores diesel V da Tabela 10 (p. 49) e Figura 17 (p. 50) foram testados nos laboratórios da CETESB, na cidade de São Paulo, o diesel comercializado na RMSB tinha especificação de 2.000 ppm de enxofre. Entretanto, na prática o diesel tinha efetivamente cerca de 1.000 ppm de enxofre, segundo testes realizados com o combustível vendido nos postos da região.

⁶³ Dados de emissões de ônibus diesel e gás: Renato LINKE, Vantagens ambientais na substituição dos ônibus urbanos diesel por GNV. CETESB, 2004. Atualização e formatação do autor.

Tabela 11 Redução de emissões devido ao uso de motores pesados a GNV

GNV versus Diesel V (g/kWh)	CO	HC	NOx	MP
GNV sem catalisador	-0,87	-0,10	2,08	0,06
	-91%	-34%	45%	68%
GNV com catalisador	-0,01	0,29	4,08	0,08
	-1%	96%	88%	98%

O ônibus a gás natural sem catalisador, por exemplo, teria potencial de emitir 0,06 g/kWh a menos de material particulado, ou 68% menos que o ônibus a diesel, e da mesma forma, reduziria em 45% a emissão de óxidos de nitrogênio. Porém, emitiria mais monóxido de carbono e hidrocarbonetos, problema que poderia ser contornado pelo uso de catalisador.

8 Conclusões sobre os impactos do ônibus a gás natural

Neste capítulo foram realizadas estimativas de impactos representando potenciais máximos de benefícios, como por exemplo, a constatação de que a substituição de toda a frota nacional de ônibus urbanos proporcionaria um crescimento da participação do gás natural na matriz energética de 6,5% para 9%. Entretanto, não seria razoável considerar que toda a frota urbana de ônibus do país pudesse ser substituída em um programa de gás natural. Dentre países que obtiveram excelentes resultados em substituição de diesel por gás natural nos ônibus, destaca-se o exemplo dos EUA, que conta atualmente com 13% da frota de ônibus urbanos movidos a gás natural.⁶⁴

Considerando que o Brasil obtenha sucesso em seus próximos programas de ônibus a gás natural, poder-se-ia considerar razoável assumir que em médio prazo se consiga algo em torno de 10% de substituição da frota urbana nacional, ou aproximadamente dez mil ônibus a gás natural.

Nestes termos, os impactos esperados da substituição de diesel por gás natural poderiam ser proporcionais ao tamanho da frota substituída. Com relação aos interesses de estratégia energética nacional, por exemplo, com a introdução de dez mil ônibus urbanos a gás natural seria possível reduzir em 5% a importação de diesel (Figura 10, p. 32) e elevar em 1,5 milhões de m³ por dia o consumo de gás (Figura 15, p. 37).

Os benefícios ambientais em termos de redução de poluição local dependeriam dos percentuais de substituição de ônibus em cada região metropolitana, aliados aos fatores relacionados a dispersão de poluentes, já mencionados.

Benefícios relacionados à redução de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) dos usos finais do gás natural são tipicamente avaliados em cerca de 10%,

⁶⁴ Ver CAPÍTULO III.

proporcionada desde a produção até o consumo,⁶⁵ em relação a combustíveis derivados de petróleo. As emissões de CO₂ na combustão do gás natural tendem a ser menores que na combustão do diesel, no entanto, o ônibus a gás natural emite mais metano, que é um gás de efeito estufa mais nefasto que o gás carbônico. Por esta razão, o balanço de benefícios de redução de GEEs do ônibus a gás deve ser avaliado cuidadosamente.

⁶⁵ WATT, G. M. *Natural gas vehicle transit bus fleets: The current international experience*, p. 5.

CAPÍTULO II ALTERNATIVAS PARA O ÔNIBUS URBANO

Neste capítulo são relacionadas as principais alternativas correntes para o transporte público urbano rodoviário, dentre elas o ônibus a gás natural. São apresentadas comparações entre parâmetros das tecnologias disponíveis no Brasil em escala comercial.

1 Gás natural como energia primária no transporte público

A implantação de frotas de ônibus a gás natural não é a única maneira de substituição de diesel por gás natural no transporte público urbano. Segundo LOWELL (2005), o gás natural pode ser usado em transporte público urbano de três modos:

- uso de GNC ou GNL em ônibus a gás;
- uso de trolebus alimentados por eletricidade gerada em termelétricas a gás;
- conversão do gás natural em diesel sintético pelo processo GTL (*gas to liquid*) para uso em ônibus a diesel.

A primeira alternativa, extensivamente discutida neste texto, é a mais óbvia. A viabilidade dos ônibus a gás natural na forma de um programa amplo que resulte em benefícios palpáveis é ainda uma incógnita no Brasil, diante das experiências passadas, de forma que vale a pena refletir sobre as outras duas possibilidades.

A proposta do uso de trolebus alimentados por eletricidade gerada em termelétricas a gás não oferece vantagem substancial do ponto de vista da eficiência energética, porque embora a eficiência do motor elétrico do trolebus (~80%) seja tipicamente superior à do motor a gás (22~26%), na geração termelétrica a eficiência é baixa (40%). Por outro lado, as operações com trolebus no Brasil estão em decadência, e estão sujeitas aos problemas comentados no item *Trolebus* (p. 79).

A tecnologia GTL tem como vantagens a produção de diesel praticamente isento de enxofre a partir do gás natural, permitindo o uso de dispositivos de pós-tratamento, o que proporciona baixas emissões nos veículos, e a possibilidade de uso da infraestrutura de transporte e distribuição do diesel já existente. Como desvantagens aparece o alto custo da infra-estrutura e o risco de contaminação com diesel de alto teor de enxofre nos postos de distribuição.

O alto custo da infra-estrutura requerido, aliado à mudança conceitual envolvida, torna por ambas as propostas acima pouco atraentes diante das tendências atuais.

2 Ônibus a gás natural

O ônibus a gás natural é atualmente uma alternativa tecnológica viável para o transporte público urbano, testada com sucesso em vários países e comercialmente presente há mais de vinte anos. O estágio atual de desenvolvimento da tecnologia do ônibus a gás natural já possibilita sua participação de forma competitiva em países com legislação ambiental mais exigente, como EUA e países da Europa, onde o ônibus a diesel limpo é necessário para atender aos limites de emissões.

A denominação “ônibus a gás natural” é usada genericamente para designar todos os tipos de ônibus que utilizam como combustível tanto o gás natural de forma exclusiva como o gás natural combinado com óleo diesel.¹

2.1 O combustível

A denominação gás natural (GN) é genericamente aplicada à substância combustível de origem fóssil encontrada na natureza no estado gasoso, em reservatórios no subsolo. A gênese do gás natural é semelhante à do petróleo: ambos foram formados ao longo de milhões de anos pela decomposição de matéria orgânica e normalmente são encontrados juntos em uma mesma jazida. O gás natural pode ocorrer como *gás associado* – tanto dissolvido no petróleo como presente no mesmo reservatório, em uma fase separada – ou sem a presença de petróleo ou água, casos em que é denominado *gás não-associado*.

O componente predominante do gás natural é o metano (CH₄), um hidrocarboneto que possui em sua molécula apenas um átomo de carbono. As proporções de metano e de outros componentes podem variar conforme o local onde o gás é

¹ A expressão “ônibus a gás” é ainda mais abrangente e se aplica também aos ônibus movidos a biogás e a gás liquefeito de petróleo (GLP). No Brasil o biogás tem sido utilizado há alguns anos em ônibus, mas apenas de forma experimental; o GLP não é liberado para uso como combustível automotivo no Brasil, mas é usado nos ônibus de alguns países, como Áustria, Dinamarca e Holanda, segundo Lew FULTON *et alli*, *Bus Systems for the Future*, p. 90.

originado, como também acontece com a composição do petróleo, que difere de uma região para outra.²

O gás natural é um combustível que pode ser usado da forma que é encontrado na natureza, sem necessidade de refino, entretanto é necessário submetê-lo a um processamento adequado em plantas denominadas unidades de processamento de gás natural (UPGN's), com a finalidade de ajustar suas características às especificações requeridas pelos usos finais e pelos recursos de transporte.

O transporte do gás natural do poço ao local de consumo normalmente é feito por gasodutos, por navios ou por caminhões. O transporte dutoviário do gás natural é feito a pressões em torno de 100 atm, enquanto nos modos aquaviário e terrestre o gás é transportado na forma de gás natural comprimido (GNC) ou gás natural liquefeito (GNL).

2.1.1 Gás natural comprimido (GNC)

Gás natural comprimido (GNC)³ é o gás natural processado e condicionado para o armazenamento e transporte em reservatórios à temperatura ambiente e pressão de 220 atm, próxima à condição de mínimo fator de compressibilidade.⁴

O GNC pode ser transportado por caminhões em médias distâncias para o atendimento de mercados onde ainda não existe rede de gás. Este modo de transporte, conhecido como “gasoduto virtual”, normalmente é feito em distâncias de até 150 km por carretas de 3.000 a 5.000 m³, permitindo a criação de novos mercados consumidores em localidades não servidas por gasodutos. Também é possível transportar o GNC por balsas ou plataformas ferroviárias. Ao chegar no

² O gás natural não deve ser confundido com o gás liquefeito de petróleo (GLP), que é um derivado de petróleo obtido através do processo de refino. O GLP, composto basicamente por propano (C₃H₈) e butano (C₄H₁₀), é mais pesado que o ar. Sob esse aspecto, o GN é mais seguro que o GLP, porque sendo mais leve que o ar, dissipa-se com mais facilidade e está menos susceptível a explosão em caso de vazamento.

³ Denominação em inglês, usada na literatura internacional: CNG - *compressed natural gas*.

⁴ O mínimo fator de compressibilidade (z) corresponde à condição de pressão na qual o GN conserva o comportamento descrito pela equação de estado dos gases ideais (PV = znRT).

ponto de consumo, o reservatório usado para transporte, normalmente um conjunto de cilindros, é descarregado e conectado a uma estação de descompressão e regulação, possibilitando o consumo final do gás.

A expressão “ônibus a GNC” é usada para designar todos os tipos de ônibus a gás natural abastecidos com GNC, sejam dedicados, *dual-fuel*, OEM (*Original Equipment Manufacturer*), convertidos, com motor estequiométrico ou *lean-burn*. A característica peculiar a todo ônibus a GNC é a presença de cilindros de aço para armazenamento do gás natural comprimido.

2.1.2 Gás natural liquefeito (GNL)

Quando o gás natural é refrigerado a uma temperatura abaixo de -160°C na pressão atmosférica, condensa-se a um líquido chamado gás natural liquefeito (GNL).⁵ A principal vantagem do GNL sobre o gás natural em estado gasoso na pressão atmosférica é que seu volume é 600 vezes menor. Além disso o GNL pesa somente 45% do mesmo volume de água. A vantagem do volume e do peso do GNL facilita o armazenamento e o transporte de grandes quantidades de gás para o local de consumo. O armazenamento do GNL é feito em tanques criogênicos,⁶ que são construídos com paredes duplas, contendo vácuo entre elas, projetados para possibilitar sua manipulação a temperatura externa ambiente, mantendo baixa a temperatura interna. Para ser utilizado, o GNL deve ser re-vaporizado e ajustado à pressão requerida no uso final.

O processo de obtenção do GNL possibilita a liquefação seletiva em estágios de temperatura, permitindo separar o metano dos outros componentes do gás, devido às diferentes temperaturas de liquefação, isolando também as impurezas. Desta maneira o GNL obtido é mais puro que o gás original, e mais adequado ao uso veicular. Por esse motivo, as emissões dos ônibus a GNL costumam ser melhores que as dos ônibus a GNC. Devido à densidade do GNL ser o dobro da densidade do GNC, um ônibus ou caminhão a GNL poderá ter uma melhor relação autonomia /

⁵ Denominação em inglês, usada na literatura internacional: LNG - *liquefied natural gas*.

⁶ Criogênico: relativo a temperaturas muito baixas.

espaço ocupado pelos reservatórios de gás. Por outro lado, o manuseio de líquidos criogênicos requer procedimentos e mão-de-obra especiais.

A diferença principal entre veículos a GNL e veículos convencionais é o sistema de combustível criogênico, abastecido com o combustível a -129°C e 7 atm, para posteriormente ser aquecido, regulado, e entregue ao motor na forma gasosa.

Os custos do sistema de ônibus a GNL e das estruturas logística e de abastecimento criogênico são maiores que os do ônibus a GNC. Cerca de dez por cento dos ônibus a gás natural dos EUA são a GNL. No Brasil não há ônibus a GNL, e também não há estrutura de abastecimento criogênico para uso veicular.

2.1.3 Gás natural veicular (GNV)

Gás natural veicular (GNV),⁷ ou gás metano veicular (GMV), são denominações dadas à mistura combustível gasosa destinada ao uso veicular, tipicamente proveniente do gás natural e do biogás, cujo componente principal é o metano. O GNV é comprimido a uma pressão de 220 atm para ser armazenado em reservatórios especiais instalados nos veículos, geralmente em forma de cilindros.

O GNV é a forma veicular de uso do GNC, podendo ser usado em tanto em veículos leves como em veículos pesados.⁸ Ônibus a gás natural podem ser abastecidos nos mesmos postos de GNV que abastecem os automóveis, mas por motivos logísticos, é mais conveniente que as empresas de ônibus possuam sua própria estação de abastecimento de gás. As estruturas de abastecimento são dotadas de equipamentos que elevam a pressão do gás disponibilizado na rede de distribuição para o valor adequado ao acondicionamento nos cilindros, em torno de 220 atm. No Brasil, o GNV deve obedecer às especificações estabelecidas pela ANP.

2.1.4 Especificações do gás natural no Brasil

As especificações do gás natural no Brasil foram definidas pela primeira vez em 1998 pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A

⁷ Em inglês, a sigla NGV (*natural gas vehicle*) é usada para designar veículos movidos a gás natural.

⁸ É bastante comum na literatura a referência de ônibus movidos a gás natural como “ônibus a GNC” (*CNG buses*).

Tabela 12 mostra as especificações do gás natural para as diferentes regiões do Brasil.

Tabela 12 Especificação brasileira do gás natural ⁹

Característica do Gás Natural (1)	UNIDADE	LIMITE(2) (3)		
		Norte	Nordeste	Sul, Sudeste, Centro-Oeste
Poder calorífico superior(4)	kJ/ m ³	34.000 a 38.400		
	kWh/m ³	9,47 a 10,67		
Índice de Wobbe (5)	kJ/m ³	40.500 a 45.000		
Metano, mín.	% vol.	68		
Etano, máx.	% vol.	12		
Propano, máx.	% vol.	3		
Butano e mais pesados, máx.	% vol.	1,5		
Oxigênio, máx.	% vol.	0,8		0,5
Inertes (N ₂ + CO ₂), máx.	% vol.	18	5	4
Nitrogênio	% vol.	2		
Enxofre total, máx.	mg/m ³	70		
Gás sulfídrico (H ₂ S), máx.(6)	mg/m ³	10	15	10
Ponto de orvalho de água a 1atm, máx.	°C	-39	-39	-45

Observações:

- (1) O gás natural deve estar tecnicamente isento, ou seja, não deve haver traços visíveis de partículas sólidas e partículas líquidas.
- (2) Limites especificados são valores referidos a 293,15 K (20 °C) e 101,325 kPa (1 atm) em base seca, exceto ponto de orvalho.
- (3) Os limites para a região Norte se destinam às diversas aplicações exceto veicular e para esse uso específico devem ser atendidos os limites equivalentes à região Nordeste.
- (4) O poder calorífico de referência de substância pura empregado neste Regulamento Técnico encontra-se sob condições de temperatura e pressão equivalentes a 293,15 K, 101,325 kPa, respectivamente em base seca.
- (5) O índice de Wobbe é calculado empregando o Poder Calorífico Superior em base seca. Quando o método ASTM D 3588 for aplicado para a obtenção do Poder Calorífico Superior, o índice de Wobbe deverá ser determinado pela fórmula constante do Regulamento Técnico.
- (6) O gás odorizado não deve apresentar teor de enxofre total superior a 70 mg/m³.

A definição das especificações do gás natural foi um passo importante para uniformizar a qualidade do gás natural no Brasil. O uso veicular requer disponibilidade de gás de alta qualidade, caso contrário, fica comprometido o desempenho dos veículos, muito sensível à presença de umidade e outras impurezas, bem como a variações na porcentagem de metano.

⁹ Portaria ANP nº 104, de 8 de julho de 2002 – Regulamento Técnico ANP nº 3/2002. Estabelece a especificação do gás natural, de origem nacional ou importado, a ser comercializado em todo o território nacional.

2.1.5 Disponibilidade do gás natural

As reservas de gás natural são mais bem distribuídas no mundo que o as reservas de petróleo e são encontradas em todos os cinco continentes. Segundo a EIA¹⁰ o gás natural será a fonte primária cuja disponibilidade mais crescerá no mundo nas próximas duas décadas.

As reservas provadas de gás natural no Brasil, que somavam 245 bilhões de m³ em 2003,¹¹ aumentaram em 78 bilhões de m³ com as novas descobertas na Bacia de Santos, totalizando 316 bilhões de m³. Estão em fase de avaliação mais 341 bilhões de m³ da Bacia de Santos, de forma que as reservas provadas nacionais poderão atingir futuramente 657 bilhões de metros cúbicos.¹² Esta perspectiva dobraria a atual oferta do combustível nos próximos dez anos, subsidiando o abastecimento do mercado brasileiro por um período de 20 a 30 anos. Este mercado nacional foi, até aqui, abastecido pelas reservas da Petrobras no Brasil e na Bolívia. Encontra-se atualmente em fase de negociação a construção de um gasoduto entre a Venezuela e o sul do Brasil, ampliando a perspectiva de oferta de gás.

As reservas de gás natural no Brasil são abundantes, de tal modo que o suprimento não é um problema para os programas de ônibus a gás natural. Os problemas que impactam no ônibus a gás dizem respeito ao desenvolvimento do mercado e da infraestrutura de transporte e distribuição do combustível.

2.1.6 Disponibilidade de infra-estrutura de gás natural

O histórico energético do Brasil é marcado pela forte presença da hidroeletricidade e dos combustíveis líquidos derivados de petróleo e de biomassa. Com pouca tradição em uso de gás natural, a infra-estrutura de gasodutos no país ainda é muito pequena e as redes de distribuição de gás canalizado atingem um número pequeno de cidades. O uso difundido do gás natural como um combustível do transporte

¹⁰ Energy Information Administration (EIA), Office of Oil and Gas, Natural Gas Pipeline Construction Database. Doc.: Changes in U.S. Natural Gas Transportation Infrastructure in 2004, p. 2.

¹¹ Portal Gás Energia.

¹² Ver Anexo 1 - Reservas nacionais, produção e importação de gás natural , p. 137.

urbano requer o acesso a postos de abastecimento com a maior abrangência geográfica possível no país. Isso implica na necessidade de uma ampla infra-estrutura nacional de processamento, transporte e distribuição de gás.

A malha de gasodutos brasileira é inferior a dez mil quilômetros de extensão, o que representa uma proporção de 51 quilômetros de gasodutos por milhão de habitantes, como pode ser observado na Tabela 13. Nos EUA essa proporção é de 1.647 quilômetros de gasodutos por milhão de habitantes, ou seja, quase 50 vezes maior que no Brasil. O que pode se perceber pela análise da Tabela 13 é que, da mesma forma, o consumo de gás norte-americano também é da ordem de 50 vezes maior que o brasileiro, revelando a existência de uma proporcionalidade entre o tamanho do mercado de gás e sua rede de transporte, mesmo se tratando de uma comparação entre países com situações econômicas distintas, como Brasil e EUA.

Tabela 13 Comparativo entre as malhas de gasodutos do Brasil e dos EUA

	Brasil	EUA	Unidade
Área (1)	8,5	9,5	milhões de km ²
População (1)	178	291	milhões de habitantes
Consumo anual de GN (2)	14.000	653.000	milhões de m ³
GN na matriz energética (2)	7%	23%	% de todos os usos finais
Gasodutos (3)	9.000	479.000	km
Gasodutos / área	1.059	50.421	km / milhões de km ²
Gasodutos / população	51	1.647	km / milhões de habitantes
Consumo de GN / gasodutos	1,6	1,4	Milhões de m ³ / km

(1) **Brasil:** IBGE, 2005; **EUA:** Almanac 2005. Encyclopædia Britannica, Inc.

(2) **Brasil:** MME - BEN Consolidado 2004;

EUA: EIA / DOE - *Changes in U.S. Natural Gas Transportation Infrastructure in 2004*.

(3) **Brasil:** Petrobrás, 2004;

EUA: EIA / DOE - *Changes in U.S. Natural Gas Transportation Infrastructure in 2004*.

As regiões metropolitanas, onde estão concentrados cerca de 75% dos ônibus urbanos do país,¹³ são os focos principais dos programas de ônibus a gás natural. Entretanto, somente o atendimento dessas regiões metropolitanas com gás natural não garantiria o sucesso da substituição de diesel por gás natural nos ônibus urbanos brasileiros. Quanto maior for o grau de interiorização das redes de gás, tanto maiores serão as condições de consolidação das frotas, em virtude da

¹³ Ver Tabela 3, p. 20.

formação de um mercado mais amplo para o gás natural, incluindo ônibus e outros veículos pesados. As condições favoráveis ao uso de ônibus a gás natural em cidades do interior eliminariam o atual problema dos empresários de ônibus dos grandes centros, que é a revenda dos ônibus a gás natural usados no momento de renovação da frota.

As principais regiões metropolitanas brasileiras dispõem de acesso a redes de transporte de gás natural, porém suas malhas urbanas de distribuição de gás ainda têm abrangência muito limitada na grande maioria das cidades. Isto se torna um empecilho para o desenvolvimento de programas de ônibus a gás natural, porque é necessário que as garagens das empresas de ônibus tenham acesso à rede de gás para suprir sua estação de abastecimento. As empresas que possuem frotas de ônibus a gás natural mas não possuem estação de abastecimento experimentam problemas logísticos para diariamente deslocar os veículos para um posto externo à garagem. A depender do tamanho da frota, uma operação desse tipo pode se tornar inviável.

A expansão da capilaridade das redes urbanas de distribuição é essencial para o favorecimento do ônibus a gás natural. Neste aspecto, a proliferação do mercado de veículos leves a gás natural teria efeito positivo como vetor de expansão das malhas urbanas de distribuição de gás.

2.2 O veículo

Os ônibus a gás natural podem ser classificados de acordo com características relativas ao modo tecnológico como o veículo é obtido, ao sistema de combustível usado, que é relacionado ao ciclo termodinâmico do motor, ao regime de mistura ar-combustível adotado e ao estado físico do gás que abastece o veículo. Segundo esses critérios, as seguintes classificações podem ser adotadas para os ônibus a gás natural:

- Quanto ao modo tecnológico de obtenção do ônibus a gás:
 - Com equipamento original do fabricante do veículo, também conhecido como veículo OEM (*Original Equipment Manufacturer*);
 - Convertido a partir de um ônibus a diesel.

- Quanto ao sistema de combustível, relacionado ao ciclo termodinâmico do motor:
 - Dedicado ao GNV (motores do ciclo Otto);
 - “Dual-fuel” (motores do ciclo Diesel).
- Quanto ao regime de mistura ar-combustível do motor:
 - Mistura estequiométrica;
 - Mistura pobre, também conhecida como “*lean-burn*”.
- Quanto ao estado físico do gás natural que abastece o veículo:
 - Ônibus a GNC (gás natural comprimido);
 - Ônibus a GNL (gás natural liquefeito).

A Tabela 14 apresenta as possibilidades de combinações entre as classificações propostas para os ônibus a gás natural. As células assinaladas com “SIM” relacionam as características que podem ocorrer simultaneamente no mesmo veículo.

