



IBP1306_06

ÔNIBUS URBANOS A GÁS NATURAL – ROTAS TECNOLÓGICAS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO BRASIL

Guilherme Bastos Machado¹, Tadeu Cavalcante C. de Melo², Márcia Figueiredo Moreira³, Fernando Aniello Iaccarino⁴, Raphael Riemke de Campos César Leão⁵

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, 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, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

Em meio à crise do petróleo, observada no início da década de 80, o gás natural veicular (GNV) surgiu como um combustível com grande potencial de substituição do Diesel em veículos pesados. Nessa época a Petrobras desenvolveu, em parceria com outras empresas, tecnologias de conversão do motor Diesel para operar com Diesel+GNV, conhecidas como Diesel-gás. Testes de campo em ônibus urbanos evidenciaram a viabilidade técnica dessa aplicação. Paralelamente, algumas cidades brasileiras, destacando-se o município de São Paulo, realizaram experiências com ônibus urbanos utilizando a tecnologia de motores dedicados a GNV (ciclo Otto), fabricados no país. Devido a diversos fatores, os programas não avançaram e as experiências não evoluíram conforme o esperado. Mais recentemente surgiu uma outra rota tecnológica, chamada Ottolização (conversão de um motor Diesel para operar no ciclo Otto). O aumento da densidade populacional e das frotas de veículos nos grandes centros urbanos gera uma preocupação constante com os níveis de poluição ambiental e dos impactos sobre a saúde humana. Os gastos públicos com doenças relacionadas à degradação da qualidade do ar tendem a aumentar. Limites de emissões cada vez mais restritivos, preços internacionais crescentes do barril do petróleo e o interesse estratégico em reduzir a importação de Diesel, compõem um cenário favorável à difusão do uso do GNV no segmento de ônibus urbanos no país, de tal forma que novas oportunidades e políticas de incentivo estão surgindo.

Abstract

In the 80's, because of the oil crisis, the Natural Gas (NG) emerged as a fuel with great potential for Diesel replacement in Heavy Duty Vehicles. At that time, Petrobras with other companies have developed partial conversion technologies from Diesel to NG, known as "Dual Fuel". Vehicle bus tests verified its technical feasibility. At the same time, other experiences using NG Otto Cycle bus engines, manufactured in Brazil, have been conducted in some cities, mainly in Sao Paulo, nevertheless, without expansion. Recently another technological route, called *Ottolização* (conversion of a Diesel engine to work on the Otto cycle) has appeared. The main cities population and vehicle fleet increase promote a constant concern about automotive emissions and its impact on human health. In this context the public costs involved with diseases related to atmospheric conditions degradation tends to become higher. More restrictive emission limits, increasing international oil prices and the strategic interest on Diesel import replacement compose together an interesting scenario for the CNG diffusion on the public transport of the main Brazilian cities, with new opportunities and incentive policies appearing.

¹ Engenheiro Mecânico – PETROBRAS/CENPES/PDAB/DPM

² Engenheiro Eletrônico – PETROBRAS/CENPES/PDAB/DPM

³ Engenheiro Mecânico – PETROBRAS/CENPES/PDAB/DPM

⁴ Administrador – PETROBRAS/GE-MC/DEMERC/VEIC

⁵ Engenheiro Mecânico – PETROBRAS/GE-MC/TDM

1. Introdução

A aplicação do GNV no segmento de transporte público por ônibus urbanos já existe em diversas cidades do mundo, porém no Brasil ainda é incipiente. Neste artigo serão apresentados conceitos referentes às três rotas tecnológicas existentes: motor Otto a GNV original de fábrica, Ottolização e Diesel-gás. Serão relatadas algumas experiências brasileiras e mundiais com essas aplicações, bem como desafios e oportunidades que se apresentam. Também será abordada a questão ambiental, com foco nas emissões de escapamento, incluindo os impactos na saúde humana e os aspectos de legislação.

2. Motor do Ciclo OTTO Dedicado (Original de Fábrica)

2.1. Conceitos

Motores a gás do ciclo Otto têm princípio de funcionamento idêntico ao motor tradicional a gasolina. A mistura ar mais gás natural é inflamada no interior do cilindro pela ignição de uma vela, gerando a energia de propulsão. A combustão, sendo do tipo pré-misturada, tende a ser mais suave que nos motores do ciclo Diesel, cuja combustão é do tipo difusiva. Essa característica da combustão do gás, associada às menores taxas de compressão dos motores do ciclo Otto em relação aos do ciclo Diesel proporcionam uma operação menos ruidosa. O custo de uma taxa de compressão mais baixa se traduz em uma tendência de menores eficiências energéticas, não necessariamente um menor desempenho, porém um maior consumo, na ordem de grandeza de 1,3m³ de gás para 1 litro de Diesel (1m³ de gás possui energia equivalente a 1 litro de Diesel).

