

Ônibus urbano a GNV: cenário brasileiro

Natural gas fueled city buses: a Brazilian scenarium

Autobus urbano a GNV: panorama brasileño

Guilherme Bastos Machado
Tadeu Cavalcante Cordeiro de Melo
Luiz Fernando Martins Lastres

Resumo

palavras-chave: ■ gás natural veicular ■ ônibus urbano ■ Brasil

O uso do gás natural veicular (GNV) no Brasil começou na década de 80 visando à substituição do óleo diesel em veículos pesados devido à crise do petróleo. Nessa época, a Petrobras participou, junto com outras empresas, do desenvolvimento de tecnologias de conversão para a substituição parcial do diesel por gás natural por meio de sistemas conhecidos como diesel-gás. Foram feitos trabalhos de desenvolvimento em banco de provas de motores e testes de campo em algumas empresas de ônibus, verificando-se a viabilidade técnica e econômica desse tipo de conversão. Devido a fatores tais como atenuação da pressão sobre o preço internacional do barril de petróleo, pequena malha de distribuição de gás natural no Brasil, falta de infra-estrutura de suporte técnico adequado para as conversões e falta de cultura no uso do gás natural o programa não avançou e a experiência foi interrompida. Em paralelo, outras experiências foram conduzidas no Brasil com a utilização de motores dedicados a gás natural (ciclo Otto), que foram desenvolvidos e fabricados no país para utilização em ônibus urbano. Atualmente existe um cenário mundial de diversificação da matriz energética e o uso do gás natural em ônibus urbanos, substituindo parcialmente a frota de ônibus a diesel, assume uma dimensão mais realista devido aos seguintes fatores: a) aumento da malha de distribuição de GNV nos grandes centros, devido ao elevado crescimento da frota de veículos leves a GNV no país, resolvendo em parte os problemas de logística do passado; b) pressões dos órgãos ambientais por valores de emissões de particulados e por valores de gases poluentes cada vez menores nos grandes centros urbanos; c) perspectivas futuras de disponibilidade regular de gás natural no mercado nacional, devido à descoberta de novas reservas no Brasil e importação de gás natural liquefeito (GNL), diminuindo a dependência do gás importado da Bolívia. A Petrobras vem trabalhando na expansão do mercado de GNV focando na aplicação em ônibus urbanos nas grandes cidades que já possuam disponibilidade de gás natural. Isto ajudará a aliviar a pressão sobre a demanda de óleo diesel no país e não irá comprometer o fornecimento de gás aos demais setores industriais.

Abstract

keywords: ■ natural gas for vehicles ■ urban bus ■ Brazil

The use of natural gas for vehicles (NVG) in Brazil started in the '80s as a result of the petroleum crisis in order to replace diesel oil in heavy vehicles. At the time Petrobras participated, jointly with other companies, in the development of conversion technologies to partially replace diesel by natural gas by means of systems known as diesel-gas. Development studies were made on engine testbeds and field tests were conducted in some bus companies to see the economic and technical feasibility of this type of conversion. Due to factors such as the lowering of the pressure caused by international oil barrel prices, the reduced natural gas distribution network in Brazil, the lack of adequate technical support infra-structure for the converted vehicles and the insufficient habit of using natural gas the program did not progress and the experiment was dropped. Other experiments were conducted in parallel in Brazil using engines built to run of natural gas (Otto cycle), that were developed and manufactured in the country to be used in urban buses. Presently the scenario is auspicious for incentives to the use of natural gas-powered city buses due to the following reasons: a) the development of the natural gas distribution network in the main urban centers as a consequence of the fast increase in the fleet of light-duty vehicles fuelled with natural gas, in the country, which has partially solved the logistics problems of the past; b) the pressure put on by environmental agencies for increasingly reduced particle emissions and gas pollution from motor vehicles in the main urban centers; c) the prospect of a greater availability of natural gas in the domestic market as a result of the import agreements signed with Bolivia and the discovery of new gas reserves in Brazil; d) the partial replacement of diesel imports which has led to an improvement in the country's trade balance. Petrobras has been working to expand the natural gas market for vehicles focusing on the fuelling of city buses in great urban centers where natural gas is already available. This will help relieve the pressure on the demand for diesel oil in the country and will not affect the supply of gas to other industrial sectors.

Resumen

palabras clave: ■ gas natural vehicular ■ autobus urbanos ■ Brasil

El uso del gas natural vehicular (GNV) en Brasil se inició en la década de 1980 debido a la crisis del petróleo, y tenía por objetivo sustituir el petróleo diesel utilizado en vehículos pesados. En aquella época Petrobras participó, junto con otras empresas, en el desarrollo de tecnologías de conversión para sustituir parcialmente el diesel por gas natural a través de sistemas conocidos como sistemas duales diesel/gas. Se realizaron trabajos de desarrollo en banco de pruebas de motores y ensayos de campo en algunas empresas de autobuses, verificándose la viabilidad técnica y económica de este tipo de conversión. Debido a factores, tales como la atenuación de la presión sobre el precio internacional del barril de petróleo, una pequeña red de distribución de gas natural en Brasil, la falta de infraestructura de soporte técnico adecuado para las conversiones y la poca cultura en el uso del gas natural, el programa no avanzó y la experiencia fue interrumpida. Paralelamente, se condujeron otras experiencias en Brasil con la utilización de motores dedicados a gas natural (ciclo Otto), que se desarrollaron y fabricaron en el país para la utilización en autobuses urbanos. Actualmente, existe un escenario favorable al retorno e incentivo del uso del gas natural en autobuses urbanos por los siguientes factores: a) aumento de la red de distribución de GNV en los grandes centros urbanos, debido al elevado crecimiento de la flota de vehículos ligeros movidos a GNV en el país, resolviendo en parte los problemas de logística del pasado; b) presiones de los organismos ambientales que exigen valores de emisiones de particulados y de gases contaminantes cada vez menores en los

grandes centros; c) perspectivas de maior disponibilidade de gás natural em el mercado nacional, debido a los contratos de importación de gás natural firmados con Bolivia y el descubrimiento de nuevas reservas de gás en Brasil; d) substitución parcial de la importación de diesel, mejorando la balanza comercial del país. Petrobras viene trabajando en la expansión del mercado de GNV, concentrándose en su aplicación en autobuses urbanos de grandes ciudades que ya poseen disponibilidad de gás natural. Esto ayudará a aliviar la presión sobre la demanda de petróleo diesel en el país y no comprometerá el suministro de gás a los demás sectores industriales.