Tabela 14 Classificações dos ônibus a gás natural

ÔNIBUS A GÁS NATURAL		Sistema de combustível (ciclo termodinâmico)		Mistura ar-combustível		Estado físico do combustível	
		Dedicado ao GNV (ciclo Otto)	Dual-fuel (ciclo Diesel)	Estequiométrica	Lean-burn	GNC	GNL
Origem do veículo	OEM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Convertido	SIM (1)	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM (2)
Sistema de combustível (ciclo termodinâmico)	Dedicado ao GNV (ciclo Otto)			SIM	SIM	SIM	SIM
	Dual-fuel (ciclo Diesel)			NÃO	SIM	SIM	SIM
Mistura ar-combustível	Estequiométrica					SIM	SIM
	Lean-burn					SIM	SIM

(1) Alguns autores empregam o termo "dedicado" somente para designar o veículo OEM.

(2) Tecnicamente é possível, mas não foi encontrado exemplo na literatura.

Estas classificações não são excludentes entre si, como mostra a Tabela 14. Um ônibus a gás natural OEM, por exemplo, tanto poderá ser dedicado ao GNV como *dual-fuel*. Ainda neste exemplo, se o ônibus for dedicado a gás natural, será possível adotar a mistura ar-combustível estequiométrica, ou seja, sem excesso de ar, ou a mistura pobre, na qual há excesso de ar. Em qualquer destas configurações o ônibus pode ser movido a GNC ou a GNL.

2.2.1 Ônibus a gás natural OEM

O ônibus a gás natural OEM é fornecido pronto para ser usado a gás, com garantia de fábrica e homologação dos órgãos ambientais, portanto seus fatores de emissões atendem aos limites definidos pela legislação específica. Em alguns casos o veículo é projetado com tecnologia exclusivamente desenvolvida para o uso do GNV, e em outros, o veículo é desenvolvido mediante adaptações feitas pelo fabricante a partir de um modelo a diesel. Em ambos os casos o fabricante entrega o ônibus a gás pronto, equipado com peças originais de sua linha de montagem, garantindo o desempenho e o cumprimento da legislação ambiental.¹⁴ Um ônibus a gás natural OEM pode ser equipado com motores do ciclo Otto ou do ciclo Diesel, podendo ser projetado para uso com GNC ou GNL, independentemente do ciclo do motor.¹⁵

No Brasil há ônibus a gás natural OEM disponibilizados pela Mercedes Benz do Brasil (MBB), equipados com motor do ciclo Otto calibrados em mistura pobre, abastecidos com GNC, atualmente na terceira geração tecnológica.¹⁶ A Cummins Brasil produz em sua fábrica, na cidade de Guarulhos, peças de motores para ônibus a gás natural destinadas ao mercado externo, e segundo declarações fornecidas à imprensa por seus executivos, a empresa estará apta a fornecer motores pesados a gás para o mercado interno em curto prazo, assim que houver demanda.

Em outros países os ônibus a gás natural OEM são fornecidos por diversos fabricantes. Nos EUA o mercado é atendido por Cummins, que produz motores em

¹⁴ Luz Z. D. VILLANUEVA. *Uso de gás natural em veículos leves e mecanismo de desenvolvimento limpo no contexto brasileiro*, p. 47.

¹⁵ Ver Apêndice 2 - Ciclos termodinâmicos dos motores de combustão interna, p. 136.

¹⁶ Ver item Experiências brasileiras, p. 92.

ciclo Otto e mistura pobre (46% do mercado), Detroit Diesel (52% do mercado), John Deere e outros.¹⁷ Além do Brasil, a Mercedes Bens (Daimler Chrysler) fornece motores em ciclo Otto e mistura pobre ou estequiométrica para a Europa e Austrália. A Iveco atende a Itália e outros países da Europa com motores em ciclo Otto e mistura estequiométrica. A Cartepillar dispõe de motores a gás em ciclo Otto e ciclo Diesel (“*dual-fuel*”), estes com taxa de 85% de substituição de diesel por gás natural. A Volvo atende o mercado sueco com motores em ciclo Otto e mistura pobre.¹⁸

2.2.2 Ônibus a gás natural convertido

De forma oposta ao ônibus a gás natural OEM, o ônibus a gás convertido é obtido a partir de um ônibus a diesel modificado para usar gás natural. Para esta conversão é utilizado um conjunto de equipamentos denominado de “kit de conversão”, normalmente fabricado por terceiros, ou seja, não se trata de um equipamento original do fabricante do veículo (OEM). Esta forma de obtenção do ônibus a gás natural é aplicável a veículos a diesel usados, ainda em circulação, fabricados com tecnologia já obsoleta. Esta alternativa é peculiar a países em desenvolvimento, não sendo a mais difundida nos países desenvolvidos.

Um ônibus a gás natural pode ser convertido para operar em ciclo Otto, caso em que a conversão é apelidada de “*ottolização*”, ou ainda “*ottorização*”. Alternativamente, o ônibus pode ser transformado para consumir gás natural e diesel simultaneamente, em ciclo Diesel, caso em que o resultado é um veículo “*dual-fuel*”.

Um ônibus convertido emite mais poluentes que um ônibus OEM novo, no entanto, os fabricantes dos kits de conversão em geral prometem emissões menores em relação ao veículo a diesel original. Para que esta vantagem ocorra de fato, é necessário que os kits sejam homologados mediante teste comprobatórios do cumprimento de fatores de emissão pré-definidos. O elemento motivador para o operador da frota é a expectativa de redução de custos com o combustível, por

¹⁷ Leslie EUDY. *Natural gas in transit fleets: A Review of the transit experience*, p. 6.

¹⁸ Nils-Olof NYLUND *et alli*. *Report: Exhaust emissions from natural gas vehicles*, p. 101.

causa do preço mais baixo do GNV, de forma a obter um ganho financeiro após compensar os custos de conversão em determinado período de retorno.

A conversão de ônibus a diesel para gás natural pode ser considerada uma rota tecnológica adequada para o Brasil. As primeiras experiências com ônibus convertidos ocorreram na década de 1980, quando os ônibus a gás OEM da MBB ainda estavam em fase inicial de desenvolvimento. Com o tempo, o ônibus OEM passou a ser preferido por apresentar melhor desempenho operacional que o convertido. Atualmente, com a evolução dos kits, testes-piloto voltaram a ser realizados no Brasil com conversão de ônibus diesel para gás. Na cidade de Porto Alegre um ônibus a gás convertido está sendo testado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em convênio com a Petrobrás e outras empresas. O ônibus foi “ottolizado” usando um kit fabricado na Argentina, e segundo o coordenador do projeto piloto, o desempenho operacional e o consumo estão sendo satisfatórios.¹⁹ O desempenho de emissões do veículo não está disponível.

Desde que resulte em vantagens ambientais em relação ao veículo original, a conversão pode ser um meio interessante de difundir o uso de gás natural e reduzir o consumo de diesel. A qualidade técnica dos processos de conversão tem efeito decisivo sobre o desempenho dos veículos, sobretudo no quesito de emissões, o que significa que uma conversão inadequada pode resultar em uma frota mais poluidora que a original. Uma conversão inadequada pode ser resultado de emprego de mão-de-obra despreparada, de negligência no cumprimento de todos os itens previstos no processo de conversão ou mesmo pelo uso de kit de conversão inadequado ao patamar tecnológico do veículo. Esse tipo de problema ocorre nas conversões de veículos leves a gasolina para GNV feitas no Brasil, que em sua grande maioria, aumentam a emissão de NO_x e HC em relação ao veículo original.²⁰

¹⁹ Vilson J. BATISTA et al. *Projeto Piloto de Ônibus Urbano “Ottolizado” para Medir Desempenho com uso do Combustível GNV*, p. 11.

²⁰ Luz Z. D. VILLANUEVA. *Uso de gás natural em veículos leves e mecanismo de desenvolvimento limpo no contexto brasileiro*, p. 142.

2.2.3 Ônibus dedicado ao gás natural

Os ônibus dedicados ao GNV são equipados com motores do ciclo Otto, que usam exclusivamente o gás natural como combustível, sem mistura com diesel, podendo ser do tipo OEM ou convertido.²¹

Devido ao seu alto poder anti-detonante, o gás natural não é adequado para operar em motores dedicados em ciclo Diesel, pois seria necessária uma taxa de compressão²² de 38:1 para ocorrer a auto-ignição do metano, enquanto que para o óleo diesel esta taxa é em torno de 20:1. Por essa razão os ônibus dedicados ao GNV são equipados com motores do ciclo Otto, nos quais a ignição do combustível é provocada por centelha produzida por uma vela. Por outro lado, o alto poder anti-detonante do gás natural possibilita que o motor em ciclo Otto a gás seja ajustado em taxas de compressão mais elevadas que a usada para a gasolina, melhorando a eficiência. No entanto, taxas de compressão muito elevadas aumentam as emissões de NO_x.

A grande maioria dos ônibus a gás natural OEM em todo o mundo são de ciclo Otto. As diferenças entre os vários modelos e fabricantes estão relacionadas à mistura ar-combustível adotada, aos recursos tecnológicos empregados – mecânicos e eletrônicos - e aos sistemas usados para pós-tratamento dos gases da combustão.

²¹ Há uma controvérsia de nomenclatura entre os autores quanto a essa definição, como foi colocado na observação nº(1) da Tabela 14 (p. 64). A denominação “ônibus dedicado a gás natural” é usada por alguns autores exclusivamente para designar o veículo em ciclo Otto OEM, em oposição à denominação “ônibus convertido”. Neste texto foi adotada a nomenclatura “ônibus dedicado ao gás natural”, ou “ônibus dedicado ao GNV”, para o veículo que usa exclusivamente o gás natural como combustível, sem mistura com diesel, em oposição à denominação “*dual-fuel*”.

²² Taxa de compressão (Tc) é a relação entre o volume do cilindro (V) e o volume da câmara de combustão (v), dada por: $Tc = (V + v) / v$. Valores típicos: gasolina: 9:1; álcool: 12:1; diesel 20:1.

2.2.4 Ônibus “*dual-fuel*” (diesel-gás)

A tecnologia dos ônibus “*dual-fuel*”,²³ também conhecidos como ônibus “diesel-gás”, baseia-se na queima combinada de gás natural com óleo diesel em motor do ciclo Diesel. Os ônibus “*dual-fuel*” podem ser OEM ou convertidos.

Um motor “*dual-fuel*” diesel-gás usa o gás natural como principal fonte de combustível e uma injeção piloto de diesel para inflamar o gás natural. Como comentado anteriormente, a taxa de compressão do motor de ciclo Diesel não é suficiente para causar auto-ignição no gás natural. Portanto, para que seja possível usar gás natural nesse tipo de motor é aplicada a injeção piloto de diesel, que faz a mesma função da vela no motor de ciclo Otto. Uma pequena quantidade de diesel se inflama espontaneamente e inicia a queima do gás natural ao qual é misturado na câmara de combustão, juntamente com o ar necessário como comburente.

Um parâmetro comumente associado aos veículos diesel-gás é a taxa de substituição de diesel por gás natural. Uma taxa de substituição de 80% significa que 80% da energia usada para mover o veículo foi proveniente do gás natural, e o restante foi proveniente do óleo diesel.

Em regime de marcha lenta, o funcionamento do motor é mantido apenas com o diesel. A quantidade de gás injetada vai aumentando à medida que a rotação do motor também aumenta, de forma que o gás se torna o combustível responsável pelo nível de potência desenvolvida, enquanto o papel do diesel se resume em

²³ O termo “*dual-fuel*” não foi traduzido para o Português para evitar confusão com os termos “**bi-combustível**” ou “**combustível flexível**”, que têm significados diferentes, e porque o termo em inglês já está incorporado no jargão do setor para identificar esta variante de veículos. A denominação **bi-combustível** é usada para veículos e motores do ciclo Otto que operam alternativamente com um combustível ou outro, por exemplo, com GNV ou com gasolina, ou ainda com GNV ou com etanol (Cf. Suzana K. RIBEIRO, *Estudo das vantagens ambientais do gás natural veicular: O caso do Rio de Janeiro*, p. 25 a 30), de modo que os combustíveis são armazenados em reservatórios distintos e não se misturam na câmara de combustão. O termo “**combustível flexível**”, ou “*flex-fuel*”, por sua vez, se aplica aos veículos e motores que operam simultaneamente com dois ou mais combustíveis, por exemplo, gasolina e álcool, que são armazenados no mesmo tanque, podendo ser misturados em qualquer proporção na câmara de combustão. Ambas as possibilidades, a bi-combustível e a *flex-fuel*, são usadas em veículos leves no Brasil.

manter a combustão a cada ciclo do motor. Como em situações de baixa rotação a proporção de diesel utilizado é maior que em alta rotação, a taxa de substituição de diesel por gás natural será mínima em situações de uso urbano, em que o veículo desenvolve predominantemente baixas velocidades e permanece boa parte do tempo em marcha lenta.

Nos ônibus “*dual-fuel*” convertidos a adaptação do motor é feita através da instalação de um kit. As vantagens desta tecnologia são o aproveitamento da eficiência maior do ciclo Diesel, a necessidade de poucas alterações no motor original, redução significativa na emissão de material particulado, flexibilidade no abastecimento e maior possibilidade de posterior revenda do veículo, por causa da maior facilidade de reconversão para as características originais. Apresenta como desvantagens o fato da tecnologia não ser dominada para motores atualmente comercializados no Brasil, necessidade de se dispor de um kit de conversão específico para cada família de motores, custo de conversão elevado e emissões mais elevadas que a dos motores a gás dedicados.²⁴

Como outra desvantagem, o nível de emissões depende da complexidade e do custo do kit de conversão. Menores emissões requerem mais alterações no motor, de modo que o cumprimento das fases V e VI do PROCONVE pode inviabilizar economicamente a tecnologia.²⁵ Mas como a legislação de emissões é aplicável somente na homologação de veículos novos, esse aspecto pode não ser proibitivo e ser interessante ambientalmente se as emissões do veículo convertido forem menores em relação ao veículo original, tecnologicamente obsoleto.

Nas décadas de 1980 e 1990 foram realizados no Brasil alguns testes com ônibus diesel-gás convertidos envolvendo o Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES), nos quais alguns veículos atuaram em linhas urbanas regulares, no entanto não houve desdobramentos comerciais da tecnologia.

²⁴ Guilherme B. MACHADO, *et al.* *Utilização do gás natural em veículos pesados no Brasil: experiência, cenário atual e barreiras que ainda persistem*, p. 2.

²⁵ *Ibid.*

A tecnologia do ônibus “*dual-fuel*” convertido é pouco atrativa do ponto de vista econômico, e provavelmente por esse motivo ela não é muito difundida no mundo.²⁶ Na Nova Zelândia e na Austrália há empresas que comercializam kits de conversão diesel-gás. Segundo um desses fabricantes, o ponto chave do sistema é a manutenção da estabilidade da combustão proporcionada por módulos de controle eletrônicos.

Os ônibus a gás natural “*dual-fuel*” OEM disponíveis atualmente no mercado mundial são fabricados apenas pela Cartepillar, desde o ano de 1996. O ônibus “*dual-fuel*” da Cartepillar é um exemplo de veículo desenvolvido mediante adaptações feitas pelo fabricante a partir de um modelo a diesel, ao qual é aplicado um kit de conversão OEM. Em testes realizados na Califórnia,²⁷ foi verificada uma taxa média de 56% de substituição de diesel por gás natural.

No Brasil, as empresas Delphi e Bosch estão desenvolvendo motores a gás natural com tecnologia “*dual-fuel*” OEM, cujo lançamento comercial está previsto para o ano de 2006. Ainda não foram divulgados detalhes técnicos desses projetos, mas os representantes de uma dessas empresas esperam do novo produto um impacto comparável ao ocorrido com o advento dos veículos leves de combustível flexível no Brasil.

No mercado brasileiro, um ônibus diesel-gás OEM com possibilidade de ser facilmente usado em modo diesel exclusivo abre perspectivas para solucionar o problema de revenda do ônibus usado para localidades onde o gás natural não é disponível.

Na forma como hoje são conhecidos, os veículos diesel-gás são concebidos para operar de duas formas: com a combinação diesel-gás ou somente com diesel. Ou seja, na indisponibilidade do gás, funciona como um veículo a diesel normal, e uma vez abastecido com gás natural, o funcionamento se dá no princípio diesel-gás. No ônibus diesel-gás da Cartepillar há um dispositivo que pode ser acionado pelo condutor para mudar a forma de uso de diesel-gás para diesel exclusivo em

²⁶ Guilherme B. MACHADO, *et al.* *Utilização do gás natural em veículos pesados no Brasil: experiência, cenário atual e barreiras que ainda persistem*, p. 2.

²⁷ Paul NORTON. *Demonstration of Caterpillar C-10 Dual-Fuel Engines in MCI 102DL3 Commuter Buses*, p. 1.

situações de emergência.²⁸ No modo diesel exclusivo a potência disponibilizada pelo motor é intencionalmente restringida a 80% de sua potência máxima possível, para desestimular o condutor a usar esse modo rotineiramente.

2.2.5 A mistura ar-combustível no ônibus a gás natural

Há dois conceitos básicos de projeto de motores a combustão em relação à mistura ar-combustível, que são especialmente decisivos no desempenho do veículo a gás natural: o motor estequiométrico e o motor de mistura pobre (*“lean-burn”*). Como foi visto na Tabela 14 (p. 64), motor de mistura pobre pode equipar ônibus a gás natural OEM ou convertidos; dedicado ou *“dual-fuel”*, a GNC ou GNL. O motor estequiométrico, por sua vez, apenas não pode ser usado no ônibus *“dual-fuel”*, porque a mistura estequiométrica em ciclo Diesel provoca excessiva formação de fumaça.

Os ônibus a gás equipados com motor estequiométrico, assim chamado quando a relação ar-combustível é ajustada para o valor teórico exato de oxigênio necessário à reação química de combustão, apresentam as seguintes características:

- As emissões são elevadas, sendo necessário usar um catalisador de três vias;²⁹
- O desempenho do veículo é otimizado, em torque e potência;
- O consumo de combustível é elevado.

Os ônibus a gás equipados com motor de mistura pobre (*“lean-burn”*), denominado desta forma quando a combustão ocorre com excesso de ar na mistura ar-combustível (e conseqüentemente com excesso de oxigênio), apresentam as seguintes características:

- As emissões de HC são elevadas, sendo necessário usar um catalisador de oxidação;
- O desempenho do veículo em torque e potência é inferior ao do estequiométrico;
- O consumo de combustível é baixo.

²⁸ Paul NORTON. *Demonstration of Caterpillar C-10 Dual-Fuel Engines in MCI 102DL3 Commuter Buses*, p. 2.

²⁹ O catalisador de três vias é usado em motores de mistura rica ou estequiométrica para a conversão simultânea de óxidos do nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC).

A variação típica dos parâmetros de emissões, desempenho e consumo do ônibus a gás natural com motor em ciclo Otto, em função do fator de excesso de ar (λ) pode ser visualizada na Figura 18.

O fator de excesso de ar $\lambda = 1$ corresponde ao ponto de mistura estequiométrica, ou seja sem excesso de ar; o fator $\lambda = 1,4$ significa que há 40% de ar em excesso na mistura em relação à proporção estequiométrica. Na Figura 18, o ponto “A” corresponde à mistura estequiométrica, e o retângulo hachurado em torno do ponto “A” representa a faixa limite de operação do motor estequiométrico que permite o uso do catalisador de três vias.

Os motores “*lean-burn*” costumam ser ajustados em “B”, que é um ponto ótimo de consumo e emissão de CO. É em torno deste ponto que são calibrados os ônibus a gás natural OEM “*lean-burn*” fabricados no Brasil pela MBB, destinados ao mercado interno. Com este ajuste, o ônibus trabalha numa faixa de menor emissão de NO_x e é disponibilizado sem catalisador, reduzindo o custo final do veículo.

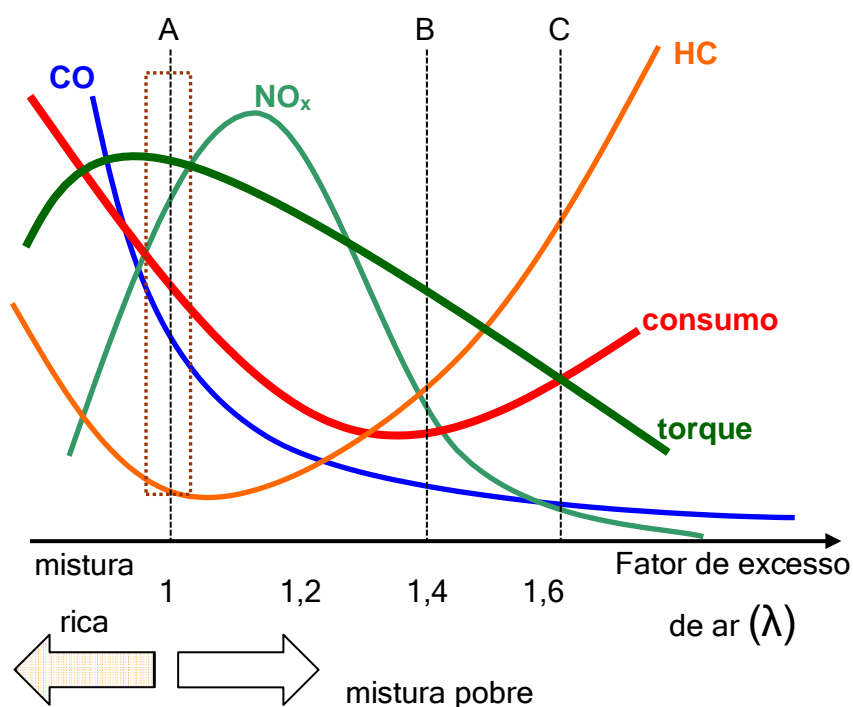


Figura 18 Variação de parâmetros do ônibus a gás em função do fator λ ³⁰

³⁰ Diagrama elaborado pelo autor com base em dados de NYLUND (2000), LAGE (2005), MURARO (2004) e BOSCH (1997). Observações: diagrama sem escala; os valores de “ λ ” são apenas referenciais, ocorrendo variações na prática, de acordo com o motor e o fabricante.

Sem o uso de catalisador, o controle da mistura ar-combustível do motor deve ser preciso, sob pena de ocorrer deslocamento do fator λ para valores menores, elevando enormemente a emissão de NO_x . Por outro lado, misturas excessivamente pobres ($\lambda > 1,6$) causariam instabilidade na combustão e emissões elevadas de HC.

A MBB produz ônibus a gás para exportação com motor estequiométrico e catalisador, que têm custo mais elevado, tornando-o menos competitivo no mercado brasileiro, mas seu desempenho de emissões é melhor que o de mistura pobre usado no Brasil.

3 Ônibus a diesel limpo

A expressão "diesel limpo" tem sido usada tanto para designar o óleo diesel com baixo teor de enxofre como também para identificar o conjunto de técnicas adotadas em veículos a diesel com a finalidade de reduzir as emissões de poluentes. Não se trata de uma nova tecnologia, mas da evolução tecnológica do combustível, dos motores a diesel e das técnicas de tratamento de gases do escapamento, visando atender os limites atuais e futuros estabelecidos na legislação ambiental.

As técnicas do diesel limpo consistem basicamente na combinação de três fatores: a reformulação do combustível para obtenção de um diesel com teores de enxofre cada vez mais baixos, o aperfeiçoamento mecânico e eletrônico do motor e a inclusão de sistemas avançados de pós-tratamento dos gases da combustão. Os ônibus urbanos tem sido melhorados em alguns países pela adoção total ou parcial dessas técnicas.