No Brasil, as conversões para usar GNV em motores do ciclo Otto originalmente projetados para gasolina e/ou álcool, são muito realizadas em veículos leves. Em relação às conversões, motores projetados e dedicados a gás natural oferecem como vantagem a possibilidade de variações de projeto que permitem otimizar e melhorar a queima do novo combustível. Há dois enfoques no desenvolvimento de motores dedicados do ciclo Otto, baseados em diferentes estratégias de composição da mistura ar mais GNV. Nos motores de mistura pobre (*lean burn*), a mistura admitida é pobre em combustível, levando a emissões menores, desde que dentro de determinada faixa de λ , (razão entre a relação ar-combustível real e a estequiométrica). Esta estratégia é utilizada para redução de consumo e redução de emissões sem a utilização de um sistema de pós-tratamento (catalisador), o que reduz custos. Motores estequiométricos trabalham com $\lambda = 1$, estratégia adotada quando da utilização de catalisador de três vias para redução de emissões. Uma parte importante do desenvolvimento de motores dedicados está na construção de um sistema de controle da injeção otimizado para atender ao compromisso entre desempenho, consumo e emissões. Empresas especializadas, como a Woodward, desenvolvem unidades de controle com softwares específicos para aplicação GNV, fornecendo essas unidades para fabricantes de motores de todo o mundo. O chassi com motor a gás do ciclo Otto, fabricado no Brasil pela Mercedes-Benz, possui uma central eletrônica que também foi desenvolvida pela Woodward.

2.2. Experiências com o Ônibus a Gás do Ciclo OTTO

Durante as décadas de 80 e 90, algumas experiências de utilização de ônibus a gás desenvolveram-se em cidades brasileiras como Natal, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo. A experiência vivida na cidade de São Paulo, pelas dimensões e lições proporcionadas, destaca-se no cenário nacional. Ela começou no início da década de 80, ainda sob a influência da segunda crise energética de 1979, com perspectivas de diminuição da oferta de petróleo, a preços sempre crescentes. Nesse contexto, a Mercedes-Benz, apostando em potencial de mercado de médio e de longo prazo, prosseguiu no desenvolvimento de um motor a gás do ciclo Otto. O PLANGÁS, Plano Nacional do Gás Natural, aprovado pelo Governo Federal em 1987, que enfatizava o gás como substituto do Diesel, alimentou essa aposta tecnológica da empresa. Uma vez atenuadas as perspectivas de crise de suprimento de petróleo, o debate sobre o papel do ônibus a gás no município foi assumindo uma ótica cada vez mais ambiental. A cidade de São Paulo, grande metrópole mundial, historicamente sempre teve problemas com a qualidade do ar. Com a instituição do PROCONVE, Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, em 1986, iniciou-se uma busca por critérios ambientais cada vez mais restritivos, abrangendo esforços de adequação tanto das tecnologias já existentes como dos combustíveis. Nesse aspecto, com as tecnologias existentes, o gás natural apresentava vantagens ambientais em relação ao Diesel. Falta de infra-estrutura de abastecimento adequada, falta de robustez dos veículos de 1ª e 2ª gerações disponibilizados para o mercado e maiores custos operacionais envolvidos levaram à estagnação do programa, apesar da existência de leis municipais promulgadas que estabeleciam cronogramas de substituição das frotas (Santos, 2003).

Nos últimos anos houve um grande crescimento da infra-estrutura de abastecimento das grandes cidades, impulsionado pelo aumento da frota de veículos leves convertidos para usar também o GNV, o que de certa forma incentiva os estudos para aplicação em veículos pesados. Nesse sentido, a Petrobras está realizando um estudo com um

ônibus a gás mais moderno, de 3ª geração, fabricado no Brasil, que opera na linha 350, Irajá-Passeio, no município do Rio de Janeiro. O projeto foi concebido pela diretoria de Gás e Energia, através da gerência de suporte ao CONPET (Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural), e está sendo coordenado tecnicamente pela Gerência de Desempenho de Produtos em Motores do CENPES. Ele conta com a participação do PROGÁS (Programa Tecnológico do Gás Natural, do CENPES) e da gerência de Desenvolvimento de Mercado Veicular, a partir de um convênio firmado entre a Petrobras, o Rio-Ônibus (Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiros do Município do Rio de Janeiro) e a Petrobras Distribuidora. Os resultados mostram a evolução da tecnologia quando comparada às 1ª e 2ª gerações, principalmente em relação ao consumo de combustível, emissões, dirigibilidade e conforto do veículo. O veículo atende aos limites de emissões da legislação nacional com potencial para atender limites mais restritivos a partir de desenvolvimentos específicos. Considerando os preços praticados ao longo de 2005, para o gás natural no posto e para o Diesel comercializado para o frotista, existe uma ligeira vantagem no custo operacional do ônibus a gás. O custo de manutenção do veículo tem se mostrado mais elevado, sendo necessário um melhor equacionamento por parte do fabricante nas questões referentes à assistência técnica, o que deve acontecer quando esta aplicação for prioridade dentro da montadora. Essa priorização depende de uma demanda mais forte do produto pelo mercado. Com o mercado desenvolvido, as economias de escala tendem a reduzir preços do veículo novo e das peças de reposição. A entrada de concorrentes no mercado também é importante, o que tende a acontecer em breve, na medida em que outra montadora já possui um protótipo de ônibus dedicado em fase de testes no país.