Introdução

Sabe-se que, tecnologicamente, tanto a aplicação do diesel-gás como a de motores do ciclo Otto dedicados ao gás em veículos pesados são conhecidas no setor automotivo. Entretanto, a nível mundial, sua utilização no mercado de transporte de passageiros e de carga reduz-se a experiências em escala ainda reduzida, não sendo diferente no mercado brasileiro. São apresentadas aqui algumas experiências com a tecnologia diesel-gás e com o motor dedicado a GNV em ônibus urbanos no Brasil, identificando-se alguns fatores que dificultam um uso mais efetivo e uma difusão maior dessas tecnologias. São fornecidas algumas recomendações para se aumentar e se difundir o uso do gás natural no segmento de transporte urbano de passageiros, visando incrementar a substituição do diesel. Também são analisados alguns aspectos relacionados à emissão de poluentes.

Tecnologia diesel-gás

Conceitos

O conceito da tecnologia diesel-gás tem sua base na utilização do motor original do ciclo diesel e na queima combinada do gás natural com o óleo diesel. Realiza-se por meio da instalação de um *kit* que faz uma adaptação do motor original sem modificações estruturais, mantendo-se um ciclo de funcionamento mais eficiente. Nessa aplicação, o débito (consumo) de diesel é reduzido a uma injeção piloto, responsável pelo início da combustão do gás natural que, por sua vez, entra no cilindro do motor previamente misturado ao ar. O diesel, entrando em contato com o ar no interior do cilindro, sofre uma elevação de sua temperatura e de sua pressão devido à compressão do pistão, dessa forma, inflama-se e funciona como a fonte de ignição da mistura ar mais gás natural.

Dentre os benefícios do sistema diesel-gás, destaca-se a flexibilidade para utilização de diesel puro ou de diesel mais gás, o que flexibiliza o abastecimento do veículo e aproveita o alto rendimento do motor diesel (em torno de 35%, contra cerca de 28% do ciclo Otto). A opção de se operar o motor somente com diesel, permitida pelo *kit*, facilita a posterior revenda do veículo para uma região sem infra-estrutura de abastecimento de gás.

Kits de conversão

Os *kits* de conversão diesel-gás passaram por uma evolução tecnológica ao longo dos anos, seguindo a evolução tecnológica dos motores. Tal evolução foi norteadada, principalmente, pela necessidade de atendimento de requisitos de legislações ambientais. Isto é constatado nas gerações listadas a seguir:

- 1ª geração: os sistemas de primeira geração eram mecânicos, sendo a proporção de ar mais gás dosada por um *venturi* calibrado e a quantidade de diesel ajustada mecanicamente. O índice de substituição do diesel pelo gás era baixo;
- 2ª geração: o *kit* de segunda geração ainda apresentava o *venturi* calibrado na alimentação de gás natural, porém o diesel era dosado eletronicamente;
- 3ª geração: no *kit* de terceira geração, o sistema possuía controle eletrônico das injeções de diesel e de gás, sendo também *closed-loop*, ou seja, a formação da mistura também era controlada em função de um monitoramento das condições dos gases de escapamento;
- 4ª geração: a quarta geração, ainda em pesquisas, emprega um injetor único para as injeções piloto de diesel e de gás.

Cabe ressaltar que o desenvolvimento de um *kit* diesel-gás é específico para o motor em que será aplicado, sendo assim, esses *kits* não são intercambiáveis com diferentes motores e requerem uma otimização criteriosa para atingir desempenho satisfatório com emissões reduzidas. Sem tal desenvolvimento específico para o motor de aplicação, o potencial de redução de emissões, com o gás natural substituindo parcialmente o óleo diesel, não se concretiza. Quanto mais sofisticado o *kit*, mais altos são os custos envolvidos no desenvolvimento e mais caro será também o produto final.

Experiência da Petrobras em conversões diesel-gás

Histórico

Devido à crise do petróleo do início dos anos 80, surgiram ações no âmbito do Governo Federal no sentido de desenvolver meios para substituição do óleo diesel pelo gás natural. Com esse intuito, foram criados o Plano Básico Nacional de Gás Combustível, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e o Plano para Implantação de Frotas de Ônibus, coordenado pelo Ministério dos Transportes.

Seguindo a orientação do Governo Federal, a Petrobras criou um grupo de trabalho, sob a coordenação de seu Serviço de Planejamento, com o objetivo de analisar as possibilidades técnica, econômica e comercial para utilização de gás natural como substituto do óleo diesel em veículos coletivos na área do Rio de Janeiro.

No âmbito da Petrobras, as ações foram assim divididas:

- levantamento de frotas de veículos, avaliação de consumos e localização de postos – responsabilidade da BR Distribuidora;
- definição do sistema de abastecimento – responsabilidade do Abastecimento;
- definição dos sistemas de conversão – responsabilidade do Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes).

Nessa época, a tecnologia de conversão de veículos leves já era de domínio público, porém, para veículos pesados a tecnologia estava restrita a centros de pesquisa e fabricantes de sistemas de conversão na Itália.

Testes realizados no Cenpes

Num período em que a legislação de controle de emissões no país não era muito restritiva, as principais premissas que deveriam nortear a conversão de motores eram a obtenção de desempenhos semelhantes com rendimentos superiores, quando comparados com o sistema original. Devia-se ter também o cuidado de observar os limites estabelecidos pelos fabricantes para os componentes do motor.