O ônibus a diesel limpo é atualmente o maior concorrente do ônibus a gás natural, porque tem potencial de obter emissões tão baixas quanto as do gás com custos competitivos. A relação custo / emissões do diesel limpo enfraquece o argumento da motivação ambiental do ônibus a gás natural e oferece para o operador, que é quem decide qual ônibus comprar, a comodidade de não ser necessário lidar com a tecnologia do gás.³¹

3.1 O combustível

A obtenção do combustível mais limpo é uma atribuição das refinarias de petróleo. No Brasil, a Petrobrás passou a disponibilizar para distribuição nas regiões metropolitanas o diesel com 500 partes por milhão (ppm) de enxofre desde 2005, mas até então esse teor era de 2.000 ppm.³² O plano da estatal é de redução do teor de enxofre para 50 ppm até 2009, quando entra em vigor a fase VI do CONAMA. A sigla ULSD – do inglês *ultra-low sulphur diesel*, ou diesel com teor de enxofre ultra-

³¹ Ver item Comparativos entre alternativas de ônibus urbanos, p. 81.

³² Na RMSP, foi verificado que o diesel vendido nos postos era mais limpo que o especificado, contendo cerca de 1.000 ppm de enxofre.

baixo, é comumente empregada na literatura internacional para designar o óleo diesel com menos de 50 ppm de enxofre em massa. O uso do ULSD é pré-requisito para o uso de alguns dispositivos de pós-tratamento dos gases da combustão.

A redução do teor de enxofre do diesel é obtida mediante o investimento em equipamentos nas refinarias de petróleo. O custo de dessulfurização do diesel nas refinarias varia entre US\$ 0,003 e US\$ 0,028 por litro produzido,³³ podendo ser considerados baixos diante dos benefícios decorrentes do uso do combustível mais limpo.

3.2 O veículo

Os aperfeiçoamentos do projeto do motor são mais efetivos nos ganhos em redução de emissões que os recursos de pós-tratamento dos gases da combustão.³⁴ Melhores níveis de emissões de NO_x e MP são obtidos mediante ajustes no equilíbrio entre parâmetros de temperatura e pressão da câmara de combustão, no tempo de injeção e no controle da combustão. Uma das técnicas usadas é a recirculação dos gases de escape, conhecida como EGR, do inglês *Exhaust Gas Recirculation*, que proporciona reduções de NO_x em até 50%, sem elevar as emissões de MP.

As técnicas de pós-tratamento consistem na inserção de dispositivos como filtros e catalisadores após o motor com a finalidade de evitar que os poluentes originários da câmara de combustão sejam lançados à atmosfera. Os dispositivos mais usados nos motores a diesel são os catalisadores de oxidação para diesel (ou DOC, do inglês *Diesel Oxidation Catalyst*), catalisadores de NO_x para queima pobre, adsorventes de NO_x, sistemas de redução catalítica seletiva (ou SCR, de *Selective Catalytic Reduction*) e os filtros particulados para diesel (ou DPF, *Diesel Particulate Filter*). Catalisadores são elementos cerâmicos ou metálicos impregnados de produtos químicos responsáveis pelas reações químicas que modificam os gases do escapamento dos veículos, transformando-os em produtos menos tóxicos. Os

³³ Gabriel BRANCO *et alli*, *Controle da poluição dos veículos a diesel – Uma estratégia para o progresso do Brasil*. p. 45.

³⁴ *Ibid.* p. 82.

catalisadores de oxidação são usados em ônibus urbanos para reduzir HC em até 88% e MP até 23%, se for usado diesel de 300 ppm de enxofre. Os SCR's são dispositivos mais complexos que usam reagentes químicos líquidos que precisam de reabastecimento; reduzem em até 90% as emissões de NO_x e em 80% as de HC. Os DPF's são filtros construídos com material poroso que retém o MP, podendo reduzir quase totalmente sua emissão.³⁵

Esses dispositivos de pós-tratamento requerem o uso de diesel com teor de enxofre ultra-baixo, previsto para estar disponível no Brasil a partir de 2009. O uso de diesel "sujo", além de resultar em desempenho inferior, pode danificar ou reduzir a vida útil desses filtros e catalisadores. Essas técnicas estão começando a serem adotadas nos EUA e na Europa, onde já há disponibilidade de ULSD.

O ônibus a diesel limpo representa a tendência natural do mercado, porque não requer alterações na estrutura existente nos operadores de frotas. Os veículos diesel são mundialmente reconhecidos pela eficiência energética, excelente durabilidade e baixa exigência de manutenção, além de usar um combustível líquido cuja infraestrutura de abastecimento é bem estabelecida. A tecnologia é madura, com mais de cinquenta anos de desenvolvimento, e os veículos são produzidos extensamente a preços competitivos. Para atender às restrições de emissões, a indústria nacional deverá disponibilizar veículos mais limpos à medida que o ULSD estiver disponível e as melhorias tecnológicas forem gradativamente introduzidas, sucedendo o fornecimento dos ônibus a diesel atuais.

³⁵ Gabriel BRANCO *et alli*, *Controle da poluição dos veículos a diesel – Uma estratégia para o progresso do Brasil*, p. 84.

4 Ônibus híbrido diesel-elétrico

O conceito híbrido elétrico se refere ao uso de mais de um tipo de energia motriz embarcada no veículo, sendo que a energia de tração transmitida às rodas é total ou parcialmente originária de um ou mais motores elétricos.

No ônibus diesel-elétrico as rodas são tracionadas por um motor elétrico que recebe energia de um gerador constituído por um motor a diesel. Nesta configuração o motor diesel opera em rotação constante, dimensionada em um ponto ótimo, no qual há menor consumo de combustível e emissão de poluentes³⁶ por unidade de potência gerada. O veículo também é dotado de baterias que armazenam energia do gerador para posteriormente fornecê-la ao motor elétrico, quando necessário.

Com o ônibus em movimento, o motor elétrico recebe energia do gerador e das baterias. Nas paradas, o gerador recarrega as baterias. Esta configuração permite que o uso de motor diesel de menor potência que em um ônibus a diesel convencional.

O ônibus diesel-elétrico permite a recuperação de parte da energia cinética de frenagem ou em declives, situações em que o motor elétrico de tração atua como um gerador e passa a carregar as baterias. Em veículos tradicionais, esta energia é dissipada nos freios sob a forma de calor. Dimensionando adequadamente o projeto do banco de baterias é possível atribuir ao ônibus híbrido autonomia para trafegar com o motor a combustão desligado. Nesta condição o ônibus assume a característica de um trolebus, com emissão zero de poluentes.

O ônibus híbrido também é possível na configuração gás-elétrico, não disponível no Brasil, na qual o motor a combustão é movido a gás natural.

³⁶ Ver item *Comparativos entre alternativas de ônibus urbanos*, p. 81.

5 Trolebus

O trolebus é usado no Brasil há mais de cinquenta anos, porém sua participação é atualmente muito baixa nos transportes públicos. Cidades como Recife, Fortaleza, Belo Horizonte, Porto Alegre e Araraquara já tiveram frotas de trolebus, mas esses veículos estão hoje em operação somente na Região Metropolitana de São Paulo, com 268 veículos, e em Santos, com seis unidades.³⁷ Há uma tendência à desativação gradual dos trolebus, cuja frota nacional já foi superior a 600 veículos.

O conceito do trolebus, também conhecido como ônibus elétrico, é baseado em um veículo tracionado por motor elétrico alimentado externamente por uma rede aérea de cabos. A energia elétrica é captada dos cabos alimentadores por coletores de corrente em forma de alavancas, conjunto conhecido como “*trolley*”.

O trolebus não emite poluição no local de operação, mas indiretamente pode ser poluidor, se for alimentado com energia proveniente de usinas termelétricas. O projeto do veículo permite o uso de freio regenerativo, que recupera energia cinética em frenagens e declives, converte para energia elétrica e devolve à rede de distribuição elétrica. Apresenta como desvantagens os altos custos da rede de cabos, a mobilidade limitada às vias servidas por redes exclusivas e o uso mais intenso de energia na ponta de consumo do sistema elétrico, que coincide com o horário de pico do transporte urbano. Ainda contra o trolebus, há atualmente uma tendência urbanística de supressão das redes aéreas de cabos nas cidades, por motivos estéticos e de segurança.

³⁷ Via Trolebus.

6 Outras tecnologias

Empresas e autoridades de diversas cidades em todo o mundo têm buscado alternativas ao diesel convencional como força motriz de suas frotas de ônibus. Além do diesel limpo, ônibus a gás natural, híbrido-elétrico e trolebus, outras tecnologias têm sido experimentadas, tais como:

- Biodiesel;
- Hidrogênio (células a combustível);
- Emulsão de diesel e água;
- Etanol;
- Metanol;
- Combustíveis líquidos sintetizados a partir de gás natural (GTL - *gas to liquid*);
- Gás liquefeito de petróleo.

Algumas dessas tecnologias de ônibus urbanos estão em uso comercial e outras são utilizadas em pequena escala e a maioria não está disponível em escala comercial. Normalmente cada país elege as tecnologias mais interessantes em função das disponibilidades energéticas locais.

Dentre as tecnologias para ônibus citadas acima, há interesse no Brasil principalmente para o biodiesel, face à tradição nacional em combustíveis originários de biomassa. Também estão sendo desenvolvidas no Brasil pesquisas com células a combustível, que possuem enorme potencial como uma tecnologia limpa de transportes, mas seu estágio de desenvolvimento não permite ainda seu uso em escala comercial. Os ônibus movidos a células a combustível atualmente disponíveis no exterior têm custo aproximado de US\$ 1 milhão.

As demais tecnologias mencionadas são encontradas no exterior tanto em nível de pesquisa como comercialmente.

7 Comparativos entre alternativas de ônibus urbanos

As empresas de ônibus geralmente renovam suas frotas anualmente, adquirindo veículos novos em substituição aos mais antigos, que são revendidos ou sucateados, conforme a idade e o estado do veículo. Diante das alternativas de ônibus urbanos disponíveis no mercado, a decisão pela compra de uma delas, em detrimento das demais, requer a adoção de alguma base de critérios de escolha.

Como nas cidades brasileiras os sistemas de ônibus urbanos são privados e geridos por órgãos municipais e metropolitanos, a decisão pela compra de novos veículos é uma atribuição da empresa de ônibus, em obediência às especificações estabelecidas pelo órgão gestor do sistema de transporte. Havendo interesses de âmbitos regional ou nacional na escolha da tecnologia dos novos ônibus, será conveniente a participação dos governos estaduais e federal na definição das diretrizes de renovação das frotas. Na ausência de diretrizes objetivas, a decisão estará exclusivamente a cargo da empresa de ônibus, que procederá a escolha dos novos ônibus a serem adquiridos conforme sua conveniência.

No contexto em que há interesses coletivos envolvidos, tais como redução de poluição urbana e uso mais adequado dos recursos energéticos, torna-se necessária a existência de um plano de renovação das frotas, elaborado por instituições que representem legitimamente esses interesses e possuam competência técnica e científica para sugerir as tecnologias mais adequadas. Um processo adequadamente conduzido para determinação das diretrizes a serem adotadas deve envolver métodos de análise econômica compatíveis com as dimensões do assunto, de forma que o processo de renovação das frotas seja tratado como um projeto de substituição de tecnologia.

Inevitavelmente, as alternativas de ônibus disponíveis no mercado deverão ser então comparadas com base em determinados parâmetros. A seguir são colocadas, de forma simplificada, as alternativas atuais de ônibus urbanos no Brasil e alguns parâmetros de avaliação e comparação entre as opções disponíveis.

7.1 Opções de ônibus urbanos

As opções de tecnologias de ônibus urbanos comercialmente disponíveis atualmente no Brasil são:

- Ônibus a diesel;
- Ônibus a gás natural;
- Ônibus híbrido diesel-elétrico;
- Trolebus.

Esses veículos são homologados em atendimento aos limites da fase V do PROCONVE (CONAMA V). A partir de 2009, quando entrará em vigor o CONAMA VI, já deverá estar disponível o diesel de 50 ppm de teor de enxofre, conforme os planos da Petrobrás, o que permitirá o uso de dispositivos de pós-tratamento³⁸ de gases da combustão nos ônibus. Desta forma será possível dispor do ônibus a diesel limpo em regiões metropolitanas brasileiras.

7.2 Parâmetros de comparação

Em um processo para escolha de uma ou mais alternativas para renovação das frotas de ônibus urbanos, podem ser considerados os seguintes parâmetros de comparação:

- Potencial de redução de emissões;
- Custo de aquisição;
- Custo de infra-estrutura e outros;
- Potencial de substituição de diesel.

Os parâmetros de comparação propostos visam avaliar relativamente o potencial de redução de emissões das opções de ônibus disponíveis, bem como seus custos de aquisição, de infra-estrutura e o potencial de reduzir o consumo de diesel.

³⁸ Ver item Ônibus a diesel limpo, p. 75.

7.2.1 Redução de emissões

Dentre os poluentes locais emitidos pelos veículos automotores, quatro são regulamentados através de legislação: o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e o material particulado (MP). A comparação entre as emissões de dois ônibus de tecnologias diferentes se torna difícil à medida que são possíveis inúmeras combinações de fatores de emissão. Por exemplo, um ônibus a gás natural que emite menos NO_x e menos MP comparado a um similar a diesel, porém emite mais CO e mais HC, deve ser considerado mais poluidor ou menos poluidor?

Não faria sentido somar algebricamente as massas das emissões dos quatro poluentes para obtenção de um totalizador para cada veículo, porque cada poluente produz efeitos distintos à saúde e ao ambiente.³⁹ Para contornar essa dificuldade e permitir uma comparação entre diferentes tipos de ônibus sob o aspecto de emissões, foi adotado neste trabalho o método do potencial poluidor da frota,⁴⁰ que atribui um fator único para expressar a poluição emitida pelo veículo.

Os valores de potencial poluidor da frota de ônibus adotados neste texto são obtidos pela seguinte expressão:

$$PP_{motor} \% = \frac{\sum_{i=A}^{pol_N} \left[\frac{\text{fator_emissão}_{(i)}}{\text{limite}_{(i)}} \times \text{fator_imp.}_{\text{ambiental}_{(i)}} \times \% \text{ tipo_veíc.}_{\text{invent.}_{total(i)}} \right]}{\sum_{i=A} \text{fator_imp.}_{\text{ambiental}_{(i)}} \times \% \text{ tipo_veíc.}_{\text{invent.}_{total(i)}}}$$

Onde:

- PPmotor %: Potencial poluidor do motor em relação ao limite legal considerado;
- Fator_emissão_(i): Fator de emissão do motor para o poluente (i) em g/kWh;
- Poluente (i): Poluentes regulados através de legislação (CO, HC, NO_x e MP);
- Limite_(i): Limite de emissão do poluente (i) em g/kWh, de acordo com a legislação adotada como referência;

³⁹ Ver Anexo 4 - *Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera*, p. 141.

⁴⁰ Marcio SCHETTINO. *Política ambiental para ônibus urbano nas RMSP*. O método denominado “Potencial Poluidor da Frota” foi desenvolvido por Marcio SCHETTINO e outros profissionais da Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU) e integra a política ambiental da empresa, com o objetivo de gerir as emissões dentro do sistema de transporte e estabelecer

metas de desempenho para a frota de ônibus.

- $fator_imp._ambiental_{(i)}$: Fatores dimensionados em função do grau de impacto causado pelo poluente (i), com base na importância de seus efeitos para a saúde humana e para o meio ambiente e com base no histórico de seus índices de concentração na atmosfera da RMSP, divulgados anualmente pela CETESB nos Relatórios de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo;
- $\% \text{ tipo_veic_invent.}_{total(i)}$: É a porcentagem de participação dos veículos pesados na emissão do poluente (i) na RMSP, conforme o inventário de emissões na RMSP, divulgado anualmente pela CETESB nos Relatórios de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo.

Os coeficientes da fórmula do potencial poluidor adotados neste texto são mostrados na Tabela 15. Os coeficientes $fator_imp._ambiental_{(i)}$ e $\% \text{ tipo_veic_invent.}_{total(i)}$ foram dimensionados pelos autores do método potencial poluidor da frota conforme as descrições acima.⁴¹

Tabela 15 Coeficientes da fórmula do potencial poluidor da frota

Poluente (i)	CO	HC	NO _x	MP
Limite adotado como referência _(i) (g/kWh)	4,00	1,10	7,00	0,15
$fator_imp._ambiental_{(i)}$	0,40	0,10	1,40	0,64
$\% \text{ tipo_veic_invent.}_{total(i)}$	25,4%	17,9%	81,5%	30,8%

A expressão do potencial poluidor da frota é referenciada a um limite legal de emissões (Limite_(i)), de modo que seu resultado será um percentual do limite adotado. Os valores de Limite_(i) escolhidos neste texto foram referenciados ao CONAMA IV, em função do perfil atual da frota a substituir.⁴²

7.2.2 Perfil atual da frota a substituir

A idade média da frota nacional de ônibus urbanos em 2003 era de 5,5 anos,⁴³ e cerca de 10% da frota tinha idade superior a 8,5 anos⁴⁴ naquele ano. Assumindo a

⁴¹ O autor deste trabalho não avaliou os critérios de dimensionamento dos coeficientes mencionados.

⁴² A fórmula original do potencial poluidor utiliza como referência o limite europeu EEV 2008 – *Environmentally Enhanced Vehicle*.

⁴³ ANTP - *Relatório: Perfil do Transporte e Trânsito Urbanos* - 2003, p. 59.

⁴⁴ *Ibid.*

premissa de não ter ocorrido alteração significativa no perfil etário relativo da frota desde 2003, pode-se considerar que atualmente 10% da frota – a parcela com idade superior a 8,5 anos – é composta por ônibus fabricados antes de 1998, quando estava vigente a fase III do PROCONVE (CONAMA III). Isto significa que 10% da frota apresenta emissões da ordem de magnitude dos limites do CONAMA III. Os 90% restantes da frota são de fabricação posterior a 1998, portanto as emissões desses ônibus são compatíveis com os limites da fase IV, instituída em 1998.

Diante deste perfil de frota predominantemente de ônibus a diesel CONAMA IV, como visto, pode-se considerar que doravante, por quase uma década, a renovação da frota implicará em substituir ônibus a diesel CONAMA IV.

Por esta razão, os valores de *Limite_(i)* da expressão de potencial poluidor da frota adotados para o exercício de análise comparativa deste texto foram referenciados aos limites do CONAMA IV. Com esta referência, o resultado da fórmula indicará o percentual de redução de poluição proporcionada pela tecnologia do ônibus novo, cogitado para integrar a frota nacional, substituindo um ônibus a diesel CONAMA IV.

Na Tabela 16 são apresentados valores de limites legais de emissões, incluindo o limite de referência CONAMA IV e na Tabela 17 os fatores de emissões de diversos tipos de ônibus urbanos selecionados. Os valores de “PP” em ambas as tabelas são calculados através do método do potencial poluidor.

Tabela 16 Limites legais de emissões para ônibus

Poluente (i)	CO	HC	NO _x	MP	Obs.	PP
Limites legais (g/kWh)						
CONAMA IV, 1998-2004 (EURO II)	4,000	1,100	7,000	0,150	(1)	100%
CONAMA V, 2004-2009 (EURO III, 2000)	2,100	0,660	5,000	0,100	(1)	69%
CONAMA VI, 2009 (EURO IV, 2005)	1,500	0,460	3,500	0,020	(1)	44%
EURO V, 2008	1,500	0,460	2,000	0,020	(2)	27%

(1) MMA - CONAMA - PROCONVE; (2) Dieselnet *apud* GWILLIAM (2004), p. 117.

Tabela 17 Fatores de emissões e potencial poluidor de ônibus selecionados

fator_emissão _(i) (g/kWh)	CO	HC	NO _x	MP	Obs.	PP
Brasil diesel CONAMA V (média homol.)	0,960	0,300	4,660	0,085	(1)	62%
Brasil biodiesel (testes Ladetel - USP)	0,866	0,257	4,446	0,062	(2)	57%
Brasil híbrido diesel-elétrico Eletra	0,097	0,044	4,459	0,022	(3)	52%
Brasil GNV MBB M366LAG sem catalisador	2,046	0,381	3,157	0,013	(4)	40%
Brasil GNV sem catalisador (média homol.)	1,832	0,403	2,583	0,027	(1)	35%
Brasil GNV com catalisador (média homol.)	0,970	0,013	0,581	0,002	(1)	8%
Europa GNC Mercedes M447hG lean-burn	2,000	0,500	3,500	0,050	(5)	48%
Europa GNC Cummins L10-260G lean-burn	0,500	0,300	2,300	0,030	(5)	30%
Europa GNC Iveco 8469.41 estequiométrico	0,300	0,020	0,700	0,030	(5)	11%
Bélgica GNC Volvo GH10/G6B lean burn	0,500	1,100	2,000	0,050	(6)	29%
França GNC Renault cat. de oxidação	0,100	0,300	4,000	0,080	(6)	52%
Itália diesel IVECO 491 City Class 12m	1,900	0,390	6,310	0,129	(6)	86%
Itália GNC IVECO City Class 12m	0,280	0,020	0,110	0,009	(6)	3%
EUA (NY) clean diesel (1998) (cat.)	0,121	0,013	5,094	0,005	(7)	58%
EUA GNC Detroit Diesel S50	3,485	1,072	2,547	0,040	(6)	39%
EUA (NY) clean diesel (2000) (cat.+EGR)	0,021	0,003	3,217	0,004	(7)	36%
EUA cél. combustível metanol 1994 Fuji	3,847	0,121	0,040	0,013	(8)	8%
EUA cél. combustível metanol 1998 Fuji	0,027	0,013	0,000	0,000	(8)	0%

(1) LINKE (2004); (2) Ladetel USP *apud* HOLANDA (2004), p. 25; (3) Eletrabus (s.d.); (4) MURARO (2004); (5) NYLUND (2000), p. 110; (6) WATT (2001), p. 49; (7) WORLD BANK (2003); (8) FULTON (2001), p. 111.