Em nível mundial a frota de veículos pesados movidos a GNV vem crescendo ao longo dos anos. Exemplos de países que já se destacam pela participação do GNV podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de ônibus a GNV - frota dos grandes centros urbanos (Filho, 2005).

País	Frota	Ônibus GNV	% (GNV)
USA	62.200	8.100	13,0
China	100.000	8.850	8,8
França	6.800	1.400	20,6
Austrália	8.600	1.830	21,3
Espanha	-	350	-
Suécia	-	970	-
Grécia	2.500	800	32,0

A experiência mais significativa é a norte-americana, cuja principal motivação é a questão ambiental. Legislações federal e estadual rígidas favorecem as tecnologias mais limpas. A Califórnia é o estado americano que possui a legislação ambiental mais restritiva, o que justifica a quase totalidade da frota de ônibus urbanos da cidade de Los Angeles ser movida a GNV atualmente. Além dos EUA, cidades européias, asiáticas e australianas estão utilizando ônibus movidos a GNV em suas frotas. Experiência interessante é a de Pequim, que dentro do projeto olímpico está substituindo sua frota a Diesel por GNV. Na Europa a experiência mais significativa é a italiana. Recentemente, a Irisbus, companhia de ônibus da Iveco, vendeu 400 ônibus para a prefeitura de Roma. Os ônibus movidos a GNV passam a representar cerca de 25% da frota urbana da capital. Segundo executivos da Irisbus, o controle de emissões já coloca o veículo de acordo com padrões ambientais, que entrarão em vigor apenas em 2009 na Europa (Euro V). O governo australiano está investindo na substituição da frota de ônibus urbanos de suas principais cidades por veículos a GNV. Equipamentos da Mercedes-Benz que atendem aos padrões de emissões Euro IV têm sido utilizados.

2.3. Desafios Tecnológicos

As experiências internacionais mostram a evolução e amadurecimento da tecnologia de motor Otto, atendendo a limites de emissões cada vez mais restritivos. As experiências recentes realizadas no Brasil com veículos originais de fabricação Mercedes de 3ª geração, mostram a evolução tecnológica do equipamento fabricado no país em relação à 1ª e 2ª gerações, típicas das décadas de 80 e 90. A tecnologia no Brasil está desenvolvida, carecendo ajustes para dar maior robustez ao equipamento. As condições operacionais dos ônibus urbanos das grandes cidades brasileiras, principalmente nos municípios do Rio de Janeiro e São Paulo tendem a ser mais severas que as condições européia e americana, o que deve ser considerado no projeto dos equipamentos. Recentemente entrou em vigor novos limites de emissões de escapamento para os motores que equipam os veículos pesados movidos a Diesel, que a partir de Janeiro de 2006 atendem à fase CONAMA P5, equivalente à fase européia Euro III. O único motor a gás do ciclo Otto disponível comercialmente no Brasil e que é fabricado pela Mercedes-Benz atende aos limites de emissões correspondentes à fase P4 (Euro II). Existe potencial para atender aos limites Euro III sem grandes modificações tecnológicas, porém investimentos em desenvolvimento devem ser realizados pela fabricante para acompanhar este

novo cenário. Outra tradicional fabricante de motores para o mercado nacional, a MWM-International, está desenvolvendo um motor a gás do ciclo Otto que já se encontra em fase de teste de campo com protótipo da VW. O desenvolvimento é para enquadrar o motor aos limites de emissões Euro III. Multinacionais como a Cummins, Iveco e Detroit possuem motores a gás do ciclo Otto que atendem a padrões de emissões mais restritivos que os praticados atualmente no Brasil e poderiam estar importando e desenvolvendo essas tecnologias para o mercado brasileiro.

A substituição da tecnologia Diesel pela tecnologia GNV em ônibus urbanos deve ser acompanhada de um programa de treinamento para os técnicos das empresas e concessionários. Não basta o amadurecimento tecnológico dos equipamentos fabricados e comercializados no país se não houver a difusão do domínio técnico dos novos produtos para os operadores e rede de assistência técnica. A tecnologia Diesel é robusta e amplamente dominada. Esta condição deve ser reproduzida em médio prazo para o GNV.