Havia preocupações com relação às taxas de elevação de pressão no interior da câmara de combustão (com possíveis picos de pressão), preocupação com a temperatura dos bicos injetores e com a detonação, tendo em vista as maiores taxas de compressão dos motores diesel em relação aos motores do ciclo Otto e a diferença nos processos de combustão pré-misturada (gás natural mais ar) e combustão difusiva (diesel mais ar).

Pode-se dividir, cronologicamente, o trabalho realizado no Cenpes em três fases:

1ª fase

No período de 1983 a 1985 foram avaliados, em banco de provas e em veículos, sistemas de conversão de três empresas italianas e de uma empresa nacional. Os *kits*, totalmente mecânicos (1ª geração), eram adaptações de aplicações já existentes para veículos leves e foram testados em um motor Mercedes-Benz OM 352 aspirado.

Nos ensaios em banco de provas, foram obtidos desempenhos semelhantes de torque e de potência em relação ao diesel, com rendimentos semelhantes ou superiores em plena carga e inferiores nas cargas parciais. Os picos de pressão foram semelhantes aos do motor original a diesel. Houve redução na emissão de fumaça. As temperaturas dos bicos injetores foram mais elevadas, porém sem comprometimento para a durabilidade desses componentes.

Nos testes de campo, também foram obtidos desempenhos semelhantes ao motor original a diesel, com índice de substituição médio de 70% de óleo diesel por gás natural, entretanto com energia consumida 15% maior.

No acompanhamento de frota, realizado em junho de 1985, 18 veículos percorreram 210 000 km, com índice de substituição de óleo diesel por gás natural variando de 40 a

70% e com redução na emissão de fumaça, porém com aumento de 20% na energia consumida.

2ª fase

No período de 1985 a 1986, foram realizados testes em motor OM 352 A (turbo-alimentado) com um *kit* de 1ª geração fabricado por empresa brasileira.

Nos testes em banco de provas, foram obtidos desempenhos semelhantes em relação ao diesel, com substituições em torno de 65 a 85% e rendimentos superiores em plena carga, todavia inferiores em cargas parciais. Houve sensível redução na emissão de fumaça.

3ª fase

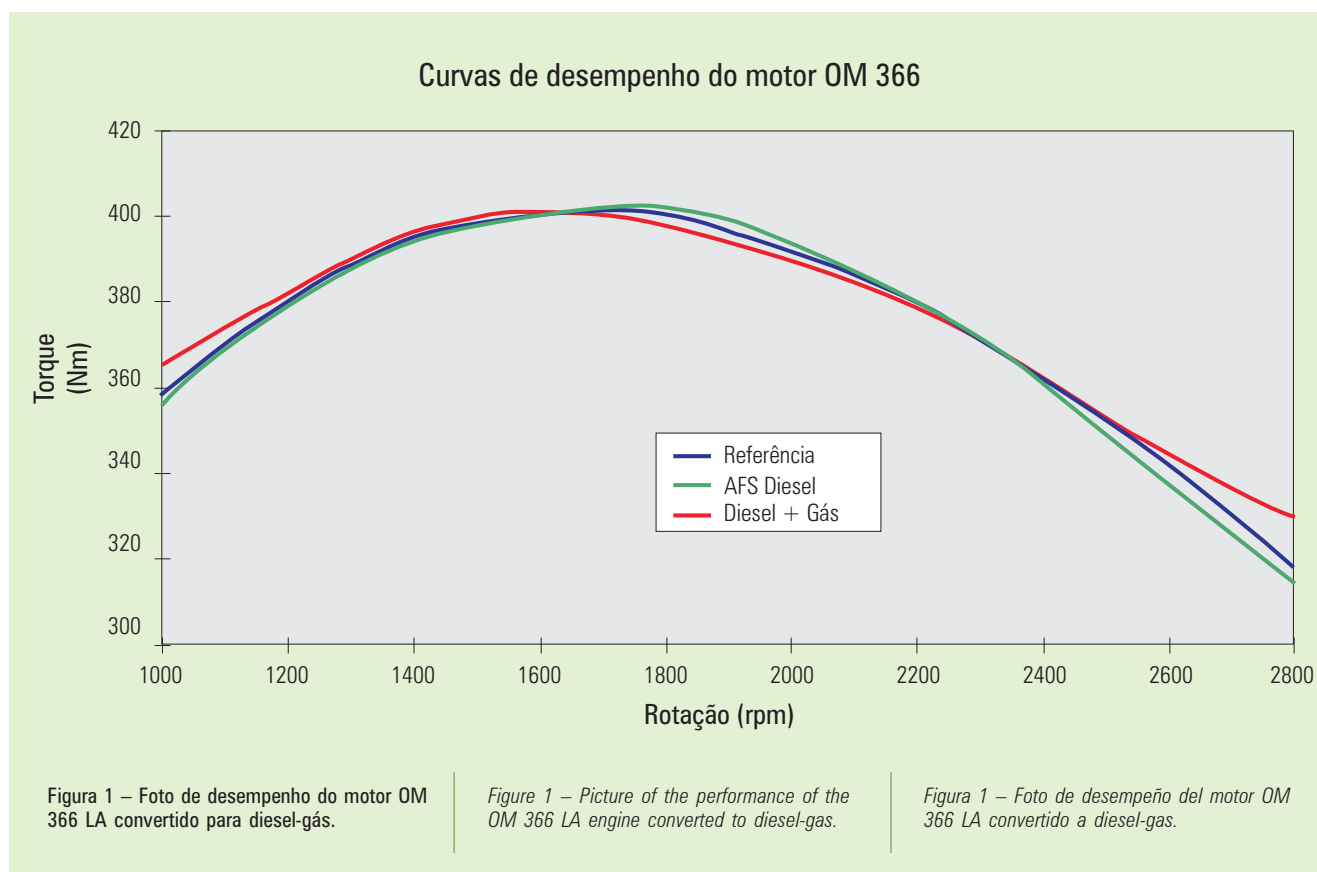
No período de 1989 a 1991, foi desenvolvido um *kit* de conversão, em parceria com uma empresa canadense, para