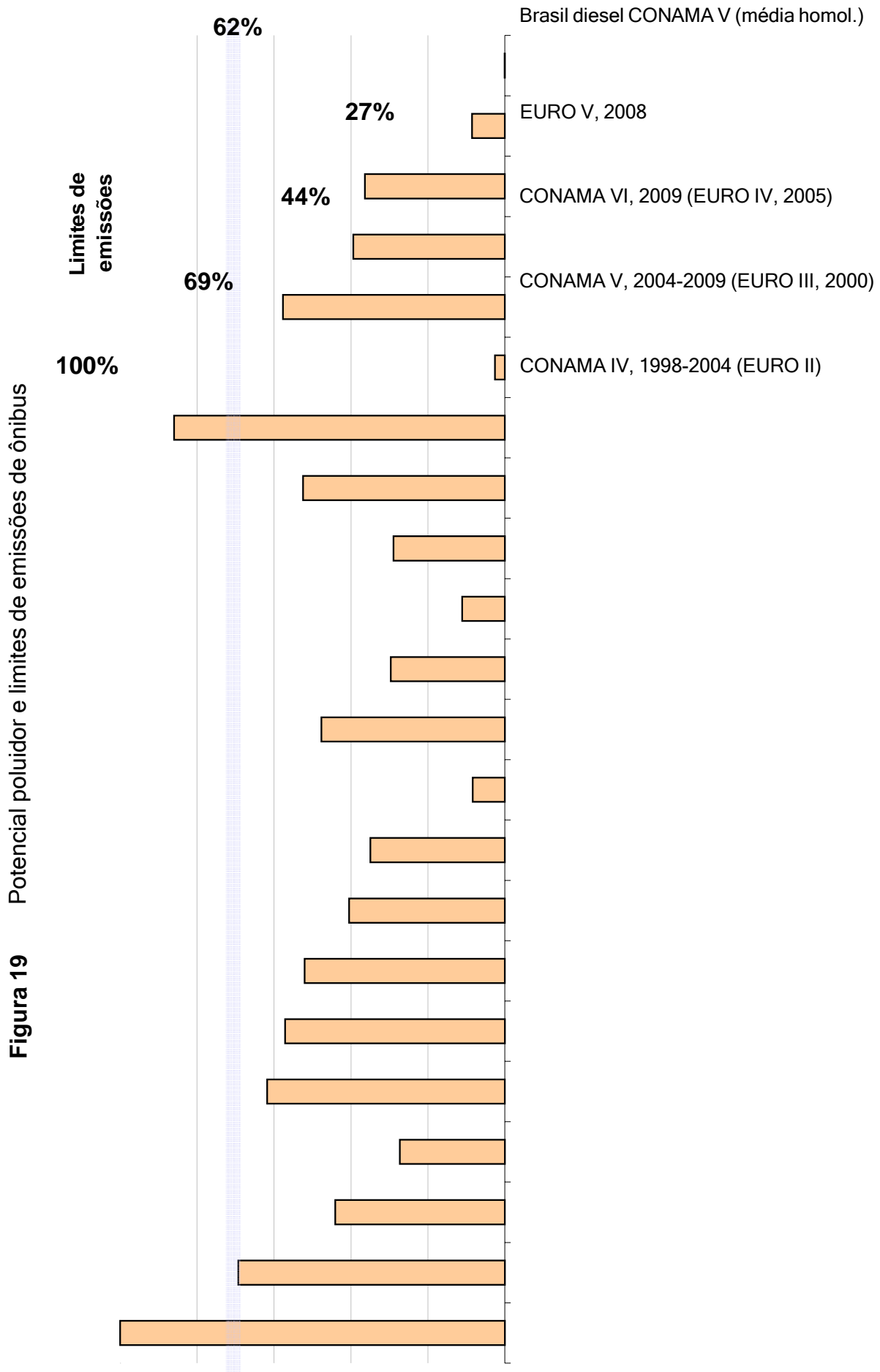
Os dados da Tabela 16 e da Tabela 17 são representados graficamente na Figura 19 (p. 87).

Para o ônibus a diesel CONAMA V⁴⁵ foi obtido o valor de potencial poluidor (PP) de 62% (Tabela 17 e Figura 19). Este número indica que, segundo o método adotado, este ônibus tem potencial para emitir 62% da poluição máxima de um ônibus cujos fatores de emissões sejam iguais aos limites CONAMA IV. Em outras palavras, o ônibus a diesel tem potencial para poluir 38% menos que a referência.

O ônibus a gás sem catalisador, por sua vez, tem potencial para poluir 65% menos ao substituir um ônibus a diesel CONAMA IV da frota atual, ou seja, uma vantagem ambiental 27% maior que a proporcionada pelo ônibus a diesel novo (CONAMA V).

⁴⁵ Os fatores de emissão de “*Brasil diesel CONAMA V (média homol.)*” da Tabela 17 correspondem aos valores médios dos fatores de emissões dos motores a diesel para ônibus homologados pelo IBAMA dentro dos limites do CONAMA V. Da mesma forma, os fatores de emissão de “*Brasil GNV sem catalisador (média homol.)*” e “*Brasil GNV com catalisador (média homol.)*” são valores médios homologados de ônibus a gás natural sob os limites do CONAMA V.

		0%	EUA cél. combustível metanol 1998 Fuji
		8%	EUA cél. combustível metanol 1994 Fuji
	36%		EUA (NY) clean diesel (2000) (cat. +EGR)
	39%		EUA GNC Detroit Diesel S50
	58%		EUA (NY) clean diesel (1998) (cat.)
		3%	Itália GNC IVECO City Class 12m
86%			Itália diesel IVECO 491 City Class 12m
	52%		França GNC Renault cat. de oxidação
		29%	Bélgica GNC Volvo GH10/G6B lean burn
		11%	Europa GNC Iveco 8469.41 estequiométrico
		30%	Europa GNC Cummins L10-260G lean-burn
	48%		Europa GNC Mercedes M447hG lean-burn
		8%	Brasil GNV com catalisador (média homol.)
		35%	Brasil GNV sem catalisador (média homol.)
Ônibus urbanos		40%	Brasil GNV MBB M366LAG sem catalisador
	52%		Brasil híbrido diesel-elétrico Eletra
	57%		Brasil biodiesel (testes Ladetel - USP)



O ônibus híbrido diesel-elétrico brasileiro poluiria 48% menos que a referência. Como o ônibus a diesel limpo ainda não está disponível no Brasil, foi considerado para comparação um modelo usado nos EUA, fabricado no ano 2000, equipado com catalisador e EGR.⁴⁶ O potencial poluidor calculado para este ônibus foi 36%, indicando um potencial para poluir 64% menos que a referência.

O potencial poluidor do ônibus a gás brasileiro com catalisador foi de 8%, ou seja, ele pode reduzir em 92% a poluição em relação ao referencial adotado. Entretanto, este modelo tem sido destinado somente para exportação para o mercado europeu, onde os limites de emissões são mais restritivos. Seu custo é superior ao do modelo sem catalisador.

Os resultados do exercício de comparação do potencial poluidor de ônibus apresentados na Figura 19 podem ser usados como parâmetros de comparação do potencial de redução de emissões entre as tecnologias analisadas.

Os parâmetros de custo de aquisição, infra-estrutura e outros, como o potencial de substituição de diesel de cada tecnologia, também devem ser considerados no processo para escolha de alternativa para renovação das frotas de ônibus urbanos.

7.2.3 Custos de aquisição, infra-estrutura e outros

Dentre as alternativas de tecnologias de ônibus disponíveis no Brasil, a que tem o menor custo de aquisição do veículo novo é o ônibus a diesel CONAMA V, cujo valor médio de referência está em torno de US\$ 130 mil para o tipo *Padron*. Versões a gás natural do ônibus *Padron* custam em média entre 20 e 30% a mais que o diesel, enquanto para o trolebus essa diferença é de aproximadamente 35% e para o híbrido diesel-elétrico, 43% a mais que o diesel.⁴⁷ Como o ônibus a diesel limpo não está ainda disponível no Brasil, não há referência nacional de seu custo de aquisição, no entanto, em outros países seu preço é normalmente inferior ao dos ônibus a gás natural.⁴⁸

⁴⁶ *Exhaust gas recirculation*.

⁴⁷ SPTTrans, 2005; Revista Transurbana, 2005.

⁴⁸ Lew FULTON *et alli*. *Bus systems for the future - Achieving sustainable transport worldwide*, p. 82.

Os custos de infra-estrutura para abastecimento do ônibus a gás natural são elevados, atingindo no Brasil em torno de US\$ 1 milhão para uma estação de compressão de gás natural com capacidade para abastecimento de 100 ônibus. Os custos de manutenção dos veículos a gás também são mais elevados que para o diesel. Portanto, a decisão de uma empresa em incluir ônibus a gás natural em sua frota implica na consideração desses investimentos adicionais.

O trolebus também requer investimentos altos em redes de distribuição de energia elétrica específica para esses veículos, que operam em 600 Volts em corrente contínua. Seus custos de manutenção são elevados em função das peças de reposição, o que também ocorre com os ônibus híbridos elétricos.

A Tabela 18 resume os parâmetros de comparação entre as alternativas para substituição da frota de ônibus urbanos no Brasil.

Tabela 18 Alternativas para substituição da frota atual de ônibus urbanos

Tecnologia de ônibus	Parâmetros de comparação			
	Substituição de diesel	Redução de emissões (1)	Custo de aquisição	Custo de infra-estrutura
Diesel CONAMA V	NÃO	38%	BAIXO	BAIXO
Híbrido diesel-elétrico	NÃO	48%	ALTO	BAIXO
Gás natural	SIM	65%	MÉDIO	ALTO
Diesel limpo	NÃO	64%	MÉDIO	BAIXO
Trolebus	SIM	100%	ALTO	ALTO

(1) Redução em relação ao CONAMA IV, determinada pelo método do Potencial Poluidor da frota.

Em termos financeiros, do ponto de vista do empresário de ônibus, a alternativa mais interessante é a do ônibus a diesel, que tem o menor custo inicial, não requer infra-estrutura adicional e não está susceptível aos riscos de surgimento de problemas inesperados, inerentes a tecnologias não estabelecidas totalmente no mercado, como a do ônibus a gás.

Somente o ônibus a gás natural e o trolebus promovem a substituição de diesel, dentre as opções disponíveis, como se vê na Tabela 18. Considerando que há interesses governamentais em reduzir o consumo de diesel e em incrementar o

consumo de gás natural, o ônibus a gás se apresenta mais vantajoso diante do trolebus, que embora seja imbatível no quesito emissões, perde em mobilidade e custo. Frente a tais interesses, e havendo uma intenção clara em favorecer a tecnologia do ônibus a gás natural, cabe ao governo proceder às análises econômicas necessárias ao dimensionamento dos recursos financeiros que deverão ser arcados pelos poderes públicos para viabilizar a tecnologia. O dimensionamento desses recursos deve ser baseado na quantificação monetária dos benefícios decorrentes da vantagem ambiental do ônibus a gás natural sobre o ônibus a diesel CONAMA V, e na contabilização da economia de divisas decorrente da redução de importação de diesel e petróleo proporcionada pela substituição de diesel por gás natural nos ônibus.⁴⁹

⁴⁹ Ver item *Impactos do ônibus a gás na importação de petróleo (economia de divisas)*, p. 31.

CAPÍTULO III EXPERIÊNCIAS E PERSPECTIVAS DO ÔNIBUS A GÁS

Neste capítulo são apresentados aspectos de experiências com ônibus a gás no Brasil e em outros países, envolvendo as dificuldades e fatores determinantes de seu sucesso. São avaliadas a viabilidade de frotas de ônibus a gás e algumas premissas para sua implementação eficaz nas cidades brasileiras.

1 Experiências brasileiras

O surgimento dos ônibus a gás no Brasil no início da década de 1980 foi motivado principalmente por questões energéticas. Como consequência da 2ª crise mundial do petróleo em 1979, o objetivo dos primeiros programas de ônibus a gás era promover a redução de consumo de diesel e da dependência nacional de petróleo. As primeiras experiências foram realizadas com ônibus convertidos nas cidades de Natal, São Paulo e Rio de Janeiro. Após 1985 os preços do petróleo estavam normalizados,¹ enquanto por outro lado cresciam as preocupações ambientais, que passaram a ser as principais motivações para o uso do ônibus a gás natural, como forma de reduzir poluição.

1.1 Desenvolvimento do mercado brasileiro de ônibus a gás

A produção nacional da primeira geração de ônibus a gás OEM teve início somente em 1987, pela Mercedes Benz do Brasil (MBB), empresa do grupo Daimler Chrysler. A MBB desenvolveu no Brasil sua tecnologia do ônibus a gás, que atualmente é exportado para a Europa, e tem sido a única fornecedora deste produto no mercado nacional, em condição de monopólio. Há outros fabricantes estabelecidos no Brasil aptos para produzir ônibus a gás, que ainda não o fizeram em função da pouca demanda e da instabilidade dos programas.

A primeira geração brasileira de ônibus a gás natural, da MBB, foi desenvolvida a partir de 1983, quando a tecnologia ainda era novidade no mundo. Mais de 400 ônibus² foram fornecidos no mercado interno nessa fase, porém os veículos apresentavam muitos problemas técnicos,³ comprometendo o desempenho das frotas e os custos. Adicionalmente, a qualidade do gás natural não era satisfatória.

¹ Edmilson MOUTINHO dos SANTOS *et alli*. Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano - Estágio atual, perspectivas e dificuldades. Relatório final, p. 4.

² Wilson MURARO, 2004.

³ Edmilson MOUTINHO dos SANTOS *et alli*. Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano - Estágio atual, perspectivas e dificuldades. Relatório final, p. 14.

A partir de 1997 passou a ser produzida a segunda geração de ônibus a gás natural da MBB, que continuou apresentando problemas técnicos, e venderam-se pouco mais de 100 unidades,⁴ todas para a cidade de São Paulo. Essas foram as últimas vendas expressivas de ônibus a gás natural no Brasil desde então.

A terceira geração foi lançada em 2001, aclamada pela MBB como isenta dos problemas das gerações anteriores, mas ainda não foi possível obter uma avaliação de seu desempenho no mercado nacional, porque até o momento as vendas desse modelo foram insignificantes. A Petrobrás adquiriu um desses ônibus, que está em teste na cidade do Rio de Janeiro desde 2004, em uma linha comercial operada pela empresa Rubanil, como parte do “Projeto Ônibus a Gás Natural”, desenvolvido pelo Conpet e Petrobrás.

1.2 Cronologia do ônibus a gás no Brasil

A cronologia dos principais eventos relacionados aos ônibus a gás no Brasil está representada na Figura 20 (p. 94), desde o início da década de 1980 até os dias atuais, e de modo ampliado na Figura 21 (p. 95) e Figura 22 (p. 96), para melhor visualização dos períodos entre 1980 e 1994, e de 1994 a 2005, respectivamente.

Estão destacados na cronologia:

- Eventos relacionados aos programas de implantação de ônibus a gás;
- Marcos e resoluções do governo relacionados ao uso e especificação do gás;
- Gerações tecnológicas do ônibus OEM da MBB;
- Resoluções da legislação ambiental e as fases do PROCONVE;
- Eventos relacionados projetos-piloto, oferta de gás e outras ações da Petrobrás.

⁴ Wilson MURARO, 2004.

Figura 20 Cronologia do ônibus a gás no Brasil (geral)

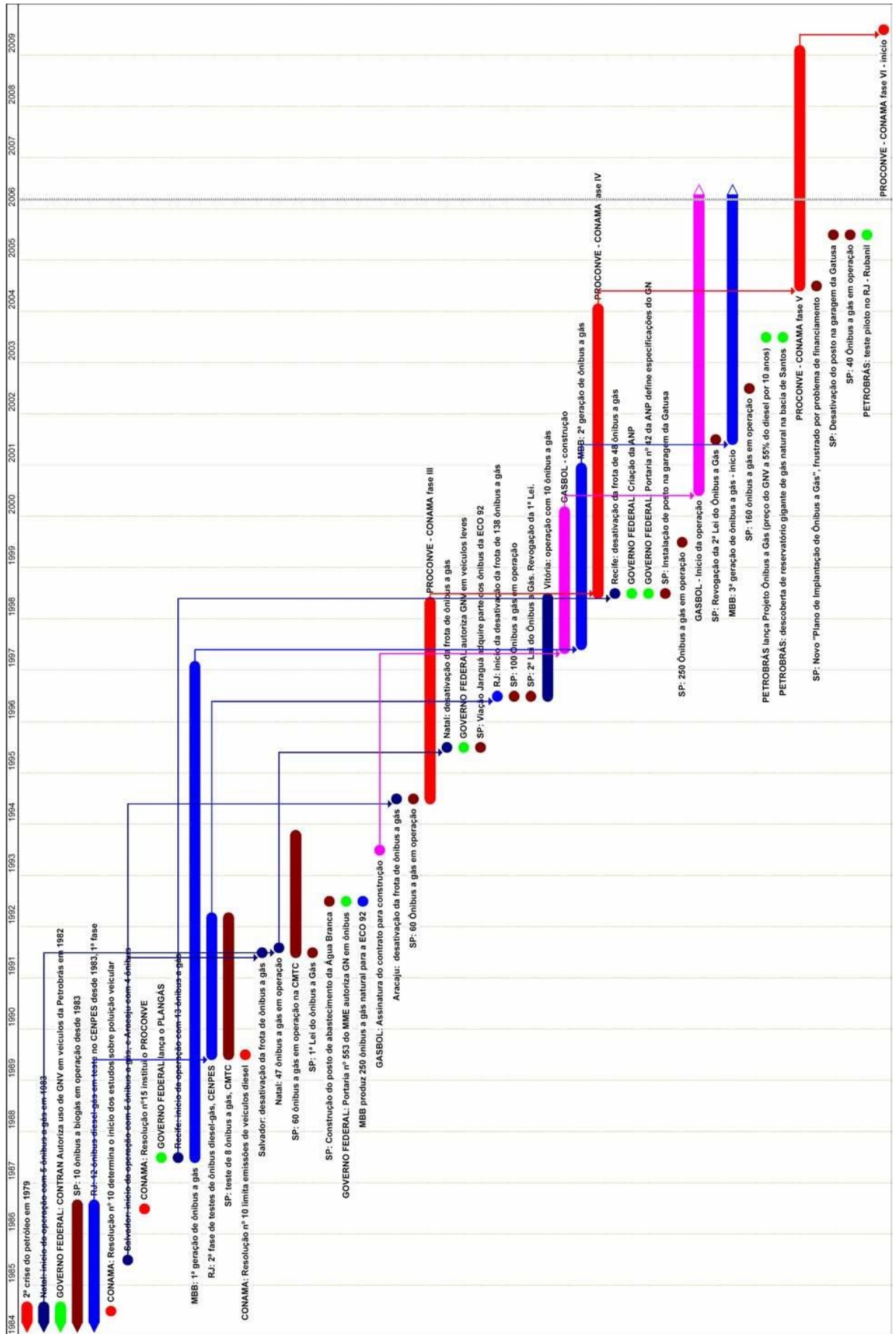


Figura 21 Cronologia do ônibus a gás no Brasil (1980-1994)

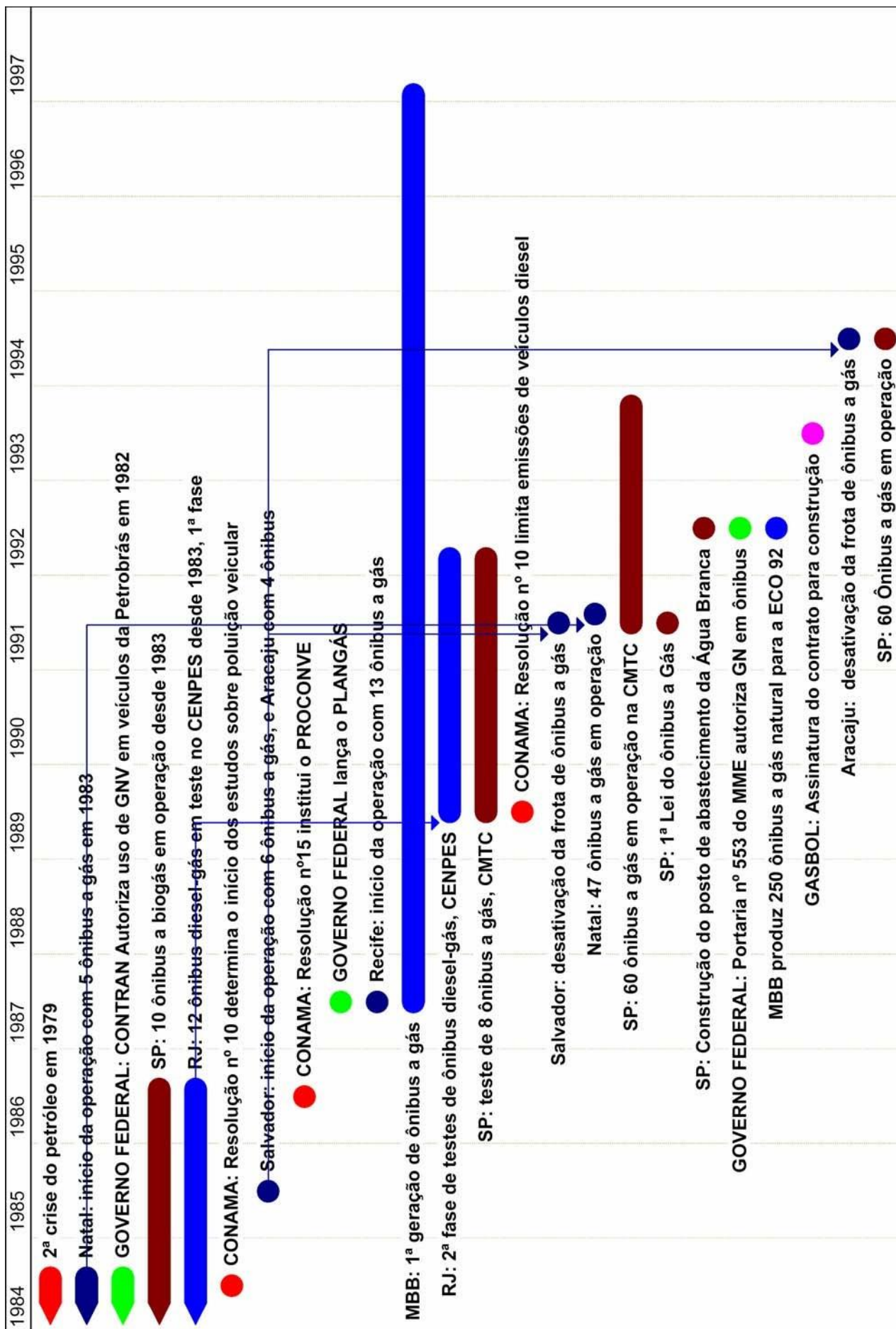
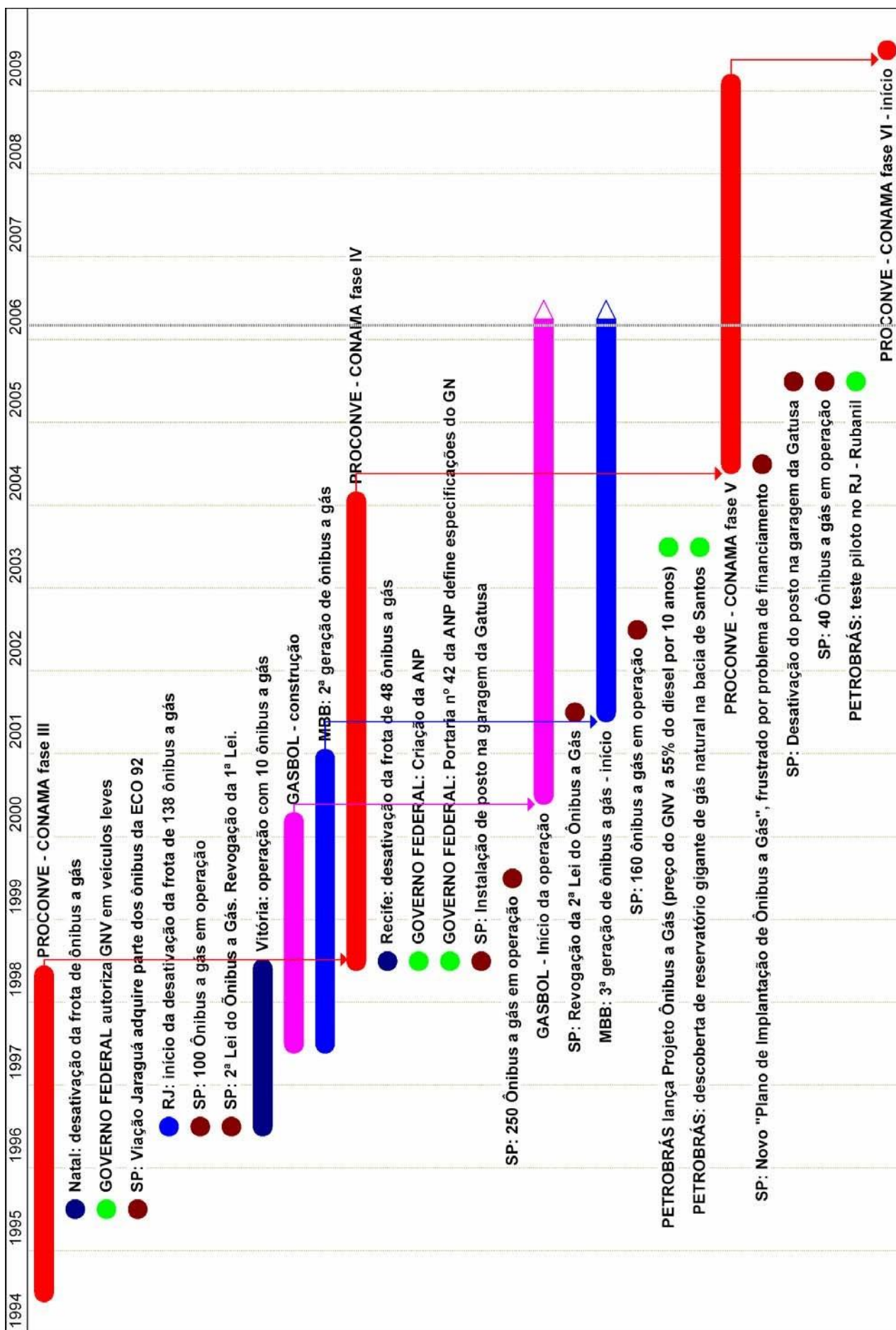


Figura 22 Cronologia do ônibus a gás no Brasil (1994-2005)



1.3 Programas de ônibus a gás

Os programas de ônibus a gás brasileiros foram conduzidos em algumas capitais como Natal, São Paulo, Rio de Janeiro, Vitória, Fortaleza, Aracaju, Salvador e Recife. Um dos mais expressivos aconteceu no Rio de Janeiro, que foi uma das cidades pioneiras em testes de ônibus a gás, tanto dedicados quanto diesel-gás convertidos, desde o início da década de 1980. Sua frota chegou a até 138 ônibus a gás simultâneos,⁵ mas foi desativada a partir de 1995. No Nordeste, a cidade de Natal⁶ chegou a ter 47 ônibus a gás natural em 1991; Recife, 48 ônibus a gás entre 1987 e 1998; Aracaju, até 25 ônibus entre 1985 e 1994; e Salvador operou até 10 ônibus a gás natural⁷ entre 1985 e 1991 (Figura 23). Entre todas as experiências brasileiras, somente na cidade de São Paulo⁸ as frotas de ônibus a gás natural se mantiveram em operação além da década de 1990, mas também estão em decadência.

