

Copyright 2005, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

IMPACTOS DA SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GÁS NATURAL NO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Eng^o. Alberto Dantas de Oliveira Filho ¹, Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá ²

¹ Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA) – Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - CEP 05508-900 São Paulo, SP, alberto.dof@terra.com.br

² Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA) – Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - CEP 05508-900 São Paulo, SP, murfaga@iee.usp.br

Resumo

As frotas de ônibus se consolidaram no século XX como o principal sistema de transporte coletivo de passageiros das grandes cidades. No entanto, por causa da dependência de importação do petróleo e do inconveniente da poluição atmosférica causada pela queima do óleo diesel, têm surgido em alguns países várias iniciativas para substituição de combustível. Neste contexto, a principal alternativa ao diesel tem sido o gás natural, utilizado em escala comercial há mais de vinte anos, embora no Brasil as tentativas de sua utilização em frotas de ônibus tenham sido invariavelmente mal sucedidas, e gradativamente abandonadas diante de barreiras operacionais e financeiras. Para que novos programas de ônibus a gás tenham êxito, convém avaliar quantitativamente seus potenciais benefícios, de forma a justificar os investimentos das empresas e do governo, necessários à superação das dificuldades inerentes à entrada desta nova tecnologia no setor. O uso de gás natural nos ônibus urbanos brasileiros é potencialmente capaz de reduzir em oitenta por cento a importação de petróleo, de incrementar o consumo de gás natural em quarenta por cento e de reduzir em quarenta por cento as emissões de poluentes dos ônibus. Os impactos esperados têm amplitude social e magnitude suficiente para motivar a discussão.

Palavras-Chave: Gás Natural; Transporte Público; Substituição.

Abstract

The bus fleet have been consolidated in the 20th Century as the main mass transportation system of passengers in large cities. However, due to the dependency of crude oil importation and the inconvenience of air pollution caused by the combustion of the diesel oil, several initiatives for the fuel substitution have surged in some countries. In this context, the main alternative to the diesel oil is the natural gas, which has been utilized in commercial scale for more than twenty years, although in Brazil the attempts of its utilization in bus fleet have been invariably unsuccessful and gradually abandoned due to the operational and financial barriers. To make new programs of gas bus being successful, it is advisable to evaluate quantitatively its potential benefits, so that we may justify the investment of the companies and of the government required to overcome the difficulties related to the entrance of this new technology in the sector. The use of natural gas in the urban buses in Brazil is potentially able to reduce in eighty per cent the importation of crude oil, improve the consumption of natural gas in forty per cent and reduce in forty per cent the pollutant emissions of buses. The impacts expected have social amplitude and enough magnitude to motivate a discussion.

Keywords: Natural Gas, Metropolitan Buses, Substitution.

1. Introdução

Os serviços de transporte coletivo urbano de quase todas as cidades de médio e grande porte em todo o mundo têm sido realizados utilizando-se ônibus, micro-ônibus e furgões, todos movidos a óleo diesel. Com o crescimento dessas cidades e com o aumento excessivo de suas frotas, o uso intenso do diesel passou a representar uma das maiores fontes de poluição atmosférica, além de intensificar a dependência do petróleo no setor. O gás natural tem sido utilizado há cerca de duas décadas como uma das principais alternativas ao diesel em ônibus urbanos, estimulado também em alguns países por fatores como a necessidade de importação do diesel e o aumento da disponibilidade de gás. 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.

Neste trabalho são analisados quantitativamente alguns dos principais benefícios esperados da substituição de diesel por gás natural nos ônibus urbanos, com a finalidade de avaliar o grau de significância de seus impactos na matriz energética por causa da redução da importação do diesel e do aumento de consumo de gás natural, bem como os impactos na redução da poluição das cidades. Pretende-se desta forma levantar premissas que possam ser consideradas em análises de viabilidade de futuros programas.

2. Substituição de Combustível no Transporte Público Urbano

Autoridades do setor de transportes de diversas cidades em todo o mundo têm buscado alternativas ao diesel convencional como força motriz de suas frotas de ônibus. As principais tecnologias experimentadas têm sido:

- Mistura diesel-gás em motores de ciclo diesel;
- Emulsão de diesel e água;
- Gás natural comprimido em motores de ciclo Otto (GNC, ou *CNG*, do inglês *Compressed Natural Gas*);
- Gás natural liquefeito em motores de ciclo Otto (GNL, ou *LNG*, do inglês *Liquefied Natural Gas*);
- Veículo híbrido-elétrico;
- Diesel com baixo teor de enxofre, chamado de “diesel limpo” e catalisadores;
- Biodiesel;
- Células a combustível.

