



AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE CONVERSÃO E ADAPTAÇÃO DE MOTORES PARA O GÁS NATURAL

Marcelo Schwob, Maria Elizabeth Morales, Mauricio Henriques, Rossana Esteves

Instituto Nacional de Tecnologia (INT). Av. Venezuela 82, sala 716. Centro. 20081-310.
Rio de Janeiro - e-mail: mariaeli@int.gov.br

Resumo

O objetivo básico deste estudo foi a investigação quanto à situação atual do mercado de gás natural automotivo no país, enfocando de modo específico a questão da conversão de veículos leves para uso de GNV em motores de combustão por centelha, diante do processo de amplo crescimento, da ordem de 95% ao ano, ocorrido nos últimos 3 anos e ainda em curso neste mercado, o qual já se coloca com uma participação de 10% do gás distribuído pelas concessionárias estaduais.

Dentro do processo de avaliação proposto, considerou-se a importância de estudar o comportamento dos equipamentos de conversão (kits) mais empregados, em um veículo representativo do setor usuário, de modo a identificar os benefícios e as limitações de ordem econômica, ambiental e tecnológica para o consumidor e para a sociedade como um todo, resultantes da utilização automotiva do gás natural, em substituição à gasolina e ao álcool hidratado.

Para tanto, foi estabelecido neste trabalho um procedimento metodológico específico de testes em laboratórios e em campo, considerando as normas e regulamentações em vigor no país, que possibilitaram identificar as limitações de desempenho e as possibilidades de implementação de melhorias técnicas.

Palavras-Chave: Gás Natural, Meio Ambiente, Energia

Abstract

In this work we study the current situation of the automotive natural gas market in the country, focusing in a specific way the question of the conversion of light vehicles for the use of ANG (GNV) in engines of combustion by flash, considering the process of ample growth (of the order of 95% per year) occurred in last the 3 years and still in course in this market, which already is placed with a participation of 10% of the natural gas distributed by the state concessionaires.

Inside the considered process of evaluation, it was considered the importance of the study of the behavior of the conversion equipment (kits) more used in a representative vehicle of the users sector, in order to identify the benefits and economic limitations of the ambient and the technology for the consumer and the society as a whole, as a results of the automotive use of the natural gas, in substitution to the gasoline and the hydrated alcohol.

A specific methodological procedure tests in laboratories and field was established in this work, considering the norms and regulations of the country, making possible to identify the performance limitations of the possibilities of implementation of improvements techniques.

Keywords: Natural Gas, Environment, Energy

1. Introdução

No Brasil, segundo dados do BEN, 2000, o setor de Transporte é responsável por 21,8% do consumo energético, sendo 90,1% relacionado ao transporte rodoviário e deste, 47,9% correspondem aos veículos leves utilizando motores de ignição por centelha, a álcool ou gasolina. Nos últimos anos o mercado de GNV no Brasil cresceu 95% ao ano, devido às vantagens econômicas do combustível, tendo atingido a terceira posição mundial relativa a frota de veículos a GNV (cerca de 200,000 veículos) com consumo de 2 milhões de m³/d, que deverá crescer, segundo previsões da Gaspetro, para 3,6 milhões de m³/d em 2005.

Este cenário de crescimento exige um estudo aprofundado de seu comportamento, a fim de criar ações reguladoras futuras. O objetivo básico desse estudo, é a avaliação do desempenho de um veículo à gasolina convertido para uso de GNV, utilizando diversos dispositivos de conversão. Esses ensaios consistiram, basicamente, de testes dinâmométricos com medição de consumo, potência, e emissões, além do monitoramento paralelo de diversos parâmetros de funcionamento do motor.

No Brasil existem mais de vinte marcas diferentes de dispositivos de conversão disponíveis no mercado, nas versões básica e completa, aspecto que influencia no custo final de instalação. Assim, para cada marca avaliada foram realizados testes com as duas versões mencionadas. A escolha do veículo de teste se baseou no critério de representatividade na frota de GNV, recaindo a mesma sobre um veículo VW com motor 1.8 Mi, a gasolina.

Com relação aos resultados, as principais deficiências verificadas nos dispositivos de conversão testados foram relacionadas aos mescladores (mal projetados e mal posicionados), variadores de ponto de ignição (inadequação), falta de sistemas de processamento eletrônico de parâmetros operacionais, ocorrência de variações bruscas na vazão de gás em determinados regimes de carga e rotação, empobrecimento exagerado da mistura em situação de alta carga e alta rotação e falta de procedimentos específicos de montagem, exigindo estudos de metrologia e padronização.