As experiências nas diversas cidades se assemelham no sentido em que todas passaram pela mesma seqüência de etapas, da implantação à desativação:

- Implantação das frotas acompanhadas de euforia e projeções otimistas de crescimento;
- Surgimento imediato de problemas operacionais, de desempenho dos ônibus e de custos acima dos previstos;
- Desativação dos ônibus a gás (conversão para diesel);
- Resistência dos empresários a novos programas.

A Figura 23 (p. 98) apresenta de maneira resumida a cronologia os programas de ônibus a gás natural em cidades brasileiras. Percebe-se na Figura 23 que as iniciativas de ônibus a gás mais precoces, em frotas reduzidas, tiveram sua desativação total em curto prazo, que é o caso das cidades da Região Nordeste.

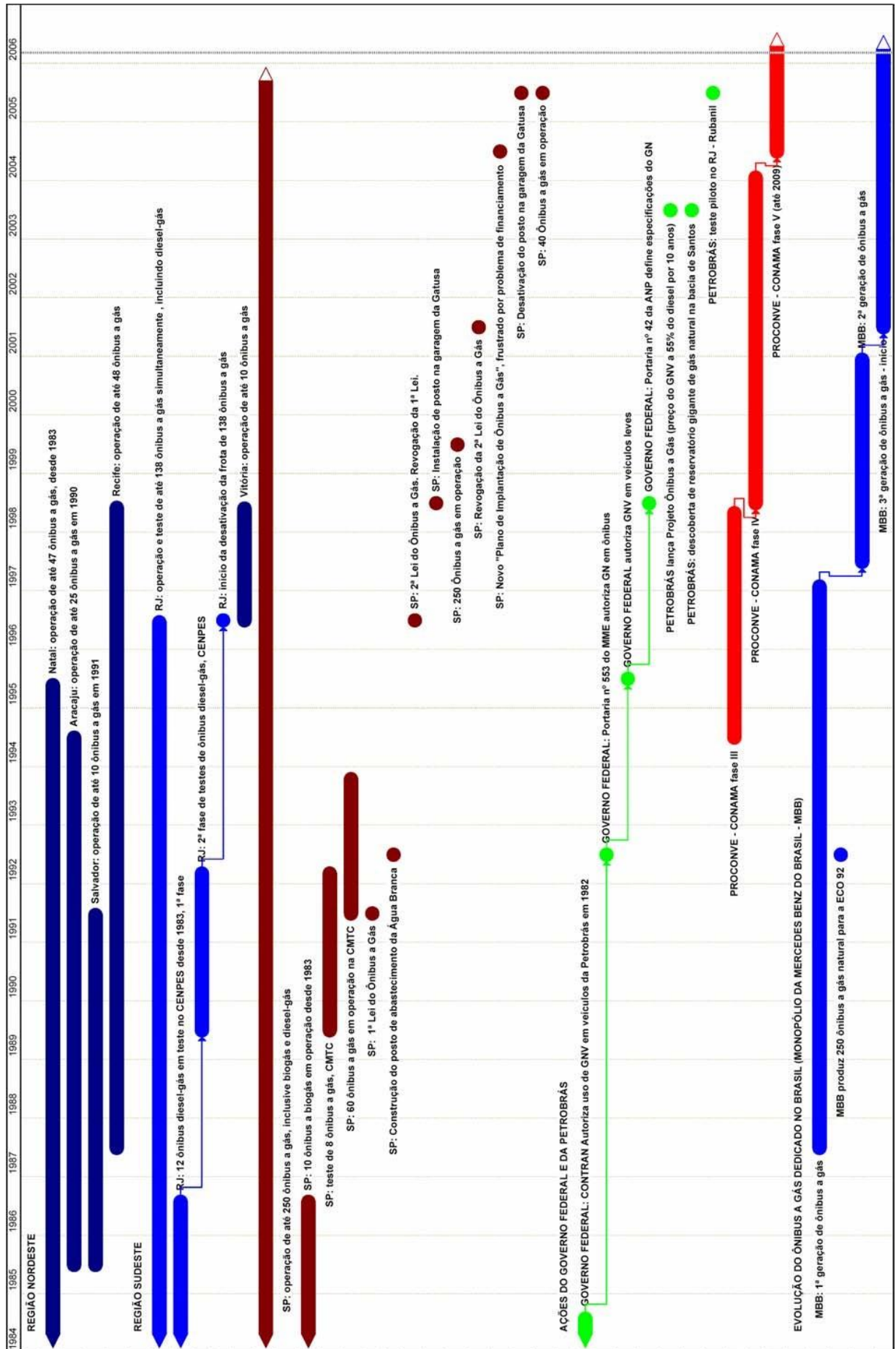
⁵ ANTP - *Anuário Estatístico*, 1995.

⁶ Ver item *O caso de Natal*, p. 99.

⁷ ANTP - *Anuários Estatísticos, 1993 a 2003* e Fernando MACHADO, *A Utilização do ônibus a gás natural comprimido na frota de ônibus urbanos como alternativa para a redução da poluição atmosférica na região metropolitana de São Paulo*, p. 60.

⁸ Ver item *O caso de São Paulo*, p. 101.

Figura 23 Programas de ônibus a gás no Brasil



A Figura 24 mostra a evolução das frotas de ônibus a gás no Brasil, caracterizada pelo crescimento tímido na década de 1980, mais intenso após 1990, e pela franca decadência a partir de 1998. O auge ocorreu em 1998, quando se atingiu pouco mais de 300 ônibus a gás natural, correspondente a cerca de 0,3% da frota nacional de ônibus urbanos.

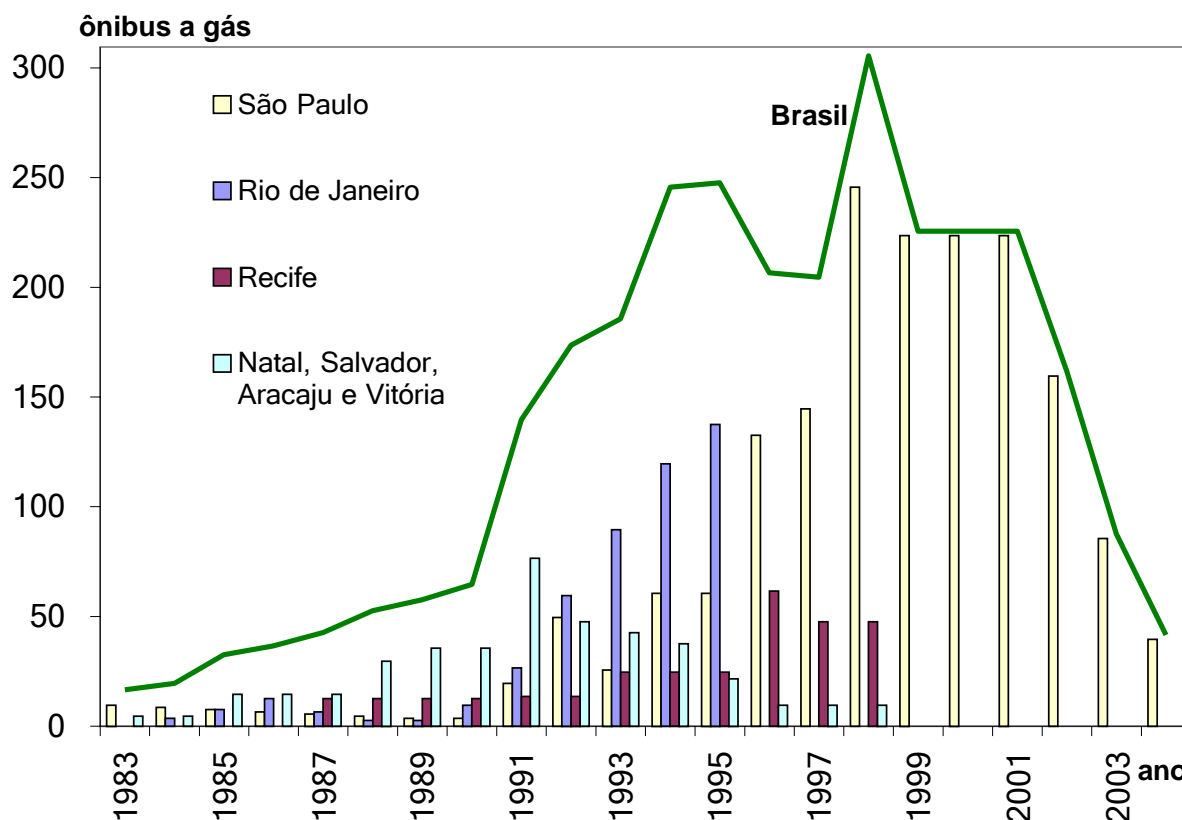


Figura 24 Evolução das frotas de ônibus a gás no Brasil⁹

1.4 O caso de Natal

A cidade de Natal foi a pioneira no uso de gás natural em ônibus urbanos. Assim como em outras capitais do Nordeste, como Recife, Salvador e Aracaju, já havia disponibilidade de gás em Natal naquela época. A plataforma de Guamoré, a 200 quilômetros de Natal, além de abastecer os estados do Rio Grande do Norte,

⁹ Gráfico elaborado pelo autor com base nos dados de ANTP – *Anuários Estatísticos, 1993 a 2003* e Fernando MACHADO, *A Utilização do ônibus a gás natural comprimido na frota de ônibus urbanos como alternativa para a redução da poluição atmosférica na região metropolitana de São Paulo*, p. 57.

Paraíba e Pernambuco, ainda queimava grandes quantidades de gás natural não aproveitado.

O programa de ônibus a gás natural em Natal, promovido pela prefeitura local e pela Petrobrás, envolveu o teste de ônibus dedicados a gás da Mercedes Benz do Brasil (MBB) e ônibus diesel-gás convertidos, chegando a ter em 1991 a maior frota de ônibus a gás do país, com 47 veículos, correspondendo a 15% da frota urbana da cidade.¹⁰ A prefeitura anunciou que haveria redução de tarifa, esperada por causa da economia gerada pelo gás, mas além de não ocorrer tal redução, os ônibus a gás tiveram desempenho insatisfatório, levando os empresários de transportes a experimentarem prejuízos financeiros.¹¹

Na época, os chassis de ônibus a gás natural da MBB eram 50% mais caros que os similares a diesel, as peças de reposição mais caras e sua vida útil mais curta. Foram também constatados problemas com a autonomia dos veículos, rendimento menor e custo do quilômetro rodado a gás mais caro que do ônibus a diesel, segundo relato do então presidente do sindicato dos empresários de ônibus locais.¹²

Em 1994 os empresários de ônibus de Natal começaram a converter seus ônibus a gás para diesel. Ao tomar conhecimento das conversões, o então prefeito convocou reunião na tentativa de reverter o processo propondo redução de alíquota de imposto municipal sobre as tarifas dos ônibus a gás, mas já era tarde. A decisão dos empresários em eliminar os ônibus a gás natural era irreversível.¹³ Os últimos ônibus a gás natural de Natal foram desativados em 1995, após 12 anos de experiências (Figura 23, p. 98), deixando como resultado uma imagem de fracasso da tecnologia e o desinteresse dos empresários em eventuais novos programas, face aos prejuízos e problemas vividos.

¹⁰ Revista Via Urbana, março de 1994, p. 16.

¹¹ SENAI / ANTP. *Anais do Seminário "O gás natural nos ônibus urbanos" – 1992*, p. 27.

¹² *Ibid.*

¹³ Revista Via Urbana, março de 1994, p. 16.

Uma das principais causas do fracasso da experiência de Natal pode ser atribuída à decisão de se usar o sistema de ônibus da cidade como laboratório de teste para uma tecnologia ainda itinerante na época, de forma prematura. Como teste piloto de uma nova tecnologia, a quantidade de veículos deveria ter sido reduzida, e os programas deveriam ter sido estruturados de forma que os ônus da experimentação não recaíssem sobre o empresariado.

1.5 O caso de São Paulo

Na cidade de São Paulo registrou-se a maior frota de ônibus a gás natural do Brasil, que somou 246 veículos em 1998,¹⁴ correspondendo a cerca de 2% da frota de ônibus urbanos da cidade, quando então começou a declinar. Em 2005 restavam apenas 40 ônibus¹⁵ a gás em circulação.

As experiências em São Paulo iniciaram em 1983 com o teste de dez ônibus convertidos para o uso com biogás. Outros testes se sucederam com veículos convertidos, e no fim da década de 1980 começaram a ser introduzidos os primeiros ônibus OEM produzidos pela Mercedes Benz do Brasil (MBB).

A prefeitura tentou forçar a expansão da frota de ônibus a gás através de leis municipais, que não produziram os resultados pretendidos. Houve de fato um crescimento da frota em curto prazo, porém logo seguido de retração (Figura 24, p. 99).

A mais recente aquisição de ônibus a gás natural em volume significativo ocorreu em 1998 pela empresa Gatusa, quando foi também instalado em sua garagem um compressor e posto de abastecimento de gás. Dos 65 ônibus a gás adquiridos, 35 foram posteriormente convertidos para diesel. A empresa Oak Tree, antiga Santa Madalena, na mesma época adquiriu 32 ônibus a gás, dos quais 22 também foram convertidos para diesel. Somente essas duas empresas ainda operam ônibus a gás natural em São Paulo.¹⁶

¹⁴ ANTP - *Anuário Estatístico*, 1998.

¹⁵ Trinta ônibus a gás da empresa Gatusa e 10 da Oak Tree (antiga Santa Madalena). SPTrans (2005).

¹⁶ SPTrans, 2005.

Em linhas gerais, o fracasso do programa de São Paulo foi atribuído a problemas tecnológicos do veículo, de inadequação da qualidade do gás disponível, de falta de infra-estrutura de distribuição do gás, de logística de abastecimento e de custos superiores ao esperado.¹⁷

Os problemas mencionados sobre o caso de São Paulo são semelhantes aos verificados em Natal, e provavelmente também ocorreram nas demais cidades brasileiras que tentaram introduzir frotas a gás no transporte público, em vista de terem experimentado o mesmo desfecho.¹⁸

1.6 Problemas dos programas brasileiros

O que se tem observado no Brasil é um grande desperdício de esforços, despendidos aleatoriamente em programas de ônibus a gás esparsos e descoordenados. Basta observar o histórico do ônibus a gás no Brasil nos últimos vinte anos mostrado na Figura 23 (p. 98) para se constatar a fugacidade e o pequeno alcance da maioria dos programas, que tiveram duração variável entre dois e onze anos, da inauguração à desativação, experimentando inúmeros problemas até o desfecho melancólico. Essas iniciativas fracassadas desgastaram e estigmatizaram a tecnologia, criando nos empresários uma resistência a eventuais novas propostas de substituição de diesel por gás natural.

Os principais problemas comuns a várias frotas foram relacionados à imaturidade tecnológica, à qualidade do gás natural, à logística de acesso ao gás e aos custos envolvidos em todo o processo de uso do ônibus a gás.

1.6.1 Tecnologia

Os principais defeitos apresentados pelos ônibus a gás OEM de primeira geração da MBB foram deficiência de potência (150 CV), carbonização e pré-ignição de motores e problemas com peças diversas. A segunda geração sanou a maioria dos

¹⁷ Edmilson MOUTINHO dos SANTOS *et alli*. Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano - Estágio atual, perspectivas e dificuldades. Relatório final, p. 11-12.

¹⁸ Não estão disponíveis na literatura especializada detalhes das operações das frotas a gás de todas as cidades mencionadas neste texto.

problemas, como a potência, que foi ampliada para 250 CV, mas apresentou outros defeitos graves, como durabilidade da turbina, superaquecimento do motor e indisponibilidade imediata de peças de reposição, causando a paralisação do ônibus por vários dias.¹⁹

Mais que um problema tecnológico, trata-se de um erro estratégico a iniciativa de introduzir comercialmente uma tecnologia em início de desenvolvimento. Os programas de ônibus a gás natural brasileiros foram implantados prematuramente, de modo precipitado e irresponsável, com a tecnologia ainda imatura. Nos EUA os programas tiveram início na década de 1990, mais tardiamente que no Brasil, e mesmo assim foram constatados problemas tecnológicos²⁰ nos ônibus, mas que entretanto não foram suficientemente graves para inviabilizar as iniciativas locais.

Os ônibus a gás natural de maneira geral enfrentam problemas de autonomia, cuja solução é limitada à quantidade de cilindros²¹ instalados no ônibus para armazenamento de gás. Quanto mais cilindros, maior autonomia, porém também mais espaço ocupado no veículo e mais peso embarcado, exigindo estrutura mais reforçada. Os ônibus a gás das primeiras gerações da MBB ofereciam no máximo 350 km de autonomia, que pode forçar o veículo a sair de circulação em plenohorário de pico, como ocorria em Natal.²²

Os primeiros ônibus a gás demoravam vinte minutos para serem abastecidos, causando sérios problemas logísticos nas garagens. Atualmente esse problema está contornado, sendo possível realizar essa operação em menos de cinco minutos.

Atualmente podem-se considerar os problemas tecnológicos em geral como **RESOLVIDOS**, diante do amadurecimento da tecnologia e da maior disponibilidade

¹⁹ Edmilson MOUTINHO dos SANTOS *et alli*. Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano - Estágio atual, perspectivas e dificuldades. Relatório final, p. 14.

²⁰ WATT, G. M. *Natural gas vehicle transit bus fleets: The current international experience*, p. 12.

²¹ Os ônibus a gás natural nacionais usam de seis a oito cilindros de 50 litros para armazenamento de gás. Em aço, cada cilindro pesa 65 kg; em material *composite*, 36 kg e em fibra de carbono, 20 kg. Quanto mais leve, maior o custo do cilindro.

²² Revista Via Urbana, março de 1994, p. 16.

de potenciais fornecedores de ônibus a gás natural no mercado. O mesmo se aplica aos kits destinados a conversão de ônibus, cuja tecnologia tem mostrado melhorias.

1.6.2 Qualidade do gás

A qualidade do gás natural disponível em São Paulo foi um dos fatores mais danosos ao desempenho da primeira geração de ônibus a gás. O gás natural teve suas especificações definidas em Portaria da ANP somente em 1998 (Figura 22, p. 96). Antes desta data, parte do gás usado em São Paulo, proveniente da bacia de Santos não era processado em UPGNs, e por isso apresentava percentuais de gases pesados e umidade inadequados ao uso veicular.

Este é mais um exemplo de erro estratégico e caso flagrante de incompetência, ao se introduzir comercialmente frotas de ônibus a gás natural em mercados inadequadamente abastecido pelo combustível.

Atualmente pode-se considerar este problema como **RESOLVIDO**, face à uniformização da qualidade ocorrida após a especificação e normalização do gás.

1.6.3 Acesso ao gás

A disponibilidade de gás natural no Brasil não constitui empecilho ao ônibus a gás, como já comentado no item *Disponibilidade do gás natural*, p. 61, mas a infra-estrutura de transporte e distribuição do combustível é um fator crucial para seu sucesso. É reconhecido internacionalmente o preceito de que a garagem que opera com ônibus a gás deve ter uma estação de abastecimento em suas dependências, salvo para frotas muito pequenas. Dois fatores impactam na opção pela estação própria: a disponibilidade de rede de gás nas imediações da garagem e o alto investimento requerido, da ordem de US\$ 1 milhão.

Em São Paulo optou-se em 1992 pela construção de um posto de abastecimento comunitário centralizado, o posto da Água Branca, para ser usado por várias empresas de ônibus. A experiência foi problemática devido às filas de ônibus que se

formavam durante muitas horas e ao deslocamento improdutivo de toda a frota para abastecimento.²³

Fala-se atualmente em instalar postos em terminais de transbordo de passageiros em pontos selecionados para abastecimento de ônibus a gás natural de empresas diversas, no entanto essa idéia requer estudos cuidadosos de logística e segurança.

O alcance das redes de distribuição de gás nas cidades brasileiras é baixo, os custos de expansão são elevados e em alguns casos inviáveis financeiramente para atender as garagens de ônibus mais distantes das redes.

Este é um problema **NÃO RESOLVIDO**, que representa um desafio para o desenvolvimento das frotas de ônibus a gás natural.

1.6.4 Custos

O custo de aquisição e o custo operacional do ônibus a gás natural são mais elevados que os referentes ao ônibus a diesel, em qualquer país que se considere essa comparação. Isso implica na necessidade de uma programação de fluxo de caixa diferenciado para frotas de ônibus a gás, em comparação com a usada na gestão de ônibus a diesel.

O abastecimento, como já visto, requer investimentos na instalação de estação própria, e a manutenção do veículo e da estação é diferenciada em função dos custos das peças de reposição, em geral mais elevados que para a tecnologia do diesel.

Outro aspecto se refere ao valor residual do veículo ao atingir a idade de sua substituição na frota. Nos grandes centros urbanos brasileiros é usual a prática da revenda de ônibus usados para empresas de cidades menores, onde a idade aceitável para a frota é mais alta. Essa operação comercial é inviável atualmente para o ônibus a gás, devido à inexistência de mercado para esse tipo de veículo no interior. Não obstante esse problema possa se resolver em longo prazo, com a eventual interiorização do GNV, de imediato essa questão deve ser tratada em

²³ Edmilson MOUTINHO dos SANTOS *et alli*. Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano - Estágio atual, perspectivas e dificuldades. Relatório final, p. 27.

termos de fluxo de caixa do custo de ciclo de vida do veículo, ou mesmo da frota de ônibus a gás natural. Deve ser considerado por exemplo, um custo final de conversão do veículo para diesel e posterior revenda, com valor residual corrigido.

Em médio e longo prazo a tendência natural de mercado é de redução gradual dos custos inerentes à tecnologia do ônibus a gás natural, por força da economia de escala proporcionável pelo crescimento das frotas no país.