3. Ottolização

3.1. Conceitos

A Ottolização consiste na conversão de um motor do ciclo Diesel para funcionamento exclusivo a gás natural no ciclo Otto, implicando em mudanças nos sistemas de admissão e ignição, na câmara de combustão, entre outras. No sistema de admissão as vazões de ar e do gás passam a ser ajustadas através de dispositivos de controle de mistura específicos (válvula borboleta, válvula controladora de vazão e mesclador ou injetor). Motor de passo e mesclador têm a função de controlar a passagem de gás para a admissão do motor. Injetores são usados em “kits” mais modernos em substituição ao conjunto motor de passo/mesclador. É necessária a substituição do coletor de admissão do motor para incorporar os novos dispositivos. Nos “kits” mais avançados tecnologicamente, para enquadramento dos limites de emissões, a relação ar/combustível deve ser controlada por uma centralina, através do monitoramento dos gases do escape via sonda lambda, posição da borboleta e rotação do motor. Como o processo de ignição da mistura é completamente diferente nos ciclos Otto e Diesel, torna-se necessária a instalação de sistema próprio, com bobinas e velas posicionadas no cabeçote, componente esse substituído na conversão. A câmara de combustão é modificada a partir da substituição do cabeçote completo e pistões, a fim de aumentar o volume da câmara, baixando a taxa de compressão de algo em torno de 18:1 (Diesel) para cerca de 13:1 (GNV). Também faz parte do “kit” o sistema de armazenamento com dutos de alimentação de gás em substituição ao sistema do Diesel. Um redutor de pressão de múltiplos estágios é necessário para reduzir a pressão de armazenamento para as condições operacionais do motor.

A Ottolização tem como principal vantagem a possibilidade de reconversão do veículo pela retirada do “kit”, de maneira que o motor volte a operar normalmente a Diesel. Este fator é particularmente importante em frotas cujos proprietários têm interesse financeiro considerável na revenda do veículo. Notadamente incentivador é também o fato de ela permitir a inserção do gás natural como combustível no transporte de passageiros com investimentos menores do que a substituição do motor pela compra de um dedicado de fábrica.

3.2. Experiências no Brasil e no Mundo

Na década de 80 algumas experiências dessa rota foram feitas no país, incluindo os estados de São Paulo, Sergipe e Rio de Janeiro. Pelas mesmas razões que as demais rotas, o programa foi descontinuado na década seguinte. Visualiza-se atualmente a aplicação desta rota como uma etapa de transição entre os motores dedicados a Diesel e dedicados a gás natural originais de fábrica. Quando o GNV se consolidar no segmento de veículos pesados, a tendência é de que haja uma maior oferta de motores a gás natural dedicados de fábrica no país. Entre 2005 e 2006 foi realizada uma experiência com ônibus ottolizado na cidade de Porto Alegre, através de um projeto da RedeGasEnergia. Trata-se de uma iniciativa da Petrobras e da Sulgás (Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul) com o objetivo de avaliar o desempenho de um motor Mercedes-Benz OM366 convertido no transporte regular intermunicipal de passageiros. Há também iniciativas em curso em algumas cidades brasileiras para teste da aplicação de “kits” em motores deste modelo.

Mundialmente, são poucas as iniciativas para conversão de frota pela aplicação de “kits” de Ottolização, sendo que na França existe o centro de pesquisas de máquinas térmicas (CRMT) que possui experiência e tecnologia disponível nessa área. Existem fabricantes de motores que oferecem aos seus consumidores o serviço de repotencialização de motores a Diesel, o que consiste exatamente na conversão dos mesmos para operação a gás natural no ciclo Otto.

3.3. Desafios Tecnológicos

A manutenção da potência original do motor não é problema. O principal desafio do ponto de vista do mercado é a disponibilização de “kits”, não só as peças como também ajustes adequados para diversos modelos de motor. Atualmente a oferta é bastante restrita e não acompanha as mudanças do perfil da frota, sendo necessária uma resposta mais rápida dos fabricantes de “kits”, em consonância com as montadoras e fabricantes de motores.

Paralelamente, um serviço de assistência técnica adequado também é fundamental para a implementação dessa rota tecnológica.

Do ponto de vista tecnológico um desafio importante que vem se configurando, comum a todas as rotas para aplicação de gás natural em veículos pesados discutidas neste trabalho, é o atendimento às normas de emissões cada vez mais restritas. Não há no país legislação específica para motores convertidos do ciclo Diesel para o ciclo Otto, mas mesmo o atendimento aos limites aplicáveis aos veículos originais a Diesel pode se configurar desafiador para alguns dos poluentes regularmente legislados, apesar do benefício amplamente conhecido do uso do GNV na redução da fumaça negra e material particulado (MP), emissões típicas dos motores Diesel.