Dentre as tecnologias citadas, as mais difundidas têm sido o GNC e o GNL, sendo estas as primeiras alternativas ao diesel comercialmente disponíveis no mundo. As demais opções são em sua maioria utilizadas apenas de modo experimental, geralmente em pequena escala ou ainda não estão disponíveis comercialmente.

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 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.

No entanto, o amadurecimento da tecnologia do diesel ao longo de várias décadas consolidou um sistema confiável, de alta penetração regional e baixo custo de manutenção, proporcionado a formação de uma frota nacional considerável, apoiada por uma ampla rede de postos de abastecimento. A indústria automobilística estruturou-se fortemente neste segmento, e da mesma forma desenvolveu-se uma eficiente logística de suprimento de combustíveis líquidos, tornando-se difícil a entrada de uma tecnologia concorrente nesse mercado.

A superação de dificuldades para introdução da nova tecnologia requer esforços das empresas e investimentos dos governos, que suficientemente argumentados podem ser justificados pelos benefícios esperados para a sociedade. Para motivar o desenvolvimento do novo combustível nessa aplicação, a magnitude desses benefícios deve ser bem conhecida e amplamente divulgada, com o objetivo de se angariar apoio social e político.

3. Frotas de Ônibus no Brasil

Os veículos de transporte coletivo a diesel existentes no Brasil, entre ônibus e outros, são estimados em torno de 420 mil unidades. Desse total, 57 mil estão no município de São Paulo (MT – GEIPOT, 2000). A ANFAVEA (2004) informa a existência de 332 mil ônibus no Brasil, entre urbanos e outros tipos. Os ônibus rodoviários totalizam 13 mil unidades, operando em um regime médio de 9 mil km/mês (MT – ANTT, 2003), e os ônibus urbanos, 115 mil veículos, distribuídos em 920 municípios brasileiros (ANTP, 2002). A frota do município de São Paulo conta com cerca de 8,5 mil ônibus urbanos, percorrendo em média 8 mil km/mês (SPTRANS, 2004), e para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) estima-se em torno de 13 a 15 mil veículos (EMTU, 2005).

Neste trabalho são consideradas frotas de 115 mil ônibus urbanos no Brasil e 15 mil na RMSP. A Tabela 1 mostra as premissas de rodagem adotadas.

Tabela 1 – Premissas Operacionais de Frotas de Ônibus Urbanos

Ônibus	Diesel	Gás	Unidades
Regime de rodagem (1)	8.000	8.000	km/mês
Consumo médio urbano (1)	0,40	0,59	l/km; m³/km
	2,50	1,69	km/l; km/m³
Consumo anual p/ veículo	38.400	56.640	litros; m³
	33	50	tep

(1) SPTRANS, 2001.

Para este estudo, é importante dispor de dados confiáveis sobre quantidades, regimes de rodagem e distribuição geográfica das frotas circulantes de ônibus, classificados por tipos, e de outros veículos de transporte de passageiros e de cargas movidos a diesel. Inconsistências observadas entre dados fornecidos por algumas instituições e a periodicidade irregular da publicação de seus relatórios dificultam a obtenção de dados confiáveis sobre frotas de ônibus no Brasil. Um retrato atual e mais preciso das frotas requer uma pesquisa direta junto a empresas de ônibus e órgãos municipais de transporte urbano.

4. Impactos da Substituição de Combustível

A proposta de uso mais intenso do gás natural em ônibus é pertinente no contexto atual e desperta o interesse da sociedade como um todo. Entretanto, a corroboração do pressuposto de que pode ser vantajosa a substituição do diesel por gás no transporte de passageiros requer uma análise das reais dimensões dos benefícios esperados. As principais vantagens potenciais desta substituição de combustível são:

- Redução da importação de petróleo e diesel;
- Contribuição à massificação do uso do gás natural e diversificação da matriz energética;
- Redução das emissões atmosféricas nas cidades.

Outros benefícios, não abordados neste trabalho, também são esperados e exigem análise à parte, como por exemplo, a geração de empregos em torno de uma indústria emergente e a redução dos custos com consumo de combustível, por ser o gás mais barato que o diesel, possibilitando redução das tarifas de transporte.