A rigor, pode-se dizer que não se trata essencialmente de um problema. O problema seria em última análise a decisão pela adesão à nova tecnologia sem o devido conhecimento prévio dos custos envolvidos. Na experiência brasileira já descrita, a ignorância de alguns custos era inevitável devido à imaturidade da tecnologia, caracterizada pela inexistência de um aprendizado prévio desses custos. O ônus do aprendizado da tecnologia do ônibus a gás natural no Brasil foi inadvertidamente partilhado com os empresários de ônibus,²⁴ que assumiram os riscos de uma tecnologia não testada, sem a devida prudência e cautela. Saiu perdendo a tecnologia, que teve sua reputação abalada.

Este problema pode ser considerado como **RESOLVIDO**, a partir do momento em que a análise financeira do projeto de implantação e operação de determinada frota de ônibus a gás natural seja levada a cabo de forma positiva, consideradas as eventuais condições especiais oferecidas pelos governos a título de incentivo, em forma de financiamentos, política tributária e tarifária, que permitam uma taxa interna de retorno atrativa para o empresário de ônibus. Caso contrário, o problema não estaria resolvido, e qualquer programa de ônibus a gás nessas condições, inviabilizado.

Por outro lado, a decisão dos governos em incentivar a tecnologia do ônibus a gás natural, bem como a definição dos limites desses eventuais incentivos deverão ser resultado de uma análise econômica que considere a avaliação monetária dos benefícios ambientais do ônibus a gás e da economia de divisas decorrente da redução de importação de diesel e petróleo proporcionada pela substituição de diesel. Benefícios não monetários, como redução de mortalidade, desenvolvimento

²⁴ Edmilson MOUTINHO dos SANTOS *et alli*. Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano - Estágio atual, perspectivas e dificuldades. Relatório final, p. 15.

estratégico do mercado de ônibus a gás natural e incremento da diversificação da matriz energética, também teriam peso nessa análise econômica.

1.7 Equívocos político-administrativos

A história do ônibus a gás natural no Brasil é marcada por uma seqüência de atos de ordem política equivocados e ações caracterizadas pela descoordenação e pela restrição geográfica dos programas e estudos do assunto.

1.7.1 As leis do ônibus a gás da cidade de São Paulo

Na cidade de São Paulo, durante a administração da Prefeita Luiza Erundina, em 1991, foi aprovada a Lei Municipal nº 10.950, determinando que as empresas de transporte coletivo deveriam substituir os ônibus ou motores a diesel por outros movidos a gás natural num prazo de 10 anos. Esta lei, que ficou conhecida como a “primeira lei do ônibus a gás da cidade de São Paulo”, não estava amparada por um cronograma definido e não considerava limitações tecnológicas dos ônibus, de infraestrutura do gás e do mercado.

Em 1996, a Prefeitura de São Paulo, já em outra administração, revogou a primeira lei do ônibus a gás, ciente da impossibilidade de seu cumprimento, substituindo-a pela Lei Municipal nº 12.140, então chamada de “segunda lei do ônibus a gás da cidade de São Paulo”. A “segunda lei” estendeu o prazo de substituição de ônibus a diesel por gás natural para 2007 e instituiu um cronograma, mas continuou desconsiderando aspectos de qualidade do gás, da infra-estrutura de distribuição para abastecimento dos ônibus e de custos da tecnologia. Não conseguindo cumprir seus objetivos, a “segunda lei do ônibus a gás” foi revogada cinco anos após sua promulgação.

1.7.2 Descoordenação e restrição geográfica dos programas

Os assuntos relacionados ao ônibus a gás natural vêm sendo estudados no Brasil em instituições governamentais, acadêmicas e outras, que interagem entre si com pequena intensidade. Os interesses diferem entre motivações ambientais, buscando a redução da poluição, passando pelas energéticas, como forma de adequar os

recursos ao melhor uso final, até as motivações corporativas, visando o mercado de gás natural. As iniciativas dos programas de ônibus a gás natural são tomadas, ou pelo menos anunciadas, por prefeituras e governos estaduais, sem um plano abrangente que as congregue. Essas forças atuam em direções distintas, produzindo uma resultante não ótima.

Uma possibilidade razoável poderia ser uma iniciativa do governo federal, como maior interessado no ônibus a gás, em coordenar estudos, desenvolvimentos industriais e programas em um plano nacional, otimizando conhecimentos e recursos, de forma a objetivar os possíveis ganhos de escala de um programageograficamente abrangente.

1.7.3 Uso político da tecnologia e propagação de metas irreais

O excesso de otimismo das previsões e metas envolvendo os ônibus a gás natural leva muitas vezes a um mau uso do tema do ônibus a gás natural, que tanto pode ocorrer por ignorância como por irresponsabilidade.

O governo federal, por exemplo, tem um plano declarado de substituição de diesel por gás natural em ônibus urbanos, mas não há políticas claras para seu desenvolvimento. Em 1987 o Plano Nacional do Gás (PLANGÁS)²⁵ instituiu como diretrizes atingir para o gás natural um uso final de 24 milhões de m³/dia em 1991 e 35 milhões de m³/dia em 1995. Os valores realizados foram 9,7 milhões de m³/dia e 12 milhões de m³/dia, respectivamente. A meta de 1991 foi atingida em 2000 e a de 1995, em 2004, ambas com nove anos de atraso. Outra meta do PLANGÁS era “utilizar gás natural na substituição de diesel em frotas de ônibus urbanos e interurbanos, em frotas cativas de serviço público e veículos de carga, num total de 10.000 veículos em 1991 e 50 mil veículos em 1995”. Como já visto, não houve avanços nesse sentido.

Uso político do tema, ou o exagero nas previsões, ou ainda a falta de realismo das metas geram expectativas seguidas de frustração e descrédito. A forma como o

²⁵ BRASIL. MME. CNE. *Plano Nacional do Gás (PLANGÁS)*, 1987.

assunto é tratado em muitos casos revela incompetência na condução dos programas e implementação de programas desprovidos de embasamento em estudos econômico-financeiros e em taxas factíveis de substituição das frotas.

Recomenda-se mais cautela, compromisso e parcimônia no anúncio de expectativas futuras factíveis.

O atrelamento dos programas de ônibus a gás natural a bandeiras políticas e a sua descontinuidade em decorrência da alternância na sucessão administrativa dos governos são elementos que devem ser evitados, se possível.

2 Experiências internacionais

O ônibus a gás natural é atualmente uma realidade comercial no mundo, classificado na categoria dos veículos movidos a combustíveis alternativos. Essa categoria de veículos, também conhecida como AFVs (*alternative fuel vehicles*), é incentivada em muitos países, cujos governos mantêm programas de redução de impostos e financiamentos especiais para sua promoção. As motivações para os incentivos oferecidos nesses países são relacionadas à melhoria da qualidade do ar nas cidades e a vantagens econômicas, tais como o custo menor do gás em relação ao diesel, verificado em vários países, e o menor custo de ciclo de vida dos ônibus a gás em relação ao diesel, observado em muitas frotas.²⁶ Também há motivações relacionadas à redução de emissões de gases de efeito estufa, tipicamente mencionada em cerca de 10%,²⁷ proporcionada desde a produção até o uso final do gás natural. A Tabela 19 apresenta as quantidades de ônibus a gás e totais de países selecionados, que possuem as frotas mais representativas e os dados disponíveis mais consistentes.

Tabela 19 Frotas de ônibus a gás no mundo

País	Frota de ônibus a gás ⁽¹⁾	Frota total de ônibus urbanos ⁽²⁾	% de ônibus a gás na frota total de ônibus urbanos
Estados Unidos	7.747	60.526	13%
Coréia do Sul	6.600	19.170	34%
Índia	6.175	640.000	1%
China	1.970	564.000	0,3%
Itália	1.133	14.258	8%
Alemanha	1.000	41.353	2%
Japão	937	26.475	4%
França	931	12.000	8%
Austrália	848	4.127	10%
Grécia	456	3.667	12%
Canadá	367	6.557	4%
Suécia	320	2.046	16%
Espanha	110	14.000	0,8%
Tailândia	82	42.681	0,2%
Brasil	40	90.706	0,04%

Fontes: (1) **EUA**: APTA, 2005; **Suécia**: Informação fornecida por e-mail por Stina Nilsson, da prefeitura de Malmö (Malmö stad / City of Malmö Gatukontoret / Streets and Parks Department - SE); **Alemanha**: EBERWEIN, 2004; **Índia e China**: FULTON, 2004; **Coréia do Sul**: IANGV (<http://www.ngvglobal.com>); **Brasil**: SPTrans; **Demais países**: WATT, 2001.

(2) **EUA**: APTA, 2005; **Índia e China**: FULTON, 2004; **Alemanha**: EBERWEIN, Burkhard. Environmentally friendly bus operation in Germany / Berlin – Public Service Bus Department – Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), 2004; **Austrália**: WATT, 2001; **Demais países**: Estimativas do autor em função da população e do PNB per capita.

²⁶ WATT, G. M. *Natural gas vehicle transit bus fleets: The current international experience*, p. 5

²⁷ *Ibid.*

Experiências bem sucedidas em mais de uma dezena de países podem ser tomadas como referência para novos programas brasileiros, com o objetivo de evitar a repetição de equívocos e problemas. Destas experiências podem ser extraídas premissas de sucesso e as lições aprendidas em cada caso.

2.1 O caso dos EUA

Um dos casos mais bem sucedidos de implementação de frotas de ônibus urbanos a gás natural é observado nos EUA, que atualmente possui mais de 7.000 veículos, com uma penetração em torno de 13% do mercado (Figura 25).

As experiências comerciais com ônibus a gás natural nos EUA tiveram início por volta de 1990,²⁸ com crescimento próximo de 1% ao ano em sua participação na frota total, como pode ser observado no gráfico da Figura 25. Entretanto, alguns problemas semelhantes aos verificados no Brasil também ocorreram em frotas de ônibus a gás natural norte-americanas.

Os dados sobre frotas de ônibus dos EUA são atualizados e disponibilizados com clareza na rede *Internet* pela *American Public Transportation Association* (APTA), diferentemente do que ocorre em outros países, como no Brasil, onde há grandes dificuldades para obtenção de estatísticas de transportes.²⁹

²⁸ Glen M. WATT, *Natural gas vehicle transit bus fleets: The current international experience*, p. 11.

²⁹ Ver item *Frotas brasileiras de ônibus e outros veículos a diesel*, p. 17.

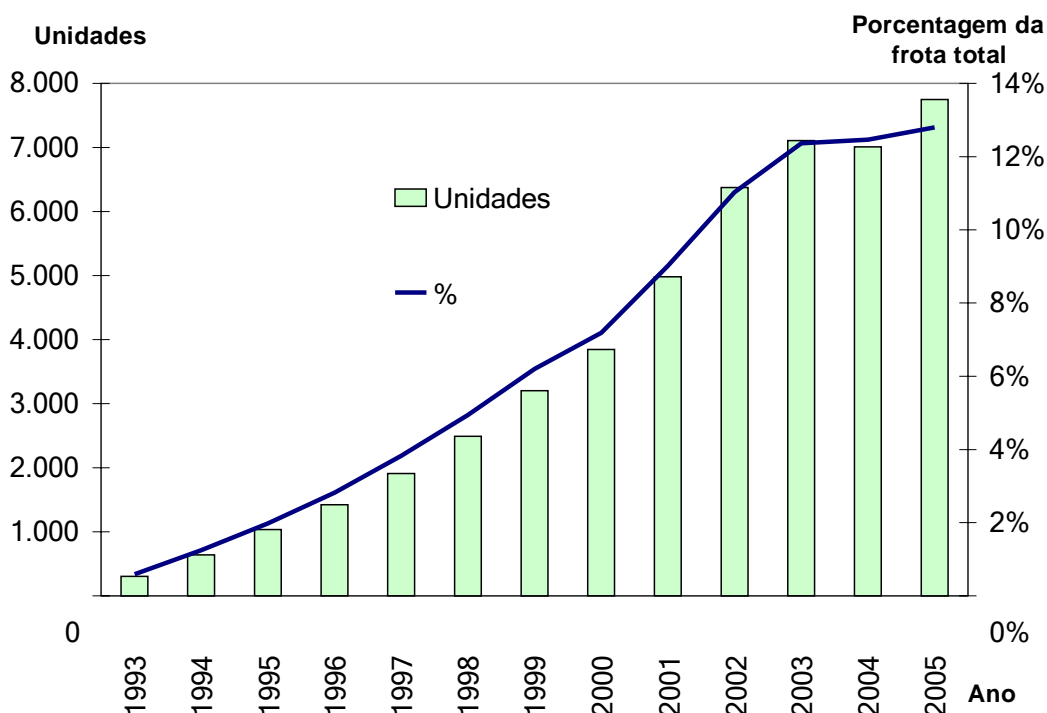


Figura 25 Evolução da frota de ônibus a gás natural nos EUA ³⁰

2.1.1 Problemas em programas norte-americanos

Nos EUA há 73 empresas usando ônibus a gás natural. O *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) realizou em 2002 uma pesquisa sobre o desempenho de 42 dessas empresas, classificando-as em dois grupos, segundo EUDY (2002):

- **Bem sucedidas**, 57% das empresas;
- **Com resultados predominantemente negativos**, 42%.

Nos EUA ocorreram experiências negativas com as primeiras gerações de ônibus a gás natural. Os principais problemas eram os custos e confiabilidade no início dos anos 90. Exemplos: Na cidade de St. Louis houve desistência da compra de 300 ônibus por causa de experiências passadas. Em Cleveland verificou-se um custo adicional de U\$ 8 milhões em 12 anos, em relação ao diesel, em experiência com 166 ônibus a gás natural.

³⁰ Gráfico elaborado pelo autor com base em dados da APTA – *American Public Transportation Association. Transit Statistics.*

Conclusões sobre as primeiras gerações de ônibus a gás natural nos EUA:

- Custo inicial U\$ 50.000 superior;
- Custo de manutenção de 30 a 40% superior;
- MTBF 50% superior;
- Autonomia menor: 370 km versus 640 km;
- Menor confiabilidade do motor;
- Maior peso do veículo;
- Vida útil dos freios reduzida.

As empresas de ônibus são estimuladas a adquirir veículos a gás para atender critérios de poluição atmosférica estabelecidos pela *Environmental Protection Agency* (EPA). No entanto, a pressão política as induz à compra de ônibus a gás sem dispor de todas as informações necessárias sobre sua operação e infra-estrutura, o que compromete o sucesso das frotas.

2.1.2 Fatores de sucesso identificados

TAMANHO DA FROTA A GÁS

São bem sucedidas somente operações com quantidade suficientemente grande de ônibus a gás natural (pelo menos um terço da frota; no mínimo 50 veículos) e a necessária infra-estrutura de manutenção e abastecimento.³¹ Na pesquisa do NREL, as frotas com maior quantidade de ônibus a gás natural obtiveram maior sucesso (mais de 20% do total, a gás). Todas as empresas com mais de 45% de veículos a gás natural na frota foram avaliadas como bem sucedidas. O planejamento de expansão da frota é um ponto importante porque permite adequação da estrutura de abastecimento, evitando grandes modificações futuras.

TREINAMENTO

O treinamento é considerado crucial para o sucesso dos programas de ônibus a gás natural. No entanto, é difícil justificar um programa extensivo de treinamento para uma frota de poucos veículos. Esse aspecto remete novamente ao tamanho da frota.

³¹ Glen M. WATT, *Natural gas vehicle transit bus fleets: The current international experience*, p. 6.

ABASTECIMENTO

Dentre as empresas pesquisadas pelo NREL, 83% dispõem de estrutura de abastecimento nas garagens, das quais 66% são próprias e as demais são terceirizadas para fornecedores de combustíveis. As frotas que abastecem fora das garagens são todas pequenas (menos que 20 ônibus a gás), e praticamente nenhuma está no grupo das bem sucedidas.

A opção pela estrutura de abastecimento própria tem a vantagem de se obter um custo total menor no abastecimento, além de ter total controle sobre a estação. No entanto, é preciso desembolsar um capital inicial alto e gerenciar a operação e manutenção da estação. Por outro lado, a opção de terceirizar o abastecimento dentro da garagem evita a necessidade de investimento inicial e de manter estrutura de gerenciamento e operação da estação. Um contrato de longo prazo garante a estabilidade do preço do combustível e cobre a manutenção da estação. Por outro lado, a garagem está sujeita ao desempenho do fornecedor e tem um custo total de abastecimento mais alto comparado com uma estação própria de abastecimento.

Nos EUA os contratos com fornecedores de combustíveis costumam ter prazo de 10 anos e custo mínimo de U\$ 6.000 anual por ônibus (custo da estrutura de abastecimento) a um máximo de U\$ 16.000 anual por ônibus.

Fatores que influenciam no custo de uma estação de abastecimento:

- Disponibilidade de parceiros públicos e privados;
- Tipo de estação (com ou sem estocagem, rápida ou lenta);
- Disponibilidade e pressão da rede de gás;
- Vazão desejada em função da quantidade de ônibus e velocidade de abastecimento;
- Necessidade de filtros desumidificadores e compressores, incluindo redundância para manutenção.

PUBLICIDADE

As empresas apontam a propaganda dos ônibus a gás natural como uma prática favorável ao sucesso dos programas, que têm boa aceitação popular por causa do apelo à melhoria da qualidade do ar. Os próprios ônibus podem ser usados como meio de divulgação, além da mídia convencional.

RECOMENDAÇÕES AOS EMPRESÁRIOS: ³²

- Investigar as opções de abastecimento e manutenção;
- Pedir ajuda de empresas bem sucedidas para tirar proveito de suas experiências;
- Procurar parceiros experientes desde a fase de planejamento, incluindo autoridades de trânsito e governamentais.
- Promover o comprometimento de todos os níveis da empresa.
- Tomar conhecimento previamente de todos os custos envolvidos. Envolve a identificação de oportunidades de economia de recursos, como por exemplo com lubrificantes, filtros e consumo de combustível.
- Promover programas de treinamento junto a fabricantes e parceiros.
- Instalar estrutura adequada de abastecimento, planejada para expansões em longo prazo.
- Atentar para as premissas do contrato de fornecimento de combustível.

2.1.3 Incentivos fiscais e financeiros nos EUA

O governo federal dos EUA financia os ônibus a gás natural por considerá-los eficientes, em termos de custos, em promover melhoria da qualidade do ar suportados por uma reserva abundante no país. Embora os ônibus a gás natural tenham um custo inicial mais alto, eles são vistos como um bom investimento de longo prazo, porque seu uso promove desenvolvimento econômico e é imune a oscilações nos preços do petróleo.

O governo federal dos EUA oferece os seguintes incentivos para os ônibus a gás:

- Imposto de trânsito mais barato;
- Dedução de impostos para aquisição de veículos e estruturas de abastecimento (até US\$ 50.000 por veículo pesado e US\$ 100.000 por estação de abastecimento).

Governos de 32 estados apóiam os ônibus a gás natural através de incentivos, como por exemplo:

- Arizona: crédito de impostos de US\$ 1.000 por veículo;
- Geórgia: crédito de impostos de US\$ 1.500 por veículo;
- Illinois: crédito de 80% do custo de cada ônibus a gás adquirido, até US\$ 4.000.

³² Leslie EUDY, *Natural gas in transit fleets: A Review of the transit experience*, p. 12.

3 Conjuntura dos países considerados

A importância da disponibilidade de recursos financeiros para o sucesso de programas de ônibus a gás natural suscita uma observação mais cuidadosa da conjuntura econômica dos países onde há esse tipo de programas. Os países onde se verificaram os maiores percentuais de substituição da frota urbana de ônibus a diesel por gás natural são em sua maioria países desenvolvidos, como os EUA, Suécia e França. Com a finalidade de observar esse aspecto, foram selecionados dentre os países que operam ônibus a gás os mais representativos, sintetizando na Tabela 20 os dados sobre suas frotas de ônibus e produto nacional bruto (PNB) *per capita*.

Tabela 20 Principais países que possuem frotas de ônibus a gás natural

País	População (milhões de habitantes) (1)	PNB per capita (US\$1000) (1)	Frota total de ônibus urbanos (2)	Habitantes por ônibus urbanos	Frota de ônibus a gás (3)	% de ônibus a gás na frota total de ônibus urbanos
Estados Unidos	292	34,28	60.526	4.818	7.747	12,80%
Coréia do Sul	48	9,46	19.170	2.500	6.600	34,43%
Índia	1.065	0,46	640.000	1.665	6.175	0,96%
China	1.289	0,89	564.000	2.285	1.970	0,35%
Itália	57	19,39	14.258	2.725	1.133	7,95%
Alemanha	128	23,56	41.353	3.311	1.000	2,42%
Japão	60	35,61	26.475	5.004	937	3,54%
França	20	22,73	12.000	1.657	931	7,76%
Austrália	11	19,90	4.127	2.797	848	9,82%
Grécia	32	11,43	3.667	8.615	456	12,44%
Canadá	10	21,93	6.557	3.082	367	3,58%
Suécia	83	25,40	2.046	3.570	320	15,64%
Tailândia	64	1,94	42.681	1.500	82	0,19%
Brasil	178	3,07	90.706	1.968	40	0,04%
Espanha	42	14,30	14.000	3.000	110	0,79%

Fontes: (1) Enciclopaedia Britannica inc., 2005.

(2) **EUA**: APTA, 2005; **Índia e China**: FULTON, 2004; **Alemanha**: EBERWEIN, Burkhard. Environmentally friendly bus operation in Germany / Berlin – Public Service Bus Department – Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), 2004; **Austrália**: WATT, 2001; **Demais países**: Estimativas do autor em função da população e do PNB per capita.

(3) **EUA**: APTA, 2005; **Suécia**: Informação fornecida por e-mail por Stina Nilsson, da prefeitura de Malmö (Malmö stad / City of Malmö Gatukontoret / Streets and Parks Department - SE); **Alemanha**: EBERWEIN, 2004; **Índia e China**: FULTON, 2004; **Coréia do Sul**: IANGV (<http://www.ngvglobal.com>); **Brasil**: SPTrans; **Demais países**: WATT, 2001.

Os dados da Tabela 20³³ estão representados no gráfico da Figura 26, que relaciona o PNB *per capita* e a porcentagem de ônibus a gás natural na frota urbana de cada país. O eixo de porcentagens está graduado em escala logarítmica.