4. Diesel-gás

4.1. Conceitos

Também chamados duplo combustível ou *dual fuel*, estes sistemas têm como princípio de funcionamento a queima de gás natural em motores ciclo Diesel usando como indutor de ignição a injeção de uma quantidade de óleo Diesel suficiente apenas para o início da combustão. As alterações mecânicas introduzidas no motor não são complexas, consistindo da introdução de sistemas de injeção e controle do gás natural e alterações na injeção de óleo Diesel. Características construtivas do motor, como sua taxa de compressão, por exemplo, não precisam a princípio ser alteradas. A simplicidade do conceito desses sistemas levou a um grande número de pesquisas na área e a um número correspondente de soluções tecnológicas. Desde “kits” totalmente mecânicos, com controle de injeção de gás através do vácuo na admissão até os mais modernos motores projetados especificamente para o uso de duplo combustível, há uma ampla gama de equipamentos que podem ser utilizados. De uma forma geral, no entanto, pode-se dizer que atualmente um número expressivo de sistemas Diesel – gás apresenta a seguinte configuração:

- *Sistema de admissão de gás*: a injeção de gás é feita diretamente no coletor de admissão, normalmente através de dispositivos que potencializem a homogeneização da mistura do gás com o ar, como misturadores e bicos injetores.
- *Sistema de injeção de Diesel*: embora os injetores normalmente não sejam alterados, a vazão é restringida. A interface entre os sistemas de controle de injeção de ambos os combustíveis depende dos próprios sistemas, indo desde atuadores mecânicos para restrição de débito em bombas mecânicas a interação eletrônica entre as centrais de controle.
- *Centrais eletrônicas de controle*: comandam os sistemas de injeção de gás, intervindo no sistema de injeção de Diesel. O mapeamento do motor implementado nessas centrais indica as vazões de ambos os combustíveis para as condições de carga e rotação, normalmente tendo como sinal de entrada a posição do acelerador. Sistemas mais avançados começam a introduzir controles em malha fechada, com monitoramento dos gases de exaustão.

O sistema duplo combustível apresenta duas vantagens fundamentais. A primeira delas é a flexibilidade em relação ao combustível utilizado. Os sistemas de controle e injeção permitem que o veículo funcione normalmente apenas com Diesel, seja por opção do motorista, seja por falta de gás. Uma segunda vantagem seria a possibilidade de reconversão – retorno do motor convertido às suas características originais - no caso do uso de “kits” de conversão.

A questão dos custos envolvidos na conversão de motores para duplo combustível é um tanto complexa. A aparente simplicidade do sistema e o menor grau de intervenção no motor original indicam que os custos envolvidos seriam possivelmente menores que os de uma conversão por otolização e certamente inferiores aos da substituição por motores dedicados a gás natural. Entretanto, verifica-se que a obtenção de resultados confiáveis, especialmente quanto a emissões, envolve sistemas de controle cada vez mais sofisticados. Os custos destes sistemas, tanto em equipamentos quanto em esforço de desenvolvimento devem, portanto, ser avaliados mais detalhadamente, para que a comparação com outras rotas tecnológicas seja consistente.

4.2. Experiências no Brasil e no Mundo

No Brasil, sistemas de conversão Diesel-gás foram usados em quase todas as frotas experimentais implementadas na década de 1980. Desta época também datam as primeiras experiências da própria Petrobras com esta tecnologia, visando identificar no mercado os equipamentos de conversão existentes, suas características de funcionamento e seu desempenho. De 1983 a 1991, foram realizadas no CENPES avaliações desses sistemas, em ensaios em banco de provas e em campo e chegou-se inclusive a desenvolver um sistema em parceria com uma empresa canadense. Essas experiências foram descontinuadas (Machado et al., 2005).

Hoje, com a retomada do interesse na substituição do Diesel, principalmente em transportes coletivos urbanos, e com a implementação de legislações ambientais cada vez mais restritivas, as experiências vêm sendo retomadas. Importantes sistemistas do mercado brasileiro, como a Delphi e a Bosch, têm divulgado projetos seguindo esta rota tecnológica e já anunciam resultados para breve. Recentemente, no início de 2006, foi anunciada a entrada em funcionamento de um ônibus com esta tecnologia, resultado de uma parceria entre a Companhia distribuidora de gás do Rio de Janeiro (CEG), a Prefeitura de Duque de Caxias e o Consórcio Civic/Diesel-Gás, responsável pelo “kit” de conversão.

A Petrobras também retomou seus experimentos, trazendo “kits” importados para avaliação – focalizando com mais atenção problemas de emissões característicos do sistema – e participando do desenvolvimento de um sistema inteiramente nacional em parceria com a PUC-RJ.

Internacionalmente, encontram-se indicações do uso da tecnologia *dual fuel* em vários países e são citados como referências nesta área EUA, Canadá, Rússia e Argentina, entre outros. Índia, China e Paquistão aparecem como importantes mercados a serem desenvolvidos. Entretanto, apesar de um número significativo de potenciais fornecedores de equipamentos de conversão, poucos apresentam certificados de conformidade quanto ao atendimento aos limites de emissões em seus países de origem.