2. Metodologia e Desenvolvimento dos Testes

2.1. Dispositivos de Conversão

As tecnologias aplicadas pelos fabricantes, podem ser classificadas da seguinte forma:

1ª Geração. São os dispositivos aplicados à carros com carburadores, constituídos de componentes mecânicos sem a utilização de sensores e componentes eletrônicos. Nesse dispositivo o gás é fornecido a baixa pressão, sendo aspirado pelo próprio motor pela depressão no coletor de admissão.

2ª Geração. São aqueles aplicados a carros com carburadores e com injeção eletrônica de gasolina/álcool, porém não para os sistemas de injeção de gasolina mais sofisticados. A distinção principal entre os dispositivos de 1ª e o de 2ª gerações está na utilização de um venturi, desenvolvido para o GN, ao invés de utilizar o carburador do veículo.

3ª Geração. A diferença entre os dispositivos de 3ª e de 2ª geração, está na utilização de um sistema de alimentação de combustível pressurizado no coletor de admissão, ao invés do emprego de um misturador para a carburação da mistura ar-combustível (GNV) através de aspiração.

4ª Geração. São dispositivos incorporando tecnologia eletrônica de controle da combustão semelhante à tecnologia adotada nos carros mais modernos a gasolina, com sistema de injeção/ignição eletrônica de gasolina/álcool mais sofisticados.

2.2. Desenvolvimento dos Testes

Na escolha do veículo de teste, decidiu-se por aquele que melhor representasse a frota de veículos circulantes a GNV nos grandes centros urbanos. Após a análise de uma amostra de 130 veículos a GNV, verificou-se uma participação de 85% de veículos originariamente a gasolina e 15% a álcool, com uma incidência de 78% de taxis e predomínio (65%) de veículos com cilindrada de 1800cc, grupo em que se destacaram pela quantidade incidente, pela ordem, os veículos das marcas/ tipos VW Santana, Ford Versailles e VW Gol, que em conjunto representaram 75% dos veículos convertidos para GNV da referida cilindrada, ou cerca de 49% de toda a amostra considerada. Assim, pela representatividade quase hegemônica do motor VW Saveiro, com a referida motorização dotada de sistema de injeção de gasolina, do tipo multiponto sequencial.

Quanto aos dispositivos de conversão, foram selecionados quatro dos principais dispositivos (kits) representando as marcas mais comercializadas no País, sendo submetidos aos ensaios dois modelos de cada fabricante (modelo mais simples e modelo completo).

Foi adotado o método de avaliação através de testes do veículo em dinamômetro de chassi, o qual retrata a realidade da conversão de modo mais adequado e real que os testes de motores em bancada. Nestes foram avaliados dados de potência, consumo e emissões (NO_x, CO, CO₂, HC e O₂) em diversos regimes de operação em termos de velocidade angular e carga submetida. Além dos testes de laboratório, (a Figura 1 mostra o veículo VW Parati, sendo submetido a testes no Laboratório de Máquinas Térmicas LMT da COPPE/UFRJ), foram executados testes de desempenho em campo, através de ensaios cronometrados de aceleração e retomada de velocidade. Neste sentido definiu-se diversos parâmetros de importância:

- potência e consumo efetivos do motor, operando com gás e gasolina;
- dados relativos à vazão de combustível e água de resfriamento do motor em diferentes condições de carga e rotação;

- parâmetros de gerenciamento dos sistemas de injeção e ignição (ângulo de avanço, tempo de injeção, etc.);
- registro de temperaturas de água, óleo e ar, além de pontos estratégicos do cofre do motor;
- avaliação das emissões, nas diversas condições de carga e rotação (O_2 , CO_2 , CO , NO_x e HC); etc.



Figura 1 – Veículo VW Parati sendo submetido a testes no LMT da COPPE/UFRJ.

Inicialmente, o veículo foi testado em sua condição original, de modo a definir as condições de referência para os testes a plena carga (borboleta totalmente aberta), e a meia carga, condição estequiométrica, em que a borboleta fica aberta o suficiente para suportar a maior carga possível com o módulo eletrônico indicando, através da sonda lâmbda, a condição referida. Com esse trabalho, foram definidos os pontos de abertura para condição estequiométrica, que foram utilizados para construção das planilhas de teste.