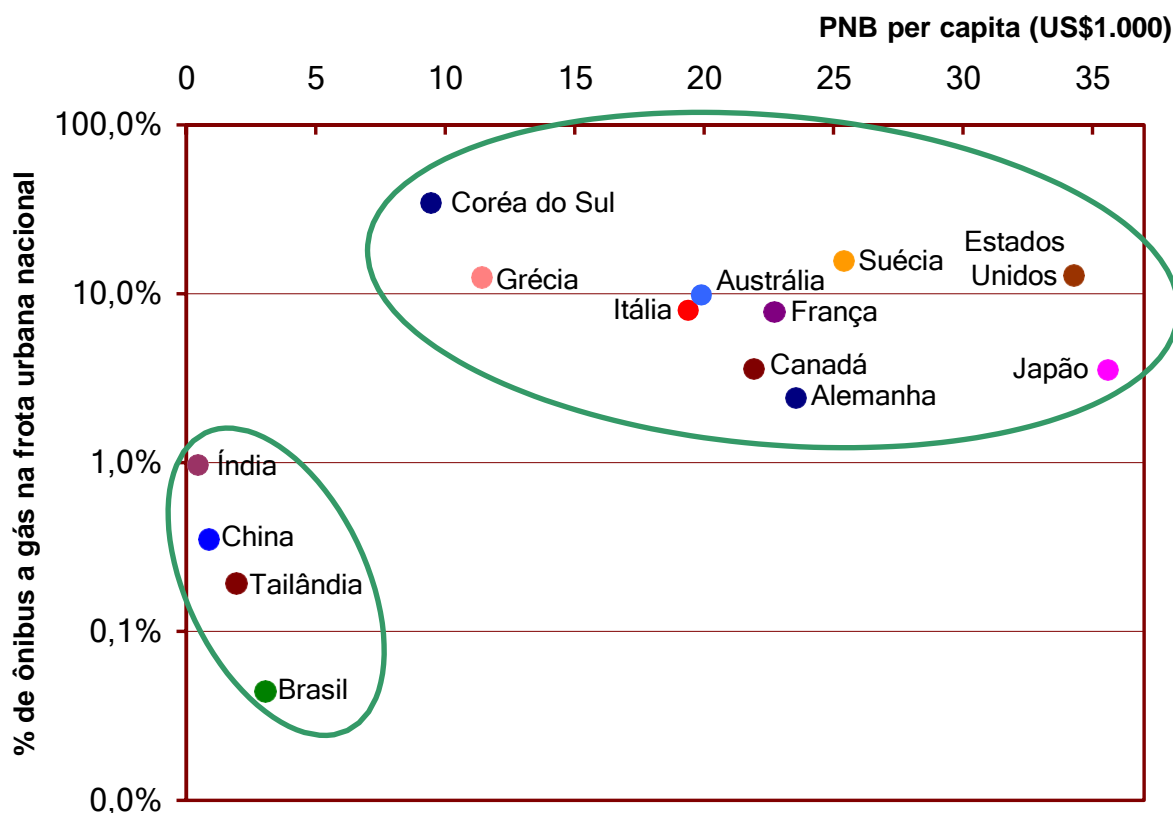


Figura 26 Ônibus a gás natural na frota urbana versus PNB *per capita*

Percebe-se no gráfico da Figura 26 que os principais países que operam frotas urbanas de ônibus a gás natural se dividem nitidamente em dois grupos distintos. Os países do grupo cujo PNB *per capita* anual é superior a dez mil dólares norte-americanos atingiram percentuais de ônibus a gás superiores a 1%, com uma média próxima de 10%. Nos países do grupo com PNB *per capita* anual inferior a três mil dólares estes percentuais são inferiores a 1% da frota urbana.

³³ Não foram incluídos na Tabela 20, e por conseguinte no gráfico da Figura 26, países como Rússia e Ucrânia, cujos PNB's são menores que US\$ 2000 *per capita*, embora estes possuam frotas representativas de ônibus a gás, porque são casos atípicos de grandes produtores de gás natural, que destoam do grupo de países selecionados.

Não se verifica uma relação de proporção direta neste estudo, mas há de fato uma tendência de substituição de frotas em percentuais maiores nos países de maior PNB *per capita*.

A correlação observada entre PNB *per capita* e índice de substituição de diesel por gás natural nos ônibus urbanos sugere um indício de que o grau de riqueza do país favorece as frotas de ônibus a gás natural, podendo até mesmo definir sua viabilidade. Esta correlação pode ser explicada pela hipótese de que os países desenvolvidos dispõem de orçamentos relativamente maiores e menos comprometidos com contas sociais. A abundância de recursos financeiros tornáveis as linhas de crédito, até mesmo em fundo perdido, para cobrir os custos adicionais que são requeridos na fase de maturação das novas tecnologias no setor de transportes. As questões sociais estão mais bem equacionadas nos países mais desenvolvidos, não havendo o mesmo grau de demanda por aportes do orçamento em programas sociais existente nos países em desenvolvimento.

Nos países em desenvolvimento as carências sociais são maiores e os orçamentos costumam ser insuficientes para cobrir todas as demandas da nação, havendo sempre disputas entre os vários setores da sociedade por fatias do capital público. Nesse ambiente hostil, os programas de ônibus a gás estão sujeitos a essa disputa de verbas com projetos de setores socialmente mais nobres, ou emergenciais, ou ainda considerados mais essenciais à população, como saúde, educação, previdência e projetos assistenciais.

Os programas de ônibus a gás natural e de outras tecnologias alternativas tendem a levar desvantagem nessa disputa por capital público nos países em desenvolvimento. Uma alternativa para estes programas é o capital privado, normalmente mais caro e com maiores restrições de crédito, dificultando a obtenção dos recursos e limitando, ou até mesmo inviabilizando seu andamento.

Percebe-se também nos países desenvolvidos um tratamento mais privilegiado dispensado às questões ambientais, tanto por parte dos governos, que investem substanciais quantias em projetos de redução de poluição, como também se observa nessas nações um nível de consciência ambiental mais desenvolvido na população.

A constatação desta tendência de correlação entre riqueza da nação e sucesso de iniciativas de substituição de diesel por gás natural não inviabiliza, em tese, os programas de ônibus a gás em países como o Brasil, no entanto trata-se de um dado que deve ser considerado com atenção. Representa a necessidade de aporte de recursos financeiros cuja disponibilidade costuma ser limitada, e exige uma tomada de posição política clara dos governos, bem fundamentada nos retornos econômicos e sociais decorrentes dos programas.

A alternativa de aporte de recursos financeiros internacionais, como os oriundos de instituições financeiras como o Banco Mundial ou de fundos da ONU, é uma possibilidade interessante para o Brasil desenvolver programas de ônibus a gás natural. Esta alternativa pode ser viabilizada mediante fundamentação técnica elaborada em forma de projetos de substituição de combustível. Parece ser importante a elaboração de projetos dimensionados de forma competente, computando os benefícios monetizáveis e não-monetizáveis de alcance social e outros de interesse global, como os fundamentados em mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL).

4 Perspectivas para novos programas no Brasil

Não há atualmente novos programas brasileiros de ônibus a gás em implantação. O único ainda em operação, na cidade de São Paulo, experimentou em 2004 uma tentativa de revitalização, com o “Plano de implantação de ônibus a gás natural” então anunciado pela prefeitura. O plano previa a aquisição inicial de 250 ônibus, com previsão de ampliação para 400 veículos, mediante financiamento com prazo de pagamento de 96 meses, envolvendo o BNDES e com o Banco do Brasil. O plano não se concretizou por problemas de capacidade de captação de crédito das empresas de ônibus (o Banco do Brasil não teria aprovado o crédito às empresas).

Em 2005 a Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo começou a divulgar a pretensão de substituir cerca de 30.000 ônibus a diesel por gás natural em curto prazo, contando com a perspectiva de uso do ônibus diesel-gás, porém, não estão disponíveis maiores detalhes sobre esse plano. Como comentado no Capítulo II,³⁴ a tecnologia diesel-gás não é adequada para situações de uso urbano, porque a taxa de substituição de diesel por gás natural é mínima quando predominam baixas velocidades e regime de marcha lenta. Por outro lado, a quantidade de veículos anunciada para substituição ou conversão deve ser vista com cautela. A taxa de renovação da frota na cidade de São Paulo é de 8%. Estimando uma taxa nacional de 5%, a substituição total da frota brasileira de ônibus urbanos demandaria um período de 20 anos. Para a cidade de São Paulo este período teoricamente tenderia a ser de 12 anos. Programas de substituição de diesel por gás natural realistas poderiam considerar esses números como razoáveis.

Como já comentado neste texto, os ônibus a gás natural provavelmente não terão participação no mercado nacional na ausência de incentivos semelhantes aos observados nos EUA e em outros países. Conforme visto no Capítulo II,³⁵ a partir de 2009 o ônibus a diesel limpo deverá estar disponível no Brasil, com fatores de emissões e preços competitivos em relação ao ônibus a gás natural. Considerando

³⁴ Item *Ônibus “dual-fuel” (diesel-gás)*, p. 69.

³⁵ Item *Comparativos entre alternativas de ônibus urbanos*, p. 81.

que a legislação ambiental é neutra do ponto de vista da tecnologia do ônibus, o diesel limpo seria preferido pelos operadores no momento da renovação da frota. Entretanto, considerando ainda permanecerem ativas as metas governamentais em promover o ônibus a gás, será indispensável a existência de um plano nacional envolvendo um conjunto de incentivos financeiros e tributários que tornem a opção pela tecnologia atraente para o empresário do setor.

O “Projeto Ônibus a Gás Natural”, lançado em pela Petrobrás estabelece um teto para o preço do metro cúbico do gás natural, limitado a 55% do preço do litro de óleodiesel. Essa medida é necessária, mas não é suficiente para tornar atrativo o investimento em frotas de ônibus a gás natural no Brasil.

Este conjunto de incentivos deve ser fruto de um trabalho sério e abrangente de análise econômica e financeira. Um estudo dessa natureza pode inclusive concluir que a alternativa do ônibus a gás natural não seja interessante a ponto de sedeterminar a alocação de verbas públicas em seu favor.

4.1 Análises financeira e econômica de projetos de substituição de combustível

A análise econômica dos programas de substituição de diesel por gás natural no transporte público teria a finalidade de comparar os custos envolvidos com os benefícios resultantes de sua implementação para a sociedade. Por outro lado, a análise financeira deve ser usada para avaliar a viabilidade da frota do ponto de vista do empreendedor ou investidor. Uma vez equacionadas as análises econômica e financeira com saldo positivo para o bem público, tornar-se-ia possível o dimensionamento da parcela de custos que poderia de modo justo ser assimilada pelos governos na forma de um pacote de medidas econômicas, envolvendo:

- Redução de impostos;
- Política de tarifas de combustíveis e passagens de ônibus;
- Financiamento para veículos e estações de abastecimento.

Um exemplo de benefício para o bem público que pode ser quantificado monetariamente seria a economia de divisas proporcionada pelo uso de ônibus a

gás natural através da redução de importação de diesel. Outro exemplo seria a redução de gastos com saúde pública para tratamento de pessoas adoecidas por motivo de exposição à poluição, graças à comprovada redução das emissões decorrentes da substituição de diesel por gás natural.

Como benefício que não se permite quantificar monetariamente, poderia ser computada a redução do número de óbitos prematuros na população de idosos e recém-nascidos em decorrência da redução da poluição a que seriam expostas essas pessoas.

CONCLUSÕES

- O ônibus a gás natural é atualmente a principal alternativa aos ônibus urbanos a diesel, presente em escala comercial em mais de uma dezena de países. Sua participação nas frotas urbanas de muitas cidades da Europa e da América do Norte vem crescendo significativamente nas últimas duas décadas, motivada por questões de segurança energética, por evitar uso de petróleo, e ambientais, por reduzir poluição atmosférica.
- A recente produção de ônibus a diesel mais limpos, resultado de evoluções tecnológicas, tem permitido a obtenção de menores fatores de emissões de poluentes, enfraquecendo o apelo ambiental do ônibus a gás natural.
- Os custos da tecnologia do ônibus a gás natural são superiores aos do diesel.
- Os países bem sucedidos na iniciativa de implantação de ônibus a gás natural têm atualmente atingido taxas de substituição médias de dez por cento das frotas. Considerando que dez por cento da frota urbana nacional seja substituída por ônibus a gás natural no Brasil, seria possível reduzir em 5% a atual importação de diesel e elevar o consumo de gás em 1,5 milhões de m³ por dia.
- Os benefícios ambientais em termos de redução de poluição local dependeriam dos percentuais de substituição de ônibus em cada região metropolitana, aliada a fatores relacionados a dispersão de poluentes.
- A reputação da tecnologia do ônibus a gás natural está abalada atualmente no Brasil por causa do fracasso de programas problemáticos, e há grande receio dos empresários de ônibus em aderir a novos programas.
- O uso de ônibus a gás natural no transporte público urbano é viável, comprovado por diversos exemplos internacionais. Nos países cujos programas são bem sucedidos há forte apoio financeiro dos governos para compensar os custos adicionais da tecnologia.
- Seria produtiva uma iniciativa do Governo Federal em coordenar os estudos, desenvolvimentos industriais e programas de ônibus a gás natural em um plano nacional, otimizando conhecimentos e recursos, de forma a objetivar os possíveis ganhos de escala de um programa geograficamente abrangente.

-
- As motivações de cada solução tecnológica estão não apenas relacionadas a convicções ideológicas e científicas voltadas à racionalidade dos benefícios inerentes à tecnologia, mas também a interesses econômicos de setores variados, em função de conveniências vinculadas à indústria de equipamentos e da cadeia produtiva do combustível ou da fonte de energia que se deseja privilegiar.
 - As diferenças desproporcionais entre as nações desenvolvidas e as em desenvolvimento são fatores que podem determinar o sucesso ou o insucesso de programas de ônibus a gás natural.
 - Qualquer nova proposta futura de programa de substituição de diesel por gás natural deverá ser submetida a análise específica, levando em consideração os fatores de emissões dos veículos envolvidos e os demais parâmetros particulares às novas condições. As avaliações e comparações apresentadas neste texto buscam essencialmente destacar os critérios de comparação e a forma de abordagem da questão, e quais aspectos estão sendo valorizados nas análises.

REFERÊNCIAS

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.

Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, disponível em:

<http://www.anfavea.com.br>, acessado em 06/01/2006. São Paulo, 2005.

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. **Anuário Estatístico do**

Transporte Público Urbano – 1993. São Paulo, 1994.

_____. **Anuário Estatístico do Transporte Público Urbano – 1996**. São Paulo, 1997.

_____. **Anuário Estatístico do Transporte Público Urbano – 1997**. São Paulo, 1998.

_____. **Anuário Estatístico do Transporte Público Urbano – 1998**. São Paulo, 1999.

_____. **Anuário Estatístico do Transporte Público Urbano – 2000**. São Paulo, 2001.

_____. **Anuário Estatístico do Transporte Público Urbano – 2001**. São Paulo, 2002.

_____. **Anuário Estatístico do Transporte Público Urbano – 2002**. São Paulo, 2003.

_____. **Anuário Estatístico do Transporte Público Urbano – 2003**. São Paulo, 2004.

_____. **Relatório: Perfil do Transporte e Trânsito Urbanos – 2003**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br>, acessado em 19/01/2006. São Paulo, 2004.

_____. **Relatórios Técnicos**. Disponíveis em <http://www.antp.org.br>, acessado em 21/05/2005. São Paulo, 2002.

- BATISTA, Vilson J. *et al.* **Projeto piloto de ônibus urbano “ottolizado” para medir desempenho com uso do combustível GNV**. Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. Salvador, 2005.
- BOSCH, R. ***The Bosch Automotive Handbook*** (4th Ed.) *Society of Automotive Engineers*. Stutgard, 1997.
- BRANCO, Gabriel M., WALSH, Michael P. (organizadores) **Controle da poluição dos veículos a diesel – Uma estratégia para o progresso do Brasil**. São Paulo, 2005.
- BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **PROCONVE – Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/proconve/home.htm>, acessado em 05/11/2005.
- BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia. ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim mensal do gás natural**. Disponível em <http://www.anp.gov.br>, acesso em 06/01/2006. Brasília, Dezembro de 2004.
- BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia. **BEN – Balanço Energético Nacional**. Governo Federal, 2004.
- BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia. CNE - Comissão Nacional de Energia. **Plano Nacional do Gás (PLANGÁS)**. Governo Federal. Brasília, 1987.
- BRASIL. MT - Ministério dos Transportes. ANTT - Associação Nacional dos Transportes Terrestres. **Anuário Estatístico 2003 – Ano Base 2002**. Brasília, 2003.

- BRASIL. MT - Ministério dos Transportes. GEIPOT - Grupo Executivo para a Integração da Política de Transportes. **Anuário Estatístico dos Transportes**. Brasília, 2000.
- BRITANNICA, ENCYCLOPÆDIA. Almanac 2005. Encyclopædia Britannica, Inc., Chicago, 2005.
- CARVALHO, C. H. R. e outros. **Utilização do gás natural no transporte público urbano** - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU), Brasília, 2004.
- CTGÁS - Centro de Tecnologias do Gás (consórcio entre SENAI e Petrobrás). Informações sobre gasodutos. Disponível em <http://www.ctgas.com.br> . Acessado em 10/01/2006.
- EBERWEIN, Burkhard. **Environmentally friendly bus operation in Germany / Berlin** - Public Service Bus Department - Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), 2004.
- EUDY, L. **Natural gas in transit fleets: A Review of the transit experience**. NREL - National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, 2002.
- FULTON, L. Sustainable transport: **New insights from the IEA's worldwide Transit study**. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Paris, France, 2001.
- FULTON, L.; EADS, G. Sustainable Mobility Project (SMP) - Model Documentation and Reference Case Projection. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Paris, France, 2004.
- FULTON, L.; SCHIPPER L. **Bus systems for the future - Achieving sustainable transport worldwide**. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Paris, France, 2001.

- GWILLIAM, K.; KOJIMA, M.; JOHNSON, T. ***Reducing air pollution from urban transport***. The World Bank, Washington, D.C., 2004.
- HOLANDA, A. **Relatório: Biodiesel e inclusão social**. Câmara dos Deputados. Brasília, 2004.
- LAGE, M. ***Transporte más limpio con gas natural***. (Apresentação) Iveco - *Natural Gas Business Development & Product Unit*. Madrid, 2005.
- LINKE, Renato R. A. **Vantagens ambientais na substituição dos ônibus urbanos diesel por GNV**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Palestra apresentada no V Encontro Brasileiro dos Profissionais do Mercado do Gás, São Paulo, 2004.
- LOWELL, D. ***Natural gas use in transportation – Best practices for optimal emissions reduction*** (M. J. Bradley & Associates). Apresentado na *IV Vehicles Emissions International Conference - AFEEVAS - Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul*. Brasília, 2005. Disponível em <http://www.afeevas.org.br>, acessado em 13/02/2006.
- MACHADO, Fernando T. H. F. **A Utilização do ônibus a gás natural comprimido na frota de ônibus urbanos como alternativa para a redução da poluição atmosférica na região metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Energia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE / EP / IF / FEA). Universidade de São Paulo, 1996.
- MACHADO, G. B.; MELO, T. C. C.; LASTRES, L. F. M. **Utilização do gás natural em veículos pesados no Brasil: experiência, cenário atual e barreiras que ainda persistem**. Anais da Rio Oil & Gas Expo and Conference 2004. Rio de Janeiro, 2004.

MOUTINHO dos SANTOS, E.; FAGÁ, M. T. W.; BERMUDO, A. **Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano – Estágio atual, perspectivas e dificuldades. Relatório final.** Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2003.

MOUTINHO dos SANTOS, Edmilson.

<http://oglobo.globo.com/petroleo/blogs/eddie/default.asp?periodo=200412>.

Acessado em 03.01.2006

MURARO, W. **Disponibilidade de veículos movidos a gás natural – Aplicação em ônibus urbano** – Daimler Chrysler. Apresentado do V Encontro dos Profissionais do Mercado de Gás Natural. São Paulo, 2004.

NEW YORK CITY. DOT - Department of Transportation. Disponível em:

<http://www.nyc.gov/html/dot/html/about/dotdoes.html>, acessado em 03.01.2006.

NORTON, P. **Demonstration of Caterpillar C-10 Dual-Fuel Engines in MCI 102DL3 Commuter Buses.** NREL – National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, 2000.

NYLUND, Nils-Olof ; LAWSON, Alex. Report: **Exhaust emissions from natural gas vehicles.** IANGV - International Association for Natural Gas Vehicles (Inc.). Gas Technical Committee, Holland, 2000.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development / IEA – International Energy Agency. **Energy Statistics Manual.** Paris, 2005. Disponível em <http://www.iea.org/Textbase/stats>, acessado em 19/12/2005.

_____. **Energy Balances for World.** Paris, 2005. Disponível em:

<http://www.iea.org/Textbase/stats>, acessado em 19/12/2005.

OLIVEIRA FILHO, A. D.; FAGÁ, M. T. W. **Impactos da substituição de diesel por gás natural no transporte público urbano**. Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. Salvador, 2005.

PORTAL GÁS ENERGIA. Disponível em:

http://www.gasenergia.com.br/portage/port/gn/reservas_nac.jsp, acessado em 19/12/2005.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Transportes. SPTRANS - São Paulo Transporte S.A. **Frota Média em Operação**. Disponível em <http://www.sptrans.com.br>, acessado em 19/12/2005. São Paulo, 2005.

RIBEIRO, S. K. **Estudo das vantagens ambientais do gás natural veicular: O caso do Rio de Janeiro**. Centro Clima – Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, COPPE / UFRJ. Rio de Janeiro, 2001.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2003**. São Paulo, 2004.

_____. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2004**. São Paulo, 2005.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos. EMTU – Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo. **Dados Operacionais**. Disponível em <http://www.emtusp.com.br>, , acessado em 19/12/2005. São Paulo, 2005.

SAUER, I. L. **O gás natural no transporte coletivo metropolitano**. Apresentação. São Paulo, 2003.

_____. **Programa de massificação do uso de gás natural no Brasil.**

Apresentação. São Paulo, 2003.

SCHETTINO, M. R. A. **Política ambiental para ônibus urbano nas RMSP.** (EMTU – SP). Apresentado na *IV Vehicles Emissions International Conference – AFEEVAS – Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul.* Brasília, 2005. Disponível em <http://www.afeevas.org.br>, acessado em 13/02/2006.

SEISLER, Jeffrey M. **Working Party on Gas.** Disponível no site da *European Natural Gas Vehicle Association*, em <http://engva.org>. UNITED NATIONS, 2005.

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial / ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. Anais do Seminário “O gás natural nos ônibus urbanos”. São Paulo, 1992.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico** – 22ª edição. São Paulo, Cortez, 2005.

SILVA, Ennio Peres da. (Professor Doutor do Instituto de Física da Unicamp). Participação em debate sobre combustíveis veiculados em 06/05/2004 na TV Assembléia, canal 13 (NET). Brasília, 2004.

STRAPASSON, A. B. **A energia térmica e o paradoxo da eficiência energética.** Dissertação (Mestrado em Energia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE / EP / IF / FEA). Universidade de São Paulo, 2004.

TOUMA, J. E., Apresentação: **O uso do gás natural e do biodiesel no transporte coletivo.** Fortaleza, 2004.

TRANSURBANA. (Revista especializada em transportes urbanos), maio de 2005.

- UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da UFRJ. LIMA – Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente. **Avaliação do PROCONVE – Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/proconve/home.htm>, acessado em 05/11/2005.
- USA – Unites States of America. APTA – American Public Transportation Association. **Transit Statistics**. Washington, DC, 2005. Disponível em: <http://www.apta.com/research/stats/>, acessado em 21/12/2005.
- USA – Unites States of America. DOE – Department of Energy. EIA – Energy Information Administration, Official Energy Statistical Agency of the U.S. DOE. Office of Oil and Gas, Natural Gas Pipeline Construction Database. **Changes in U.S. Natural Gas Transportation Infrastructure in 2004**. Disponível em: www.eia.doe.gov, acessado em 05/01/2006.
- VIA TROLEBUS. <http://viatrolebus.com.br>. Acessado em 05/02/2006.
- VIA URBANA (Revista especializada em transportes urbanos), março de 1994.
- VILLANUEVA, L. Z. D. **Uso de gás natural em veículos leves e mecanismo de desenvolvimento limpo no contexto brasileiro**. Tese (Doutorado em Energia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE / EP / IF / FEA). Universidade de São Paulo, 2002.
- WATT, G. M. **Natural gas vehicle transit bus fleets: The current international experience**. IANGV - International Association for Natural Gas Vehicles (Inc.). Gas Technology Services, Australia, 2001.