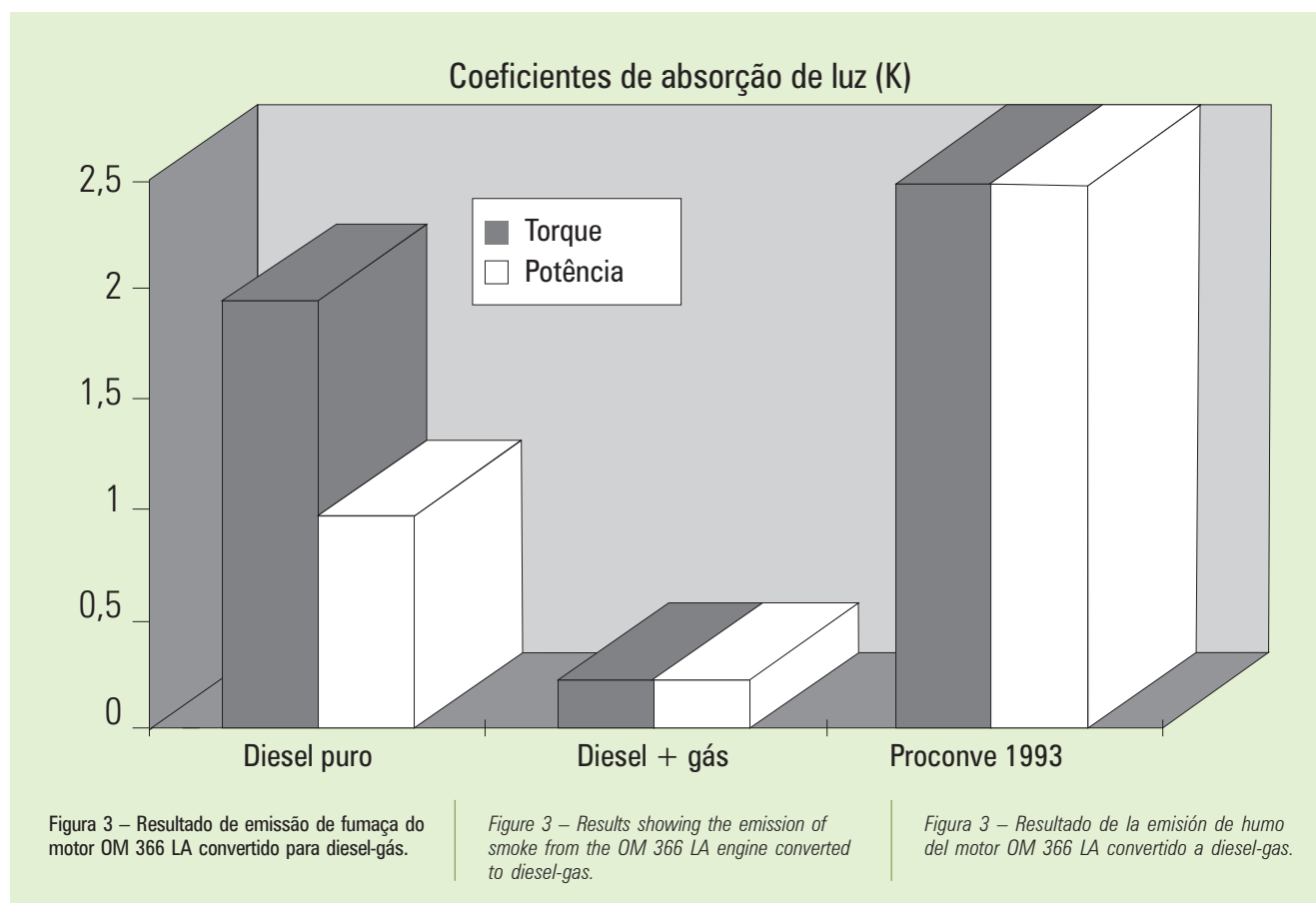
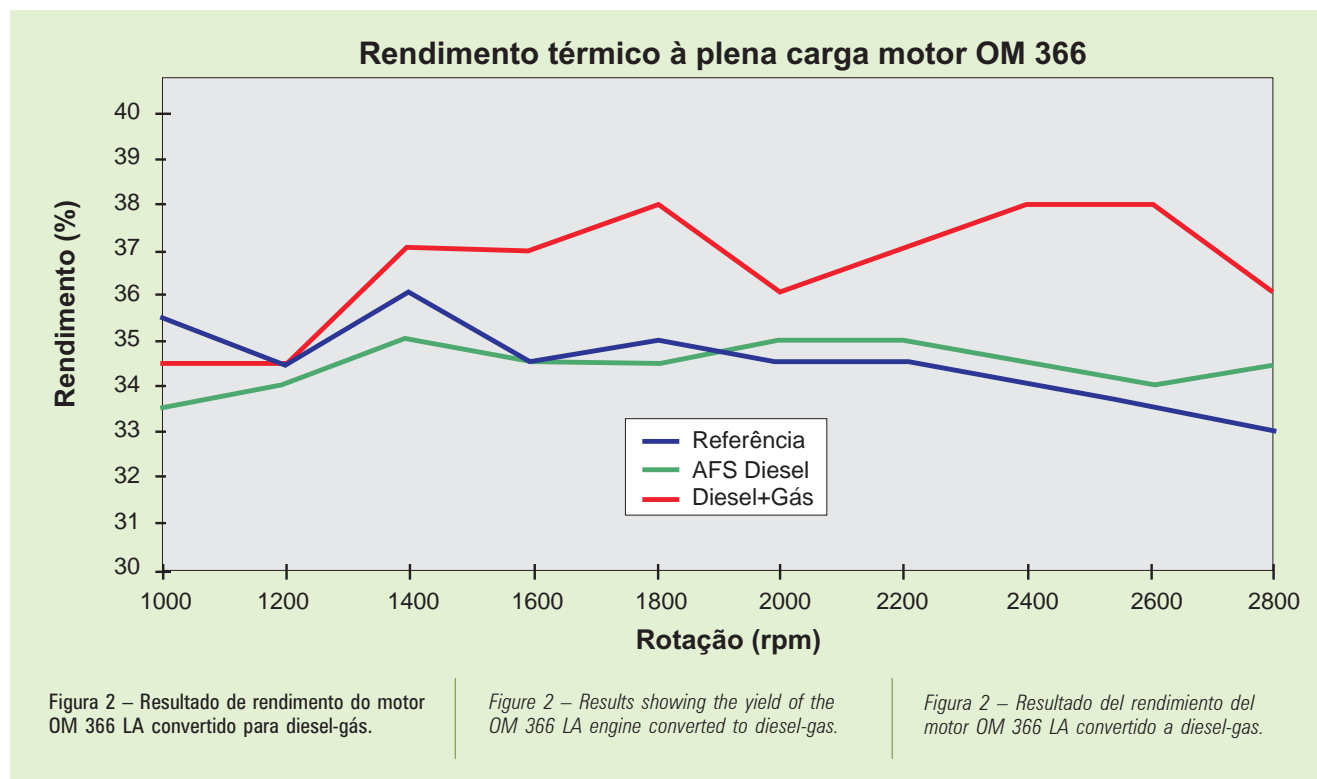
aplicação no motor Mercedes-Benz OM 366 LA.