Uma outra abordagem da tecnologia *dual fuel* é o desenvolvimento de motores específicos. A Cummins-Westport é uma das que tem seguido esta linha, e já apresenta um motor comercial – o Cummins-Westport ISX – cujo grande diferencial é a utilização de um único bico injetor para ambos os combustíveis.

4.3. Desafios Tecnológicos

Assim como na Ottolização, a manutenção da potência original do motor não é problema. O principal desafio da tecnologia *dual fuel* é atender aos limites de emissões cada vez mais restritos impostos pelos órgãos ambientais em todo o mundo. Embora apresentem vantagens significativas em relação à emissão de material particulado (MP), o mesmo não acontece em relação aos outros poluentes. Especialmente em sistemas de conversão, por exemplo, é verificado um aumento significativo na emissão de hidrocarbonetos totais (THC) pela emissão de metano não queimado. A introdução de sistemas de controle mais eficientes, alterações no sistema de injeção de gás e aprimoramento do mapeamento do motor são algumas das rotas que podem ser exploradas para atenuação destes problemas. O uso de sistemas de pós-tratamento também é uma opção a ser considerada, embora envolva o desenvolvimento de equipamentos específicos, capazes de lidar eficientemente com produtos de combustão de composição bastante variável.

5. Considerações sobre Emissões

Com o aumento da densidade populacional nos grandes centros urbanos, as metrópoles mundiais passaram a sofrer problemas graves oriundos da emissão de poluentes, cuja parcela automotiva era e continua sendo muito significativa. Os Estados Unidos foram o primeiro país a estudar o problema e a implementar uma política de controle de emissões veiculares, ainda na década de 60. Em um segundo momento, os países da Europa adotaram medidas semelhantes. Hoje o controle de emissões veiculares está presente em muitos países, com diferentes graus de severidade, a depender do tamanho das frotas, impacto no meio ambiente e do nível de desenvolvimento econômico de cada país. Normalmente os países menos desenvolvidos adotam os limites americano ou europeu, porém com um cronograma defasado para dar maior tempo de adaptação às empresas do setor. Os limites de emissões de gases poluentes adotados mundialmente, tornaram-se cada vez mais restritivos e causaram impacto significativo no desenvolvimento dos motores de combustão interna, que passou a ser orientado pelo compromisso entre desempenho, consumo e emissões. Foi necessária a implementação de novos componentes no motor, muitos deles eletrônicos, e de desenvolvimentos específicos para cada família de motores, garantindo dessa forma o atendimento aos compromissos requeridos.

No Brasil o controle de emissões por veículos automotores existe desde 1986, com a criação do PROCONVE, vinculado ao IBAMA. É importante notar que a legislação de emissões apresenta limites e procedimentos diferenciados para veículos leves e veículos pesados. Veículo pesado é o veículo automotor para o transporte de passageiros e/ou carga, com massa total máxima autorizada maior que 3.856kg ou massa do veículo em ordem de marcha maior que 2.720kg. Para obtenção de autorização de comercialização no país, todo desenvolvimento de veículo leve deve contemplar ensaios de verificação de emissões e homologação em dinamômetros de chassis. Para veículos pesados o desenvolvimento e a homologação de emissões são realizados em dinamômetro de motor. Uma vez homologado o motor, o fabricante possui a autorização para comercializá-lo, seja como item separado ou montado no chassi ou veículo. Os poluentes atualmente legislados no Brasil são o CO (monóxido de carbono), THC (hidrocarbonetos totais) NO_x (óxidos de nitrogênio) e, no caso de veículos pesados, MP (material particulado). O CO₂ (gás carbônico), que contribui para o efeito estufa, atualmente ainda não é legislado para homologação de emissões. A inspeção de conformidade de produção é realizada pelo IBAMA, através da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo do Estado de São Paulo. A CETESB, neste caso, atua em todo o território nacional, e pode a qualquer momento requisitar veículos ou motores junto às montadoras para realização de ensaios para verificação de conformidade das emissões com relação aos valores limites da legislação. Os bancos de provas e equipamentos utilizados nos ensaios de emissões exigidos pela legislação são sofisticados e somente montadoras, produtores de combustíveis e alguns laboratórios especializados possuem a capacitação técnica para sua realização. Pela legislação nacional atualmente em vigor, além do controle de motores e veículos novos descrito acima, também existe o controle para veículos em circulação, muito menos rigoroso, com limites menos restritivos, que deve

ser realizado pelo Programa de Inspeção e Manutenção do DETRAN de cada estado federativo. Atualmente, este programa somente foi implementado no Estado do Rio de Janeiro. Neste controle os veículos leves são avaliados com relação a emissões de CO e HC e os veículos pesados são avaliados com relação à emissão de fumaça utilizando o opacímetro.