GLOSSÁRIO

Catalisador	Elemento cerâmico ou metálico impregnado de produtos químicos responsáveis pelas reações químicas que modificam os gases do escapamento dos veículos.
Conversor catalítico	Conjunto constituído basicamente por um ou mais catalisadores e respectivo invólucro metálico.
Conversor catalítico de oxidação	Promove a oxidação dos hidrocarbonetos e do monóxido de carbono contidos nos gases de escapamento.
Conversor catalítico de oxidação-redução	Promove, simultaneamente, a oxidação dos hidrocarbonetos e do monóxido de carbono contidos nos gases de escapamento e reduz os óxidos de nitrogênio.
Micro-ônibus	Veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para até vinte passageiros.
Modal	Modo tecnológico adotado como solução para determinado meio de transporte.
Modal Aeroviário	Transporte pelo ar.
Modal Aquaviário	Transporte sobre cursos d'água, mar, etc.
Modal Dutoviário	Transporte por oleodutos, gasodutos, etc.
Modal Ferroviário	Transporte sobre trilhos.
Modal Rodoviário	Transporte sobre pneus.
MTBF	(<i>“Maximum Time Between Failures”</i>): parâmetro de medição de confiabilidade que indica a média de horas que o equipamento funciona sem apresentar falhas.
Ônibus	Veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para mais de vinte passageiros, ainda que, em virtude de adaptações com vista à maior comodidade destes, transporte número menor.

Ônibus <i>Padron</i>	Modelo de ônibus de 12 m de comprimento e outras características padronizadas no início da década de 1980 em um projeto que envolveu o MT, instituições públicas e empresas privadas com o objetivo de projetar um veículo mais adequado ao transporte urbano de passageiros para orientar a indústria brasileira.
Ônibus rodoviário	Ônibus não urbanos, geralmente com apenas uma porta, dentre outras características específicas para operação em estações rodoviárias e rodovias. São responsáveis pelo transporte de passageiros em linhas internacionais, interestaduais e intermunicipais não metropolitanas, ou seja, não restritas a municípios de regiões metropolitanas.
Ônibus urbano	Ônibus regular de passageiros que circula em áreas urbanas restritas a um município ou entre municípios de uma mesma região metropolitana.
Ônibus urbano metropolitano	Ônibus regular de passageiros que circula em áreas urbanas entre municípios de uma mesma região metropolitana.
Ônibus urbano municipal	Ônibus regular de passageiros que circula em áreas urbanas restritas a um município.
Substrato	Elemento cerâmico ou metálico utilizado como suporte dos produtos químicos do catalisador.
<i>Transit Agent</i>	Agência de trânsito do sistema norte-americano.
<i>Transit Authority</i>	Autoridade de trânsito do sistema norte-americano.
<i>Transit District</i>	Distrito de trânsito do sistema norte-americano.

APÊNDICES

Apêndice 1 Frotas de ônibus das Regiões Metropolitanas

A Tabela 21 indica os as frotas de ônibus das regiões metropolitanas, obtidas do cruzamento de dados do DENATRAN sobre frotas de ônibus por municípios (sem distinguir os tipos de veículos e suas aplicações) com a base de dados de municípios do IBGE.

Tabela 21 Frotas de ônibus das Regiões Metropolitanas do Brasil

Região Metropolitana (RM) - classificação IBGE	Município Sede	UF	População do município sede	ÔNIBUS no município sede (*)	População da RM	Ônibus na RM (*)
007 - São Paulo	São Paulo	SP	10.749.597	34.114	18.852.589	48.997
006 - Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	RJ	6.008.818	11.179	11.120.200	20.954
005 - Belo Horizonte	Belo Horizonte	MG	2.325.900	6.230	5.184.627	12.171
009 - Porto Alegre	Porto Alegre	RS	1.404.086	3.371	3.925.522	9.371
008 - Curitiba	Curitiba	PR	1.696.273	4.943	3.035.189	7.616
004 - Salvador	Salvador	BA	2.588.152	5.502	3.228.612	7.136
022 - Campinas	Campinas	SP	1.018.136	3.283	2.527.072	7.026
003 - Recife	Recife	PE	1.472.789	2.485	3.504.661	6.207
Distrito Federal e Entorno	Brasília	DF	2.231.239	6.122	2.231.239	6.122
021 - Goiânia	Goiânia	GO	1.161.986	4.949	1.804.587	5.535
002 - Fortaleza	Fortaleza	CE	2.290.570	4.219	3.217.910	4.989
010 - Grande Vitória	Vitória	ES	305.721	806	1.559.346	4.348
001 - Belém	Belém	PA	1.360.614	2.204	1.953.291	3.148
016 - Grande São Luís	São Luís	MA	939.520	2.216	1.170.950	2.314
012 - Natal	Natal	RN	754.509	1.716	1.188.903	2.112
011 - Baixada Santista	Santos	SP	418.195	575	1.579.489	2.092
013 - Florianópolis	Florianópolis	SC	377.101	1.224	891.201	1.895
017 - Londrina	Londrina	PR	473.394	1.455	686.604	1.796
015 - Norte/Nordeste Catarinense	Joinville	SC	468.942	701	981.858	1.538
019 - Maceió	Maceió	AL	865.275	1.452	1.070.232	1.463
020 - Vale do Aço	Ipatinga	MG	225.472	419	588.889	1.458
014 - Vale do Itajaí	Blumenau	SC	281.729	742	600.765	1.269
018 - Maringá	Maringá	PR	308.005	658	511.269	899
025 - Tubarão	Tubarão	SC	92.189	336	339.321	693
024 - Carbonífera	Criciúma	SC	180.064	342	343.472	660
023 - Foz do Rio Itajaí	Itajaí	SC	158.644	247	424.117	554
TOTAIS			40.156.920	101.490	72.521.915	162.363

(*) Todos os tipos de ônibus. Dados: DENATRAN, 2005.

Dados sobre populações: IBGE, 2003.

Apêndice 2 Ciclos termodinâmicos dos motores de combustão interna

Os motores de combustão interna que equipam os veículos automotores podem ser de ciclo Otto, nos quais uma centelha provoca a ignição da mistura ar-combustível, e de ciclo Diesel, nos quais a mistura ar-combustível inflama espontaneamente ao ser submetida a alta pressão e temperatura no interior do cilindro. O ciclo Diesel, assim denominado referenciando o inventor alemão *Rudolf Diesel* (1858-1913), tem como característica uma eficiência termodinâmica maior que a do ciclo Otto. Os motores diesel são mais robustos, portanto mais adequados ao uso em veículos pesados.

As relações de compressão no motor diesel são mais elevadas que nos de ciclo Otto, diferindo também o sistema de ignição, que no ciclo Otto usa velas para produzir a centelha que inicia a combustão, desnecessárias no motor diesel. O sistema de introdução de combustível no motor diesel é realizado por bomba injetora, enquanto no ciclo Otto é usada atualmente a injeção eletrônica, que há alguns anos substituiu o carburador nessa função.

Motores de ciclo Otto usam como combustível gasolina, álcool e GNV, enquanto motores de ciclo Diesel usam óleo diesel, e recentemente estão sendo adaptados para usar biodiesel e GNV injetado simultaneamente com diesel (“*dual-fuel*”).

Nos veículos de ciclo Otto as emissões se originam no escapamento, no cárter, no carburador, se houver, e no tanque de combustível. Nos veículos movidos a diesel elas praticamente consistem nos gases do escapamento.

ANEXOS

Anexo 1 Reservas nacionais, produção e importação de gás natural ¹

LEGENDA: --- TERRA | ... MAR

PRODUÇÃO POR LOCALIZAÇÃO SEGUNDO UNIDADES DA FEDERAÇÃO (1999-2004)								
UNIDADES DA FEDERAÇÃO		PRODUÇÃO DE GN (MILHÕES M ³)						04/03 %
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	
TOTAL		11.855,18	13.282,88	13.998,80	15.525,15	15.792,064	16.971,156	7,47
SUBTOTAL	---	3.896,87	5.232,58	5.827,55	6.168,64	6.708,65	7.765,50	15,75
	...	7.958,31	8.050,30	8.171,25	9.356,51	9.083,42	9.205,66	1,35
AMAZONAS	---	734,15	2.000,20	2.427,33	2.743,18	2.992,56	3.620,76	20,99
CEARÁ	---	0,97	0,76	0,73	0,67	0,78	0,64	-17,54
	---	122,35	99,34	92,23	109,57	99,35	125,45	26,27
RIO GRANDE DO NORTE	...	350,38	390,31	394,52	356,82	301,60	393,46	10,56
	---	699,55	874,94	803,14	1.003,47	967,31	1.032,12	6,70
ALAGOAS	...	588,29	571,59	599,71	632,55	783,30	1.042,23	33,06
	---	161,72	166,74	163,21	149,20	134,62	144,93	7,66
SERGIPE	...	59,68	58,59	59,33	59,56	66,25	76,26	15,11
	---	806,36	814,98	752,53	741,89	666,26	601,17	-9,77
BAHIA	...	1.860,27	1.895,90	1.958,07	1.964,18	2.115,72	2.218,41	4,85
	---	--	0,02	8,48	52,64	50,15	38,20	-23,84
ESPIRITO SANTO	...	303,12	315,23	387,85	411,68	448,43	473,73	5,64
	---	2,68	1,95	1,10	9,82	60,95	36,10	-40,78
RIO DE JANEIRO	...	5.528,26	5.721,03	5.968,33	6.886,34	6.660,15	6.779,08	1,79
SÃO PAULO	...	558,98	324,10	343,98	394,19	388,23	383,40	-1,24
PARANÁ	...	78,43	47,21	38,25	9,39	56,40	65,22	15,65
SANTA CATARINA	...	--	--	--	--	--	--	--

Fontes: Boletins Anuais de Reservas ANP/SDP, conforme a Portaria ANP n.º 9/00, a partir de 1999; Petrobras/SERPLAN, para os anos anteriores.

IMPORTAÇÃO DE GÁS NATURAL, SEGUNDO PAÍSES DE PROCEDÊNCIA (1999-2004)							
PAÍSES	IMPORTAÇÃO DE GÁS NATURAL (MILHÕES M ³)						04/03 %
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
ARGENTINA	400	2.105	753	492	350	451	28,87
BOLÍVIA	--	106	3.850	4.777	5.597	7.635	1,86
TOTAL	400	2.211	4.603	5.269	5.947	8.086	36,42

Fontes: Boletins Anuais de Reservas ANP/SDP, conforme a Portaria ANP n.º 9/00, a partir de 1999; Petrobras/SERPLAN, para os anos anteriores.

¹ Fonte: Portal Gás Energia; disponível em <http://www.gasenergia.com.br>.

LEGENDA: --- TERRA | ... MAR

POR LOCALIZAÇÃO SEGUNDO UNIDADES DA FEDERAÇÃO (1999-2004)								
UNIDADES DA FEDERAÇÃO		RESERVAS TOTAIS DE GN (MILHÕES M ³)						04/03 %
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	
TOTAL		403.870	360.782	335.262	353.654	351.616	498.158	41,68
SUBTOTAL	---	151.164	137.614	121.049	123.660	115.742	117.899	1,86
	...	252.706	223.168	214.213	229.994	235.874	380.258	61,21
AMAZONAS	---	91.013	88.138	75.324	85.051	77.986	84.239	8,02
PARÁ	...	..	..	..	..	..	..	..
AMAPÁ	...	..	..	..	..	..	..	..
MARANHÃO	---	..	..	..	..	..	..	..
CEARÁ	---	1	..	..	..	..	..	..
	...	2.520	2.124	1.239	1.515	1.211	1.167	-3,70
RIO GRANDE DO NORTE	---	6.675	4.177	4.110	3.845	3.298	3.166	-4,03
	...	19.442	16.892	15.113	17.515	22.458	22.782	1,44
ALAGOAS	---	10.163	9.386	8.875	7.629	6.176	5.372	-13,02
	...	1.569	1.472	1.280	1.258	1.105	1.488	34,59
SERGIPE	---	1.026	904	1.001	928	995	988	-0,73
	...	7.368	7.746	6.373	5.089	5.328	5.233	-0,66
BAHIA	---	38.108	30.947	28.396	23.838	24.035	21.934	-8,74
	...	8.768	9.129	5.207	26.463	30.219	30.321	0,34
ESPIRITO SANTO	---	3.378	3.262	2.588	2.027	2.548	1.469	-42,34
	...	8.316	16.705	16.642	22.647	21.696	36.859	69,89
RIO DE JANEIRO*	...	198.221	162.827	159.425	150.116	148.797	152.796	2,69
SÃO PAULO	...	4.940	4.669	4.273	3.875	3.508	128.050	3550,60
PARANÁ*	---	800	800	756	341	703	732	4,19
	...	1.562	1.605	1.771	1.517	1.509	1.483	-1,72
SANTA CATARINA	...	..	..	..	..	44	20	-53,33

Fontes: Boletins Anuais de Reservas ANP/SDP, conforme a Portaria ANP n.º 9/00, a partir de 1999; Petrobras/SERPLAN, para os anos anteriores.

LEGENDA: --- TERRA | ... MAR

POR LOCALIZAÇÃO SEGUNDO UNIDADES DA FEDERAÇÃO (1999-2004)								
UNIDADES DA FEDERAÇÃO		RESERVAS PROVADAS DE GN (MILHÕES M ³)						04/03 %
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	
TOTAL		231.233	220.999	222.731	244.547	245.340	326.084	32,91
SUBTOTAL	---	85.477	78.601	77.159	76.070	76.597	73.730	-3,74
	...	145.756	142.398	145.572	168.477	168.743	252.354	0,16
AMAZONAS	---	44.897	44.402	44.549	47.899	49.075	49.448	0,76
MARANHÃO	---	..	..	..	..	..	..	..
CEARÁ	---	1	..	..	..	..	..	..
	...	1.808	1.595	1.186	1.462	1.139	1.066	-6,47
RIO GRANDE DO NORTE	---	6.171	3.837	3.918	3.585	3.151	2.870	-8,93
	...	17.520	16.841	15.930	17.221	17.289	18.337	6,06
ALAGOAS	---	7.268	5.961	5.766	4.719	4.286	3.929	-8,33
	...	1.563	1.272	1.154	1.118	980	1.198	22,30
SERGIPE	---	925	789	864	820	861	829	-3,65
	...	5.385	4.861	4.132	3.860	2.525	3.286	30,11
BAHIA	---	23.705	20.786	19.774	17.244	16.987	15.636	-7,96
	...	4.183	4.126	3.083	10.101	8.681	9.625	10,88
ESPIRITO SANTO	---	2.510	2.826	2.288	1.809	2.297	1.018	-54,50
	...	5.453	5.477	3.439	14.467	15.258	21.286	39,51
RIO DE JANEIRO*	...	104.904	103.515	106.246	116.339	119.257	119.049	-0,17
SÃO PAULO	...	4.940	4.669	4.273	3.875	3.508	78.471	2.137,13
PARANÁ*	---	..	..	..	..	..	..	..
	...	..	43	68	34	61	26	-57,14
SANTA CATARINA	...	..	..	..	..	44	11	-75,42

Fontes: Boletins Anuais de Reservas ANP/SDP, conforme a Portaria ANP n.º 9/00, a partir de 1999; Petrobras/SERPLAN, para os anos anteriores.

Anexo 2 Curvas de Hubbert para petróleo e gás

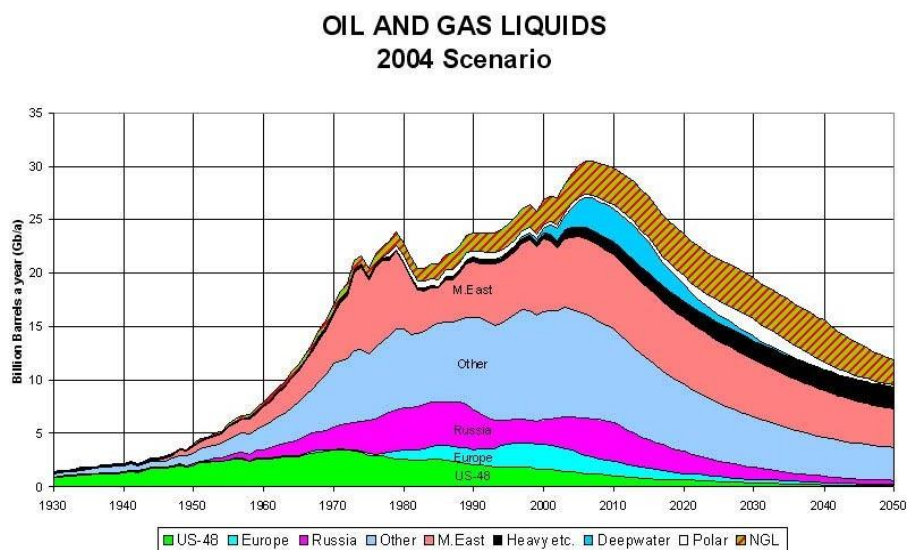


Figura 27 Curvas de Hubbert para petróleo e gás - mundo²

Curva de Hubbert Agregada para o Brasil

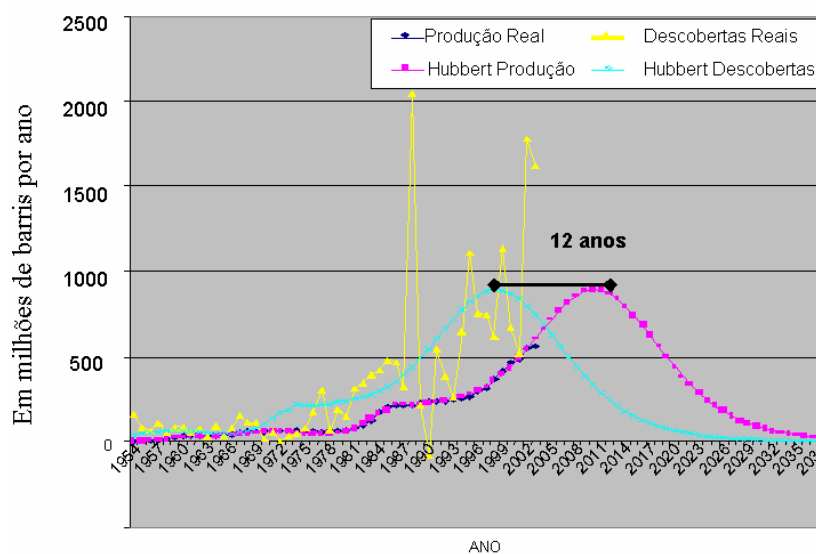


Figura 28 Curvas de Hubbert para petróleo - Brasil³

² Uppsala Hydrocarbon Depletion Study Group - OIL AND GAS LIQUIDS 2004 Scenario - Updated by Colin J. Campbell, 2004-05-15

³ Edmilson MOUTINHO DOS SANTOS; declaração disponível em:
<http://oglobo.globo.com/petroleo/blogs/eddie/default.asp?periodo=200412>.

Anexo 3 Critérios de poluição do ar

Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90) ⁴

PARÂMETROS	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	375	625	875
partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	250	420	500
fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 horas	65.000	261.000	393.000
dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 hora	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8 horas	15	30	40
ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 hora	400*	800	1.000

* O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na Legislação Estadual que é mais restritiva (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

⁴ CETESB - Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2004, p. 20.

Anexo 4 Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera

POLUENTE	CARACTERÍSTICAS	FONTES PRINCIPAIS	EFEITOS GERAIS SOBRE A SAÚDE	EFEITOS GERAIS AO MEIO AMBIENTE
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspena, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Quanto menor o tamanho da partícula, maior o efeito à saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doença pulmonar, asma e bronquite.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel.	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO ₂ .	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar a formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Aumento da sensibilidade à asma e à bronquite, abaixar a resistência às infecções respiratórias.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	Altos níveis de CO estão associados a prejuízo dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, no aprendizado, de trabalho e visual.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente à atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. O O ₃ tem sido associado ao aumento de admissões hospitalares.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: CETESB - Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2004, p 17.

Anexo 5 Limites de emissões PROCONVE para veículos pesados ⁵

Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Convencional e com Pós-tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR)

POLUENTES	LIMITES		
	até 31/12/2005	desde 01/01/2004 ⁽¹⁾	a partir de 01/01/2009
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	4,0	2,10	1,50
hidrocarbonetos (HC em g/kW.h)	1,10	0,66	0,46
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kw.h)	7,00	5,00	3,50
material particulado ⁽²⁾ (MP em g/kW.h)	0,25	0,10 ou 0,13 ⁽³⁾	0,02
opacidade ELR (m ⁻¹)	NE	0,80	0,50

- (1)** em 2004 -> inicia com o atendimento de 100% dos ônibus urbanos;
em 2005 -> continua para 100% de micro-ônibus e novos lançamentos e 40% dos outros veículos da produção;
a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

Alternativamente:

- em 2004 -> inicia com o atendimento de 60% dos ônibus urbanos;
em 2005 -> continua para 100% de ônibus urbanos, micro-ônibus e novos lançamentos e 60% dos outros veículos da produção;
a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

- (2)** Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;

- (3)** Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 m⁻¹;

- (NE)** não exigível.

Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Convencional e Pós-tratamento (Ciclo de testes ETC)

POLUENTES	LIMITES	
	desde 01/01/2004 ⁽¹⁾⁽²⁾	a partir de 01/01/2009
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	5,45	4,00
hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/kW.h)	0,78	0,55
metano (CH ₄ em g/kW.h)	NE	NE
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kw.h)	5,0	3,50
material particulado (MP em g/kW.h)	0,16 ou 0,21 ⁽³⁾	0,03

- (1)** Aplicável somente para veículos com pós-tratamento

⁵ Fonte: <http://www.ibama.gov.br/proconve/home.htm>

- (2)** em 2004 -> inicia com o atendimento de 100% dos ônibus urbanos;
em 2005 -> continua para 100% de micro-ônibus e novos lançamentos e 40% dos outros veículos da produção; a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

Alternativamente:

em 2004 -> inicia com o atendimento de 60% dos ônibus urbanos;
em 2005 -> continua para 100% de ônibus urbanos, micro-ônibus e novos lançamentos e 60% dos outros veículos da produção;
a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

- (3)** Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 m⁻¹;

(NE) não exigível.

Veículos Pesados - Ciclo Diesel – Com Pós-tratamento
(Ciclo de testes ESC/ELR)

POLUENTES	LIMITES		
	até 31/12/2005	desde 01/01/2004 ⁽¹⁾	a partir de 01/01/2009
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	4,0	2,10	1,50
hidrocarbonetos (HC em g/kW.h)	1,10	0,66	0,46
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kw.h)	7,00	5,00	3,50
material particulado ⁽²⁾ (MP em g/kW.h)	0,25	0,10 ou 0,13 ⁽³⁾	0,02
opacidade ELR (m ⁻¹)	NA	0,80	0,50

- (1)** em 2004 -> inicia com o atendimento de 100% dos ônibus urbanos;
em 2005 -> continua para 100% de micro-ônibus e novos lançamentos e 40% dos outros veículos da produção;
a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

Alternativamente:

em 2004 -> inicia com o atendimento de 60% dos ônibus urbanos;
em 2005 -> continua para 100% de ônibus urbanos, micro-ônibus e novos lançamentos e 60% dos outros veículos da produção;
a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

- (2)** Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;

- (3)** Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 m⁻¹;

(NA) não aplicável.

**Veículos Pesados – Movidos a GNV
(Ciclo de testes ETC)**

POLUENTES	LIMITES	
	desde 01/01/2004 ⁽¹⁾	a partir de 01/01/2009
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	5,45	4,00
hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/kW.h)	0,78	0,55
metano (CH ₄ em g/kW.h)	1,60	1,10
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kW.h)	5,00	3,50
material particulado (MP em g/kW.h)	NE	NE

(1) em 2004 -> inicia com o atendimento de 100% dos ônibus urbanos;

em 2005 -> continua para 100% de micro-ônibus e novos lançamentos e 40% dos outros veículos da produção; a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

Alternativamente:

em 2004 -> inicia com o atendimento de 60% dos ônibus urbanos;

em 2005 -> continua para 100% de ônibus urbanos, micro-ônibus e novos lançamentos e 60% dos outros veículos da produção;

a partir de 2006 -> para 100% dos veículos comercializados.

(NE) não exigível.