O desenvolvimento consistiu em projeto e fabricação de componentes mecânicos, calibração de *software* de gerenciamento eletrônico do motor por meio de testes em banco de provas e, por fim, acompanhamento de campo. Pode-se dizer que esse *kit* situava-se entre a 2ª e 3ª gerações, pois já possuía controle eletrônico de alimentação do diesel e injeção de gás natural, mas sem controle em malha fechada da mistura.

Nos testes em banco de provas, foram obtidos desempenhos semelhantes ao diesel puro, com índices de substituição variando de 70 a 89%, rendimentos mais elevados e redução nas emissões de particulados.

Nas figuras 1, 2 e 3 são apresentados os resultados de desempenho, rendimento térmico e emissão de fumaça obtidos com esse sistema.





O acompanhamento em campo foi realizado em linha urbana tradicional da cidade do Rio de Janeiro (Lins – Praça XV). Foram analisados 11 800 km em um veículo convertido de empresa de ônibus da cidade. O índice de substituição volumétrica médio foi de 72%, com equivalência operacional de 0,96 m³ de gás para um litro de diesel. A autonomia do veículo foi de 350 km e a economia global do sistema diesel-gás, considerando-se custos da época com combustíveis, foi de 17%. Portanto, os resultados obtidos com o sistema eletrônico foram mais promissores que o sistema mecânico das fases anteriores.

Devido a fatores tais como atenuação da pressão sobre o preço internacional do barril de petróleo, pequena malha de distribuição de gás natural no Brasil, falta de infra-estrutura de suporte técnico adequado para as conversões e falta de cultura no uso do gás natural, o programa não avançou e a experiência foi interrompida.

Cenário internacional da tecnologia diesel-gás

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.

Experiência no Brasil com 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 e este a preços sempre crescentes.

As iniciativas da época, em 1983, à conversão de alguns veículos para operação com diesel mais gás. Sendo pequena a oferta de gás na cidade de São Paulo nessa época, estabeleceu-se que os ônibus operariam com o biogás do aterro sanitário de Santo Amaro. A frota experimental circulou até 1986, quando o programa foi desativado devido tanto à redução dos preços do petróleo quanto à crise econômica do país. Em paralelo, uma montadora multinacional presente no Brasil, apostando em potencial de mercado de médio e de longo prazo, prosseguiu no desenvolvimento de um motor a gás do ciclo Otto. O Plano Nacional do Gás Natural (Plangás), 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. É sabido que a cidade de São Paulo, grande metrópole mundial, sempre teve problemas com a qualidade do ar. Com a implementação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) em 1986, iniciou-se uma “corrida” 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.

Em 1991, foi aprovada em São Paulo a Lei Municipal nº 10 950 que estabelecia um prazo de dez anos para que as empresas de ônibus do município substituíssem os ônibus ou os motores a diesel por outros movidos a gás natural.

No início da década de 90, a Companhia Municipal de Transportes Coletivos (CMTC) adquiriu 60 ônibus com motores Otto dedicados ao gás natural. A frota operou até 1993, revelando, porém, uma série de dificuldades técnicas. Ao final de 1996, quando apenas a 1ª geração de motores dessa montadora estava disponível, somente cerca de 100 ônibus eram alimentados com gás natural, indicando falta de atratividade para implantação do programa.

A Lei Municipal nº 12 140, a “Segunda Lei do Ônibus a Gás na cidade de São Paulo”, foi promulgada em 1996, ampliando de 2001 para 2007, o prazo para substituição de toda a frota, com um cronograma mais cadenciado. Esta nova lei atribuiu a responsabilidade para a elaboração e a implementação de um Plano de Alteração de Combustível (PAC), com intuito de concretizar o programa à empresa São Paulo Transportes S.A. (SPTrans). Tal empresa ficou encarregada da gestão do transporte coletivo no município.

Nesse período, a montadora multinacional já disponibilizava ao mercado um motor a gás de 2ª geração. Apesar da expectativa em torno de um equipamento confiável, na prática, alguns componentes tiveram problemas de durabilidade, como foi o caso da turbina. Outros problemas verificados com frequência foram o superaquecimento do motor e defeitos no sistema elétrico.

Paralelamente, não havia uma rede de distribuição de gás adequada. A SPTrans exigia que as companhias de ônibus implementassem o seu próprio sistema de abastecimento, sempre que fosse previsto o atendimento de uma frota mínima de 100 ônibus a gás. Procurava-se com essa medida evitar pontos de abastecimentos centralizados, com conseqüentes complicações no já caótico tráfego do município. As exigências da SPTrans, contudo, acabaram impondo custos adicionais para as companhias de ônibus.