Deve-se alertar que no Brasil a legislação de emissões para veículos pesados contempla somente veículos dedicados originais de fábrica, deixando uma lacuna com relação às conversões. Atualmente a legislação ainda não estabelece limites para conversões de motores do ciclo Diesel para operar como Diesel-gás, nem contempla a Ottolização. No caso dos veículos leves tipo *Flex Fuel*, a legislação exige que o veículo seja ensaiado com gasolina e com álcool hidratado, devendo atender aos limites com ambos os combustíveis. Pela resolução CONAMA nº 291, nas conversões de veículos leves para gás natural, o veículo convertido deve ter um nível de emissões igual ou menor que o veículo original. Um destes caminhos poderia ser seguido pela legislação na definição dos limites de emissões para a tecnologia Diesel-gás e Ottolização. Torna-se importante que as autoridades competentes preencham esta lacuna para o desenvolvimento sustentável do segmento.

A redução das emissões de poluentes sempre é destacada como uma das vantagens da substituição do óleo Diesel pelo gás natural em aplicações automotivas. Deve-se ter cuidado com tal afirmação, pois esse fato não é verdade absoluta para todos os poluentes emitidos. A grande vantagem da substituição do Diesel pelo gás natural é a significativa redução de MP nas emissões de escapamento, praticamente eliminando a fumaça negra característica dos motores Diesel. O impacto da redução de MP na qualidade do ar dos grandes centros urbanos é muito importante. O MP é o poluente que apresenta efeitos adversos mais consistentes à saúde humana, seja em estudos epidemiológicos como também em avaliações experimentais. Estudos de acompanhamento de grande número de pessoas por longos períodos de tempo apontaram que o MP é o contaminante atmosférico que mais se relaciona com redução da expectativa de vida por doenças cardíaco-respiratórias e câncer do pulmão. Estudos realizados na região metropolitana de São Paulo mostram a representatividade do MP10 (material particulado com diâmetro inferior a 10µm) nas emissões de MP. Esse estudo, ainda em curso no Laboratório de Poluição Atmosférica da Faculdade de Medicina da USP, coordenado pelo Professor Paulo Saldiva, e que utiliza dados da CETESB, estima que 50% do MP10 sejam advindos de veículos automotores. Como as estimativas de efeitos crônicos de poluição do ar sobre a saúde humana trabalham com a referência de MP2,5, existe um fator de conversão recomendado pela Organização Mundial de Saúde. As concentrações atuais de MP2,5 na região metropolitana de São Paulo estão em torno de 20µg/m³ (média anual). A tendência internacional para o padrão anual de MP2,5 é que este seja estabelecido ao redor de 10µg/m³. No entanto, do ponto de vista da saúde pública, quanto menor for a concentração de MP2,5 melhor.

A redução dos demais poluentes legislados (THC, NOx e CO) dependerá dos patamares tecnológicos dos motores e “kits” de conversão, havendo a tendência de aumento de THC, devido à presença do metano (CH₄) não queimado, que não é tóxico, porém contribui para o efeito estufa. Também existe a tendência de redução de CO₂, devido a menor relação carbono-hidrogênio do gás natural. Observa-se que o aumento nas emissões de metano (CH₄), incluído nos THC, não chega a comprometer o benefício da redução do CO₂, uma vez que apesar do CH₄ ser cerca de vinte vezes mais ativo que o CO₂ como gás de efeito estufa, a sua concentração no escapamento é mais de mil vezes menor.

Para que se aproveite o potencial para redução de poluentes devem ser considerados os aspectos de emissões no desenvolvimento da aplicação. No passado, quando as legislações na área de emissões veiculares não existiam ou eram pouco restritivas, com relação aos limites estabelecidos para controle, os motores de combustão interna (ciclo Diesel ou Otto) destinados à aplicação automotiva, não possuíam muita eletrônica embarcada. O desenvolvimento de um motor era pautado principalmente no desempenho e em segundo plano no consumo (o foco na redução de consumo foi se acentuando com a evolução do preço internacional do barril de petróleo). Portanto, não havia maiores exigências de sofisticação eletrônica nos sistemas de alimentação dos veículos, uma vez que componentes mecânicos bem calibrados atendiam aos requisitos de desenvolvimento a custos bem menores. Hoje isto não é mais possível, carecendo desenvolvimentos mais criteriosos com equipamentos mais sofisticados para atender aos compromissos entre desempenho, consumo e emissões.