4.1. Impacto na Importação de Diesel

A substituição de combustível nos ônibus implica na redução de consumo do diesel, atualmente responsável por cerca de 40% do total de derivados de petróleo consumidos no país (MME, 2004). Na Tabela 2 vemos que em 2003 o balanço da importação brasileira de petróleo foi de 5,654 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), representando 6,8% do total refinado. O diesel originário de importação, que é a soma do diesel obtido de refino de petróleo importado com o derivado importado já refinado, corresponde a 4,548 milhões de tep.

Tabela 2 – Balanço de Importação de Petróleo e Derivados

CONTA	PETRÓLEO	PETRÓLEO (% sobre o total refinado)	ÓLEO DIESEL	ÓLEO COM- BUSTÍVEL	GASOLINA	GLP	NAFTA	QUERO- SENE
PRODUÇÃO (1)	77.246	93,3%	-	-	-	-	-	-
IMPORTAÇÃO (1)	18.137	21,9%	3.241	89	139	1.245	2.446	289
EXPORTAÇÃO (1)	-12.483	-15,1%	-697	-8.279	-2.072	-80	0	-1.120
REFINARIAS DE PETRÓLEO (1)	-82.758	100,0%	29.323	15.839	13.704	4.841	6.887	3.300
PROPORÇÃO DE REFINO	100%	-	35%	19%	17%	6%	8%	4%
BALANÇO - IMPORTAÇÃO	5.654	6,8%	2.544	-8.190	-1.933	1.165	2.446	-831
REFINO DE PETRÓLEO IMPORTADO		6,8%	2.003	1.082	936	331	471	225
Importação do derivado + refino de petróleo importado			4.548	-7.108	-997	1.496	2.917	-605

(1) MME, 2004 (BEN Consolidado 2003).

No mesmo período, mais de 8 milhões de tep de óleo combustível e gasolina foram efetivamente exportados – quase o dobro do montante energético de diesel importado. Podemos concluir que parte do petróleo importado se presta basicamente 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 derivados. A substituição de diesel por gás reduziria a importação de petróleo, economizando divisas para o país.

Considerando que um ônibus urbano padrão substituído por um equivalente a gás evita o consumo anual de 33 tep de diesel (Tabela 1), podemos projetar o potencial de redução de importação com a substituição gradual da frota brasileira, como uma função linear apresentada no gráfico da Figura 1.

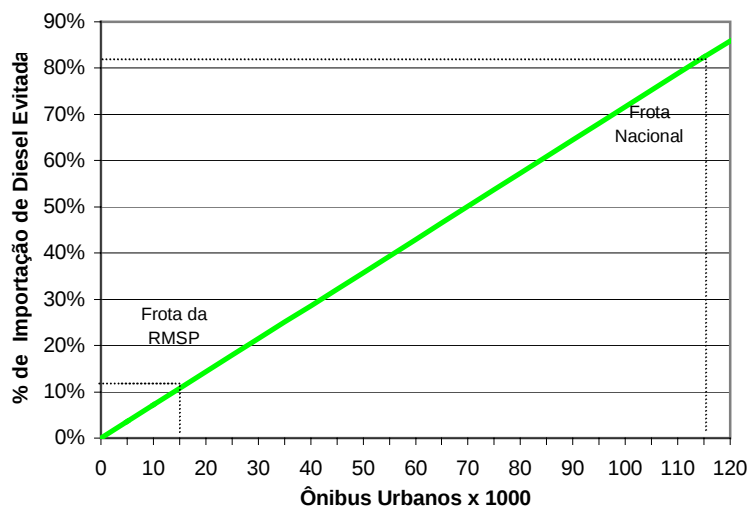


Figura 1 – Potencial de Redução de Importação de Diesel

A substituição de toda a frota nacional de ônibus urbanos para gás natural reduziria em 82% a importação de diesel, enquanto que na substituição total da frota da RMSP esta redução seria em torno de 10%.

Estes percentuais são consideráveis e significativos, colocando a redução da importação de diesel como um forte argumento em favor do ônibus a gás.

4.2. Impacto na Participação do Gás Natural no Consumo Nacional de Energia

O consumo final de gás natural no Brasil em 2003 foi de 10,9 milhões de tep (12.387 milhões de metros cúbicos) correspondendo a 6,5% de toda a energia consumida no país (MME, 2004). Cada ônibus urbano movido a gás pode consumir 50 tep por ano, ou 56.640 metros cúbicos (Tabela 1).

O gráfico da Figura 2 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 da seção 3 deste artigo.