Antes da primeira etapa dos ensaios, foi realizada uma adequação do veículo às condições do teste no dinamômetro, com a instalação de sensores, ventiladores para arrefecimento, medidores de vazão etc.

Dessa forma, estabeleceu-se uma série de ensaios, realizados para cada dispositivo de conversão selecionado, considerando os diversos aspectos de utilização e configurações do veículo, os quais estão discriminados a seguir:

1. Teste do veículo na sua configuração original na condição estequiométrica e em plena carga, funcionando com gasolina;
2. Teste do veículo convertido (kit instalado), na versão completa (com gerenciamento eletrônico), nas duas condições anteriores (estequiométrica e plena carga), funcionando com gasolina;
3. Teste do veículo convertido (kit instalado), na versão completa, nas condições anteriores, funcionando com GNV;
4. Teste do veículo convertido (kit instalado), na versão básica (sem gerenciamento eletrônico), nas condições anteriores, funcionando com GNV;

Como parte integrante do procedimento de testes, foram realizados os testes de campo, que incluíram os de retomada de velocidade (de 40 a 100 km/h) e de aceleração (de 0 a 100 km/h).

No sentido de não haver influência de um sistema testado sobre o sistema subsequente, já que o veículo utilizado foi o mesmo durante todo o desenvolvimento do projeto, adotou-se uma rotina de inspeção do motor com abertura de capô e outras providências com o intuito de eliminar a influência do desgaste do veículo durante os testes.

3. Resultados Obtidos e Conclusões

Em geral, os dispositivos testados apresentaram uma perda de potência em relação ao veículo na sua configuração original. Os sistemas melhor instrumentados, com gerenciamento eletrônico de ignição e injeção, conseguiram reduzir essa perda de potência relativa (de 20 para 10%), graças a uma mistura mais adequada da relação ar/combustível e a um ajuste de ponto de ignição mais apropriado a cada condição de operação (carga e rotação). Os dispositivos básicos, em geral, apresentaram um consumo específico maior, em relação aos do tipo completo (com gerenciamento eletrônico).

Na Figura 2 sobre o teste de Potência do veículo em KW, em todas as configurações, em regime estequiométrico ao longo das faixas de rotação, pode-se observar o seguinte:

- Curvas bem definidas e mantendo as tendências tanto no veículo convertido/básico como o veículo convertido/completo a gasolina e apresentam uma potência praticamente igual a do obtido com a gasolina/original com valores levemente superiores. Essa diferença se torna mais acentuada na faixa de 3500 a 3750 rpm em que as potências em média chega a ser maiores 15% para o veículo convertido/básico e 9% para o veículo convertido/completo;

- As potências máximas ocorreram próximo da faixa de 3300 rpm, sendo que a potência do convertido/básico em relação ao completo, foi deslocada em mais de 250 rpm.
- As potências de um modo geral declinam juntas bruscamente após 4000 rpm com as variações de rotação;
- O veículo convertido/básico/GNV perde em média 15% de potência em relação ao veículo original;
- O veículo convertido/completo/GNV perde em média 7% de potência em relação ao veículo original com gasolina;
- Foi mantida a proporcionalidade em todo os traçados das curvas significando uma perda de potência proporcional com o aumento da rotação;
- Esse gráfico, teoricamente, representa a forma mais econômica e com menor índice de poluição de se operar o veículo, qualquer que seja o combustível, justificado pelo controle do módulo eletrônico original do veículo que gerencia a dosagem de combustível com comprometimento em emissões.
- O fato da potência do convertido/básico a gasolina ser maior do que a do original a gasolina pode estar associado ao ponto de ignição mais avançado do que o veículo original. Além disso, tendo o mesclador oferecido maior resistência ao escoamento do ar, houve um aumento do vácuo no coletor de admissão, provocando uma variação na curva de avanço do ponto de ignição, pelo módulo de injeção. Esse aspecto pode ser também ter justificado a maior potência obtida com o veículo convertido/completo apesar do ponto ser o de fábrica.