6. Oportunidades

A inserção do GNV no segmento de transporte público por ônibus urbanos representa a oportunidade para o Brasil equacionar em parte alguns dos problemas existentes atualmente no sistema de transporte das grandes cidades brasileiras, tais como melhoria da qualidade do ar, conforto dos veículos e redução do número de veículos circulantes. Um programa de nível federal, com apoio de estados e municípios, com incentivos que ajudem a vencer as barreiras naturais de introdução de novas tecnologias no mercado, pode ser a base para esta melhoria, em decorrência do estímulo ao uso do transporte coletivo e sua evolução qualitativa. Pesquisa realizada em 2004 e apresentada pelo Ministério das Cidades, mostra que apenas 29% dos deslocamentos urbanos são feitos através de ônibus. Os

Ministérios das Cidades e de Minas e Energia estão atentos para a criação de um programa que insira o gás natural no transporte. Os veículos projetados para o GNV são em geral mais silenciosos, reduzindo o problema do ruído nas grandes cidades e melhorando o nível de conforto para os passageiros.

Em março de 2005 foi assinado um Termo de Cooperação técnica e institucional, que tem como objetivo, através da união entre o Ministério das Cidades, o Ministério de Minas e Energia e a Petrobras, a realização de ações conjuntas para a ampliação do uso do gás natural para o transporte de passageiros nos municípios e regiões metropolitanas brasileiros. O termo, cujo prazo de vigência é de 4 anos, também visa otimizar a infra-estrutura energética do país, reduzir o custo dos combustíveis na composição do custo total dos serviços de transportes prestados à população, contribuir para uma melhoria da qualidade ambiental urbana das cidades e definir políticas de estímulo ao uso do gás natural.

Em outubro de 2005, foi assinado um Protocolo de Intenções entre o Governo do Estado de São Paulo e a Petrobras, para realizar ações conjuntas visando à ampliação do uso do gás natural no Estado de São Paulo, em especial no segmento de transportes. No segmento automotivo o programa inclui a instalação de um ECOposto (para fornecimento entre outros combustíveis, de gás natural, além de treinamento de equipes) e incentivos para intensificar a conversão da frota de ônibus urbanos do Estado de São Paulo. O programa paulista conta com grande apoio das indústrias e dos usuários e agora aguarda decisões políticas como, por exemplo, redução de IPVA para ônibus particulares, redução do ICMS e do IPI. O BNDES deverá promover uma política de financiamento quando da substituição dos ônibus. Em primeiro momento, tais ações tornam-se necessárias para equilibrar os custos devido à ausência de economias de escala para os ônibus a GNV.

A Petrobras também incluiu em seu plano estratégico, no período de 2004-2010, investimentos superiores a US\$ 5 bilhões no Estado de São Paulo, nas áreas de exploração e produção, refino, petroquímica, transporte, distribuição, gás e energia, para intensificar os trabalhos exploratórios na Bacia de Santos e ampliar a produção de gás natural.

7. Conclusões

O artigo descreve as três rotas tecnológicas existentes para aplicação do GNV em veículos pesados, incluindo conceitos, algumas experiências no Brasil e no mundo e os desafios tecnológicos que ainda se apresentam. Esses desafios se encontram na adequação de algumas das tecnologias apresentadas às características dos motores e do mercado nacional, incluindo o atendimento dos limites de emissões de poluentes atuais e futuros legislados para o Brasil. São tecidos comentários sobre o programa de controle de emissões automotivas no Brasil e, dentro desse contexto, é evidenciado, de forma realista, o papel do GNV aplicado em veículos pesados na melhoria das condições ambientais dos grandes centros urbanos. Algumas das oportunidades que se apresentam são relatadas, mostrando o momento propício para, a partir da inserção do GNV, equacionar alguns dos problemas existentes no segmento de transporte público de passageiros das grandes cidades. Neste primeiro momento, incentivos são necessários para equilibrar os maiores custos advindos da falta de economias de escala dessas aplicações, o que já vem sendo estudado pelas esferas governamentais. O Brasil foi o pioneiro no uso em larga escala de combustíveis veiculares alternativos aos derivados de petróleo e já se destaca mundialmente pelo uso do GNV em veículos leves. A oportunidade de tornar-se uma referência também no uso do GNV em veículos pesados não deve ser desprezada, tendo em vista os movimentos internacionais neste sentido, através do desenvolvimento tecnológico e da criação de programas governamentais.

8. Referências

- MACHADO, G. B., MELO, T. C. C., LASTRES, L.F. M., Panorama of natural gás usage in heavy duty vehicles in Brazil, In: *SAE 2005 Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition, Brazil, May, 2005*.
- SANTOS, E. M., Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano-Estágio Atual, Perspectivas e Dificuldades, Relatório Técnico, Março de 2003.
- FILHO, O. C., Gás Natural-Expandindo o uso no mercado automotivo. Em: *Seminário-“Combustíveis, Lubrificantes e Aditivos: Panorama Automotivo do Brasil”*, Brasil: AEA, Março, 2005.
- CEG, CEG e CIVIC lançam primeiro ônibus movido a Diesel e GNV do Brasil. Disponível em: http://www.gasnet.com.br/novo_atualidades.asp?cod=421. Acesso em: 10 de maio de 2006.