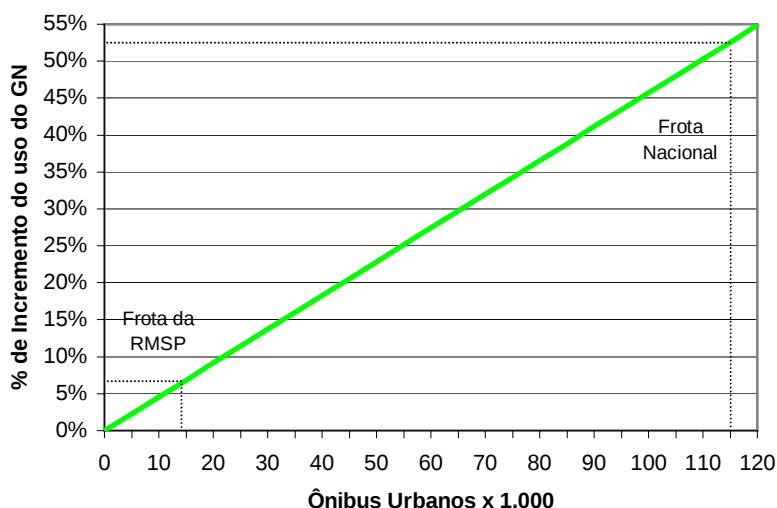


Figura 2 – Potencial de Incremento do Consumo de Gás Natural

A substituição de toda a frota nacional de ônibus urbanos demandaria um consumo adicional de 53% de gás natural no Brasil (6.514 milhões de metros cúbicos), aumentando sua participação na matriz energética, dos atuais 6,5%, para 10%.

Considerando que faz parte da política estratégica do governo brasileiro a massificação do uso de gás natural, temos esta projeção de incremento de consumo como mais um argumento em favor do ônibus a gás.

4.3. Impacto nas Emissões de Poluentes Atmosféricos

Os principais danos à saúde causados por emissões dos motores ocorrem em nível local, como função de condições favoráveis ou não à dispersão de poluentes. Os impactos da substituição do diesel podem ser avaliados mediante análise quantitativa da conversão gradual de frotas urbanas, como no exemplo clássico da Região Metropolitana de São Paulo.

O setor de transportes é responsável por 61% do consumo nacional de derivados de petróleo, com tendência de crescer 0,8% por ano (MME, 2004), tendo assumido nas últimas décadas o papel de maior poluidor do ar nas cidades. Estima-se que em 2003 os veículos a diesel foram causadores de aproximadamente um terço das emissões totais na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), lançando diariamente na atmosfera 2,5 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) (Cetesb, 2004b). Veículos a gasolina e álcool respondem por 62% das emissões na RMSP, enquanto as indústrias aparecem com 4%.

A substituição de 100% dos veículos a diesel circulantes na RMSP, como ônibus, micro-ônibus, furgões, caminhões de grande, médio e pequeno portes e caminhonetes, implicaria em uma operação de extrema complexidade. Seria necessário envolver considerável quantidade de instituições 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. 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.

A Tabela 3 apresenta as emissões de poluentes em ônibus com motores diesel, e o potencial de redução de emissões supondo a substituição da frota total da RMSP para gás natural.

Tabela 3 – Potencial de Redução de Emissões na Região Metropolitana de São Paulo

Emissões	DIESEL (1)			GÁS injeção mono- ponto (1)	Redução anual de emissões na RMSP devido à substituição de combustível				
	unidade =>	g / KWh	ton. / ano		ton. / dia	g / KWh	g / KWh	ton. / ano	ton. / dia
MP		0,136	723	2,0	0,000	0,136	723	2,0	100
NOx		6,480	34.454	95,7	2,580	3,900	20.736	57,6	60
HC		0,390	2.074	5,8	0,400	-0,010	-53	-0,1	-3
CO		0,790	4.200	11,7	1,830	-1,040	-5.530	-15,4	-132
TOTAL		7,796	41.451	115,1	4,810	2,986	15.876	44,1	38

(1) Cetesb, 2004a.

Os ônibus a gás emitem praticamente 100% menos MP e 60% menos NO_x que o similar a diesel, porém emitem mais HC, e principalmente CO. No entanto, os danos à saúde humana causados por emissões de CO são menos prejudiciais que os efeitos do NO_x e do MP. As emissões de hidrocarbonetos do ônibus a gás correspondem a metano não-reativo, que não é um poluente local importante, embora seja um poderoso gás de efeito estufa (Fulton, 2001). Considerando a soma dos quatro poluentes analisados, a redução proporcionada é de 38% no volume emitido pela frota de ônibus.