Os custos de aquisição dos veículos a gás também eram superiores em relação ao diesel. Em 1999, por exemplo, essa diferença estava em torno de 40%. Os custos com combustível também não eram atrativos para a substituição dos ônibus. Dependendo do diferencial de preços praticados entre o gás natural e o diesel, subsidiado na época, custos adicionais eram imputados aos empresários do setor.

Outro fator que pesou desfavoravelmente para o ônibus a gás em relação ao a diesel foi seu custo mais alto de manutenção. A maior sensibilidade do equipamento proporcionava uma frequência mais elevada de quebras, mesmo considerando uma frota a gás com idade média inferior que a frota a diesel.

De acordo com a legislação de São Paulo, os ônibus com mais de dez anos de uso deviam ser substituídos por novos. Como sua grande maioria era revendida para cidades menores, do interior, a incipiente disponibilidade de gás nessas cidades representava mais uma barreira para o ônibus a gás.

No contexto em que o PAC atuou em São Paulo, o ônibus a gás mostrou-se pouco competitivo em relação ao diesel para as companhias de transporte urbano. Representava custos adicionais que não foram considerados nas tarifas e nem em subsídios, uma vez que não eram reconhecidos pela Prefeitura.

A partir do ano de 2000, o PAC estagnou definitivamente. As empresas de ônibus não se sentiam obrigadas a cumprir as ordens de serviço emitidas pela SPTrans para substituição de seus ônibus a diesel pelos movidos a gás natural. A quantidade total de ordens de serviço emitidas pela SPTrans foi cerca de 1 300, porém a distância entre o previsto e o realizado foi grande. As empresas de ônibus, muitas vezes, apelavam na justiça contra as ordens de serviço, alegando que a Prefeitura não poderia forçar o concessionário a fazer investimentos que levariam ao seu colapso financeiro.

Considerações sobre emissões

A redução das emissões de poluentes sempre é destacada como uma das vantagens da substituição do 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 material particulado (MP) nas emissões de escapamento, praticamente eliminando a fumaça negra característica dos motores a diesel. O impacto da redução de MP na qualidade do ar dos grandes centros urbanos é muito importante. A redução dos demais poluentes legislados – hidrocarbonetos totais (THC), óxidos de nitrogênio (NOx) e monóxido de carbono (CO) – dependerá dos patamares tecnológicos dos motores e dos kits de conversão, havendo a tendência de redução dos hidrocarbonetos tóxicos não-metanos (NMHC), porém com aumento de THC, devido à presença do metano (CH₄) não-queimado. O CH₄ não é tóxico, porém contribui para o efeito estufa. Também existe a tendência de redução de gás carbônico (CO₂), devido à menor relação carbono-hidrogênio do gás natural. O CO₂, gás de efeito estufa, ainda não é legislado no Brasil. Observa-se que o aumento nas emissões de 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 os veículos pesados novos a GNV, produzidos a partir de

Janeiro de 2007, os limites para THC são substituídos por limites para os NMHC e CH₄.

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 pelo desempenho e, em segundo plano, pelo consumo (o foco na redução de consumo foi se acentuando com a evolução do preço internacional do barril de petróleo). Portanto, não havia grandes 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 mais baixos.

Com o aumento da densidade populacional nos grandes centros urbanos, as metrópoles mundiais passaram a sofrer problemas graves oriundos da emissão de poluentes. Em tais metrópoles, a parcela automotiva era e continua sendo muito significativa. Os Estados Unidos foi 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, do impacto no meio ambiente e do nível de desenvolvimento econômico de cada país. Normalmente, os países menos desenvolvidos adotam o limite americano ou europeu, porém com um cronograma defasado para dar mais 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.

Cenário brasileiro atual

Mercado

O substancial crescimento da participação do gás natural como substituto da gasolina em motores do ciclo Otto de veículos leves é uma realidade no eixo Rio-São Paulo. Como consequência, hoje já existem mais de mil postos de abastecimento de gás natural no país, a maior parte deles na região Sudeste, para atendimento de uma frota acima de um milhão de veículos leves.

O crescimento acelerado das conversões em veículos leves teve uma motivação puramente econômica, pois foi baseada no diferencial de preço favorável ao gás natural em relação à gasolina nos últimos anos e no baixo custo das conversões (abaixo de US\$ 1 000) relativo ao retorno do investimento com a economia de combustível. Cabe observar que a maioria dessas conversões de baixo custo não consegue atender aos requisitos legais de emissões exigidos no país, e o poder público deve ter maior rigor na fiscalização para coibir conversões de baixa qualidade técnica.

Considerando-se o perfil de produção de derivados no Brasil, voltado para a maximização de óleo diesel em virtude de históricos incentivos e investimentos para o transporte rodoviário, e levando-se em conta a necessidade de importação parcial desse combustível para atender sua demanda, estrategicamente, para o Brasil é mais interessante a utilização do gás natural como substituto do diesel comparativamente com a gasolina.

Se analisada a possibilidade da utilização do gás natural como combustível para veículos pesados originalmente a diesel (no Brasil não é permitida a comercialização de veículos leves a diesel), o aspecto econômico é peculiar, pois o diferencial de preços do gás natural em relação ao diesel é menor e os custos de conversão diesel-gás ou do veículo dedicado ao gás são mais elevados.

Outra questão importante para a criação de condições mais propícias à difusão do gás natural no segmento de ônibus urbanos seria a manutenção do diferencial de preços entre o gás natural e o diesel em patamares atrativos. Para isto, deve-se considerar o tempo de retorno dos investimentos na conversão de veículos usados ou na aquisição de veículos novos

mais caros (um ônibus dedicado a gás natural continua custando atualmente cerca de 40% mais caro que seu similar a diesel). Pode-se pensar também em algum tipo de incentivo fiscal na aquisição de veículos novos movidos a gás natural ou ainda na renovação das licenças dos veículos usados dedicados ao gás ou convertidos para diesel-gás. Vantagens no período das concessões para as empresas de transporte público e preços das tarifas também são aspectos que poderiam ser trabalhados. Caso não haja viabilidade econômica, o empresariado do setor de transportes tende a não trocar a tecnologia diesel, já consagrada em décadas de utilização e perfeitamente dominada, por outras ainda incipientes e que requerem um tempo natural de maturação.