A conversão de toda a frota de ônibus da RMSP para gás natural possibilitaria uma redução diária de emissão de 2 ton. de material particulado e 57,6 ton. de óxidos de nitrogênio, o que representa uma redução de 4% nas emissões totais de MP e de 6% de NO_x lançadas na atmosfera sobre a RMSP. 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.

Outros estudos a serem conduzidos pelos autores se referem à análise quantitativa dos danos à saúde devidos às emissões de ônibus urbanos a diesel e do potencial de redução de casos de doenças e óbitos, e consequente redução de gastos em saúde pública *versus* investimentos governamentais em projetos de frotas a gás natural.

5. Experiências com Ônibus a Gás

Nas duas últimas décadas surgiram em vários países iniciativas de inserção de ônibus a gás nas frotas de suas maiores cidades. Entretanto, por se tratar de uma tecnologia em desenvolvimento, os resultados obtidos em algumas dessas experiências não foram satisfatórios. As experiências conduzidas em cidades brasileiras tiveram resultados pífios, senão de fracasso total. Dentre as causas desses insucessos estão os problemas tecnológicos relativos aos motores, a penetração insuficiente das redes de distribuição de gás natural, os custos operacionais e depreciação mais elevada dos veículos a gás que para os ônibus a diesel (Santos, 2003). Alguns desses problemas estão superados

tecnologicamente, no entanto as seqüelas da experiência negativa pregressa constitui por si mesma uma barreira a ser transposta.

Algumas experiências internacionais tiveram resultados animadores, como por exemplo, os Estados Unidos têm atualmente cerca de um décimo da frota total de ônibus movidos a gás natural (Watt, 2001). Frotas a gás de mais de uma dezena de outros países podem ser referências úteis para novos programas brasileiros, dos quais se podem extrair premissas de sucesso e lições aprendidas em cada caso, para se evitar a repetição de equívocos e situações indesejáveis.

6. Conclusões

Dentre as tecnologias concorrentes para substituição do diesel convencional no transporte público, o gás natural está especialmente bem colocado, por ter sido pioneiro comercialmente e operacionalmente aprovado em várias frotas. Alternativas como o ônibus híbrido-elétrico, o biodiesel e motores mais modernos associado ao uso do diesel limpo, entre outras, também têm potencial de se afirmarem nesse mercado.

Considerando os atuais índices renovação da frota, a hipótese de substituição de todos os ônibus urbanos para gás natural demandaria mais de uma década para ser levada a cabo. No entanto, se for atingido no Brasil o índice de substituição de um décimo da frota – o mesmo verificado nos EUA – ainda estaremos tratando de impactos significativos de redução de importação de diesel, de incremento do consumo de gás natural e redução de emissões de poluentes.

A evolução das tecnologias, a evolução dos mercados, e principalmente a forma de condução das políticas energética e urbana serão decisivas no destino dos sistemas de transporte coletivo e suas conseqüências para a sociedade.

7. Referências

- ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, São Paulo, 2004.
- ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. Relatórios Técnicos (disponíveis em <http://www.antp.org.br>). São Paulo, 2002.
- CARVALHO, C. H. R. e outros. Utilização do Gás Natural no Transporte Público Urbano – Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU), Brasília, 2004.
- CETESB. Vantagens Ambientais na Substituição dos Ônibus Urbanos Diesel por GNV. São Paulo, 2004a.
- CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2003. São Paulo, 2004b.
- EMTU – Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo. Dados Operacionais (disponível em <http://www.emtusp.com.br>). São Paulo, 2005.
- EUDY, L. *Natural Gas in Transit Fleets: A Review of the Transit Experience*. NREL – National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, 2002.
- FULTON, L.; SCHIPPER L. *Bus Systems for the Future – Achieving Sustainable Transport Worldwide*. IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Paris, France, 2001.
- MACHADO, F. 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). 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. Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
- MME – Ministério de Minas e Energia. BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL Governo Federal, 2004.
- MT – Ministério dos Transportes. ANTT – Associação Nacional dos Transportes Terrestres. Anuário Estatístico 2003 – Ano Base 2002. Brasília, 2003.
- MT – Ministério dos Transportes. GEIPOT – Grupo Executivo para a Integração da Política de Transportes. Anuário Estatístico dos Transportes. Brasília, 2000.
- SANTOS, E. M.; 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.
- SPTRANS – São Paulo Transporte S.A. Frota Média em Operação (disponível em <http://www.sptrans.com.br>). São Paulo, 2005.
- TOUMA, J. E., Apresentação: O Uso do Gás Natural e do Biodiesel no Transporte Coletivo. Fortaleza, 2004.
- 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.