A área da Petrobras de desenvolvimento de mercado para o gás natural veicular vem trabalhando com determinação junto às esferas dos governos federal, estadual e municipal e também junto às empresas do segmento veicular, de transporte público e de distribuição de gás no sentido de alinhar condições mais propícias para o aumento da participação do gás natural neste segmento.

Tecnologia diesel-gás

Atualmente, não existe nenhum *kit* diesel-gás fabricado no Brasil para ser aplicado em motor nacional. O *kit* teria que ser importado, requerendo todo um desenvolvimento específico para o motor em que seria aplicado. As experiências com essa tecnologia estão sendo retomadas dentro da Petrobras. Recentemente foi avaliado um *kit* importado da China, adaptado e testado em motor nacional mais atual, com o objetivo de se avaliar o seu nível de desenvolvimento tecnológico. Apesar do *kit* possuir sistema de gerenciamento eletrônico, não foi possível o enquadramento nos limites de emissões do Brasil. Existe, no momento, um projeto para se identificar e avaliar *kits* comerciais de outros países, que possuam patamares tecnológicos adequados e com potencial para atendimento aos limites de emissões brasileiros.

Está sendo realizado projeto em parceria com instituição universitária para o desenvolvimento de um *kit* diesel-gás nacional, a ser aplicado em motor nacional mais atual. O objetivo do projeto é o desenvolvimento de um protótipo que poderá ser apresentado a fabricantes interessados na produção de tal equipamento. O maior desafio tem sido o enquadramento dos hidrocarbonetos totais (THC) e do monóxido de carbono

(CO) nos limites de emissões correspondentes ao patamar tecnológico do motor original a diesel. Na tentativa de enquadramento, além dos controles eletrônicos da dosagem de diesel e de gás natural, também se está trabalhando no controle do ar de admissão ao motor por meio de uma borboleta eletrônica. Os resultados preliminares mostram uma evolução em relação aos resultados obtidos com o *kit* chinês, porém tal evolução ainda é insuficiente para o enquadramento de emissões.

Para a difusão do sistema diesel-gás, torna-se importante o desenvolvimento no país de produtos aplicados aos motores mais representativos do mercado nacional, com intuito de baixar os custos de conversão. Também é fundamental o envolvimento de tradicionais empresas do setor automotivo, como montadoras, sistemistas e fabricantes de autopeças, tendo em vista serem essas as empresas detentoras de *know-how* especializado, capazes de realizar desenvolvimentos de produtos considerando os requisitos exigidos por esse mercado nos menores custos e prazos. As empresas do setor têm a estrutura necessária para fornecer garantias e suporte técnico de pós-venda aos seus clientes, o que é fundamental para uma implementação efetiva dessa tecnologia no mercado. Empresas sistemistas como a Delphi e Bosch atualmente estão desenvolvendo produtos diesel-gás para o mercado nacional.

Tecnologia ciclo Otto

Considerando a tecnologia do ciclo Otto, a Petrobras realizou estudo com um ônibus a gás mais moderno, de 3ª geração, fabricado no Brasil, que operou durante dois anos na linha Irajá – Passeio, no município do Rio de Janeiro. O projeto foi concebido pelo Gás & Energia/Desenvolvimento Energético/Suporte ao Conpet (GE-DEN/SC) da Companhia e está sendo coordenado pela Gerência de Desempenho de Produtos em Motores do Cenpes, com a participação do Programa Tecnológico de Gás Natural (Progas), a partir de um convênio firmado entre a Petrobras, o Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiros do Município do Rio de Janeiro (Rio-Ônibus) e a Petrobras Distribuidora.

Os resultados do projeto 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 limi-

tes mais restritivos a partir de desenvolvimentos específicos. Considerando-se os preços praticados ao longo da operação do veículo (2004-2006) 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. Existe ainda um potencial de aumento desta vantagem a favor do gás prevenindo a redução do seu preço com abastecimento disponibilizado na garagem do frotista. O custo de manutenção do veículo é mais elevado, carecendo um maior envolvimento do fabricante para dar mais robustez ao produto, o que poderia acontecer se esta aplicação fosse prioridade dentro da montadora e isto, por sua vez, depende de uma demanda mais forte do produto pelo mercado. Este veículo, por falta de incentivo, deixou de ser fabricado em Dezembro de 2006, devido à entrada em vigor de novos limites de emissões para veículos pesados a GNV, em Janeiro de 2007. 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 uma das montadoras já possui um protótipo de ônibus dedicado a gás em fase de testes no município do Rio de Janeiro.

Para a massificação do uso do gás natural no setor de transporte de passageiros por ônibus urbanos (veículos originalmente movidos a diesel), pode-se pensar em duas estratégias em paralelo. Uma delas contemplando veículos novos por meio da renovação das frotas por veículos com motores do ciclo Otto (dedicado ao gás natural e já em fabricação no Brasil na sua 3ª geração, superior às anteriores) ou mesmo veículos novos diesel-gás (ainda não fabricados no Brasil). A outra estratégia contemplaria os veículos já usados que poderiam ser convertidos para o diesel-gás. Para os veículos usados, existe também a rota da "Ottolização", que é a trans-

formação de um motor do ciclo diesel em ciclo Otto para operar com gás natural. Esta rota foi avaliada pelo Gás & Energia/Marketing & Comercialização/Tecnologia para Desenvolvimento do Mercado (GE-MC/TDM) no projeto GASBUS e também tem desafios semelhantes ao descrito anteriormente para a tecnologia diesel-gás, com relação ao atendimento da legislação ambiental do país. Recentemente, desenvolvimentos no *kit* de "Ottolização" da convertidora argentina que participou do projeto GASBUS, permitiram progressos na redução de emissões. Falta avaliar a durabilidade de emissões, já que os limites devem ser atendidos pela legislação por 160 000 km.

Conclusão

O artigo mostra que atualmente a utilização do gás natural no segmento de transporte de passageiros por ônibus urbanos passa por um amadurecimento das tecnologias e pelo envolvimento do poder público, dos produtores e distribuidores de combustíveis, dos empresários do setor de transportes. Este amadurecimento também deve contar com contribuições das empresas do setor automotivo no sentido de criar condições mais favoráveis para a substituição do diesel, de tecnologias consagradas e robustas, pelo gás natural, incluindo desenvolvimento de tecnologias, políticas de preços de combustíveis e estratégias de incentivos para uma implantação sustentada do programa.

Trabalhos estão em curso para viabilizar e difundir a utilização do gás natural no setor de transportes de passageiros por ônibus urbanos. É de se esperar que as economias de escala também contribuam para o equilíbrio dos custos envolvidos, tornando o negócio economicamente mais atrativo.



Referências Bibliográficas

- LASTRES, L. F. M. **Desenvolvimento de sistema eletrônico de conversão de motores Mercedes-Benz OM 366 para uso de gás natural.** Rio de Janeiro: Petrobras. Cenpes, 1991. Relatório técnico.
- MACHADO, G. B. **Utilização do GNV em ônibus urbano.** Rio de Janeiro: Petrobras. Cenpes, 2005. Relatório técnico DPM 011/2005.
- MACHADO, G. B.; MELO, T. C. C.; LASTRES, L. F. M. Panorama of natural gas usage in heavy duty vehicles in Brazil. In: SOCIETY OF AUTOMOTIVE

ENGINEERS. FUELS AND LUBRICANTS MEETING AND EXHIBITION, 2005, Rio de Janeiro. [Papers of the...] Warrendale: SAE International, 2005. SAE 2005012192. 8 f. 1 CD-ROM.

- MACHADO, G. B.; MELO, T. C. C.; MOREIRA, M. F.; IACCARINO, F. A.; LEÃO, R. R. C. C. Ônibus urbanos a gás natural: rotas tecnológicas, desafios e oportunidades no Brasil. In: RIO OIL AND GAS EXPO AND CONFERENCE, 13., 2006, Rio de Janeiro. **Abstracts...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2006. 8 f. IBP 1306-06.

■ MACHADO, G. B.; MELO, T. C. C.; MOREIRA, M. F.; IACCARINO, F. A.; LEÃO, R. R. C. C. Desafios e oportunidades na introdução do GNV no segmento de ônibus urbanos no Brasil. In: SEMINÁRIO DA REDE GAS ENERGIA, 2006, Rio de Janeiro. [Trabalhos apresentados no...]. Rio de Janeiro: Petrobras. RH. UC, 2006. 24 f. 1 CD-ROM.

■ SANTOS, E. M. **Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano:** estágio atual, perspectivas e dificuldades. São Paulo: s.n., 2003. 43 f. il.

■ GOLDBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization and machine learning.** Boston, Mass.: Addison-Wesley, c1989. 412 p. il.

■ HAYKIN, S. **Redes neurais:** princípios e prática. Tradução Paulo Martins Engel. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p. il.

■ REIS, E. **Estatística multivariada aplicada.** 2. ed. Lisboa: Sílabo, 1997. 343 p.

Autores



Guilherme Bastos Machado

Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes)
Gerência de Desempenho de Produtos em Motores
email: machadogb@petrobras.com.br

Guilherme Bastos Machado é engenheiro mecânico, formado pela Universidade Federal Fluminense, em 1995. Obteve Mestrado em Engenharia Mecânica, ênfase em Ciências Térmicas pela COPPE/UFRJ, em 2005. Iniciou sua carreira em 1996 na Halliburton. De 1997 a 2001 trabalhou na Fiat Automóveis S.A., atuando como engenheiro de produtos no desenvolvimento de motores do ciclo Otto. Ingressou na Petrobras em 2001 na equipe de engenharia da Gerência Desempenho de Produtos em Motores da Petrobras do Cenpes, onde atua coordenando projetos de pesquisa em desempenho de produtos nas áreas de gasolina, diesel e GNV.



Tadeu Cavalcante Cordeiro de Melo

Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes)
Gerência de Desempenho de Produtos em Motores
email: tcm@petrobras.com.br

Tadeu Cavalcante Cordeiro de Melo é consultor técnico, tendo se graduado em Engenharia Eletrônica em 1989 pela UFRJ. Participou do Curso de Especialização CENEL-II em 1989-1990 no convênio Petrobras-UFRJ e obteve grau de Mestre em Engenharia Mecânica pela COPPE/UFRJ em 2007. Iniciou sua carreira na área de exploração de petróleo em 1990 e em 1992 foi transferido para o Cenpes, onde trabalha há 15 anos no Laboratório de Ensaios Veiculares na coordenação do laboratório e de projetos de pesquisa nas áreas de gasolina, gás natural e novas tecnologias automotivas.



Luiz Fernando Martins Lastres

Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes)
Gerência de Lubrificantes e Produtos Especiais
email: lastres@petrobras.com.br

Luiz Fernando Martins Lastres é consultor sênior, tendo se formado pelo Convênio Petrobras-UFRJ (Curso de Engenharia de Equipamentos e Sistemas Industriais) em 1980. Realizou MBA – Formação de Gerentes e Diretores da Fundação Getúlio Vargas em 2000. Iniciou sua carreira na Petrobras em 1981, no Laboratório de Motores do Cenpes, onde trabalhou por 10 anos com combustíveis alternativos, dentre eles o Gás Natural Combustível, tema no qual é autor de três patentes. Trabalha desde 2002 no desenvolvimento de óleos lubrificantes automotivos, sendo atualmente o coordenador do projeto de fornecimento de óleos lubrificantes para a equipe Williams de Fórmula 1.