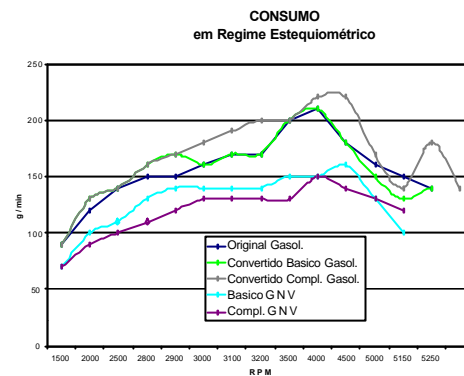
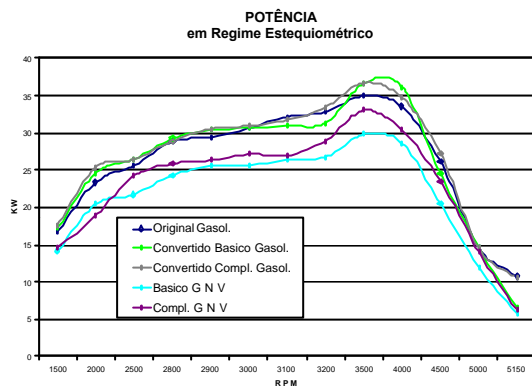


Figura 2: Curvas de Potência em Regime Estequiométrico Figura 3: Curvas de Consumo em Regime Estequiométrico.

Na Figura 3. Ilustram-se as curvas de consumo em grama/minuto, do veículo em todas as configurações, em regime estequiométrico, ao longo das faixas de rotação. Observa-se ainda o seguinte:

- As curvas apresentam um desenvolvimento parecido em geral, com pontos de máximo consumo em torno de 4000 rpm, sendo que o veículo nas condições de convertido/completo operando a gasolina e na condições de convertido/básico operando com gás, apresentou máximo consumo próximo dos 4500 rpm;
- O consumo do veículo convertido completo operando com gasolina, apresentou valores maiores que na condição original;
- O veículo convertido básico operando com GNV apresentou consumo maior que ele convertido/completo com GNV em cerca de 5%;
- Comparando-se a curva de potência com a curva de consumo percebe-se que ambas declinam a partir da faixa de consumo máximo apresentando uma variação proporcional em relação a rotação;
- O veículo convertido em versão completa operando com gasolina passa a consumir mais do que quando na sua condição de fábrica;
- O veículo convertido operando com GNV na versão básica consome mais do que na versão completa;
- Existe um empobrecimento significativo ao final da curva do kit básico operando GNV, o que explica o menor consumo do básico em relação ao completo nestes mesmos pontos, provavelmente, devido ao desenho do mesclador, que não permite uma alimentação uniforme com baixos ângulos de borboleta e alta rotação.

Quanto às emissões de gases tóxicos o catalisador é um componente importante que funciona como um conversor, provocando, através de um processo termoquímico, a conversão dos gases tóxicos em não tóxicos. Assim, é possível transformar mais de 90% dos poluentes em compostos não prejudiciais. De comprovada eficiência é o catalisador de 3 vias ("três vias" significa que todos os três constituintes prejudiciais CO, HC e Nox são reduzidos simultaneamente). Este catalisador tem uma estrutura tubular de um material cerâmico que é revestido com metais nobres, preferencialmente platina, paládio e ródio. Quando o gás de escape passa por esse sistema, a platina, o paládio e o ródio aceleram a decomposição química dos poluentes. Catalisadores devem ser usados somente com a gasolina isenta de chumbo, uma vez que o chumbo destrói o efeito catalítico dos metais nobres. Portanto, gasolina sem chumbo é condição fundamental para uso do catalisador.

Na Figura 4 a, sobre as emissões de CO₂ em regime estequiométrico, observa-se o seguinte:

- O veículo original a gasolina produz alta quantidade de CO₂, justificada pela boa qualidade de combustão, que é gerenciada pelo módulo eletrônico de injeção, original do veículo. Essa quantidade se mantém constante em qualquer que seja a rotação.

- O veículo convertido a gasolina apresenta menor quantidade de CO₂, em função da mistura um pouco mais rica em relação a do veículo original, justificada pela presença do mesclador.
- O veículo convertido completo a GNV produz quantidade de CO₂ menor que o veículo a gasolina pela característica do combustível, quanto a composição química. Ele mantém a produção também constante em função da rotação.
- O veículo com o kit básico a GNV produz quantidade de CO₂ mais baixa em função da mistura mais rica em relação ao kit completo.
- O veículo com o kit básico a GNV melhor regulado pode vir a produzir uma quantidade de CO₂ semelhante ao kit completo.

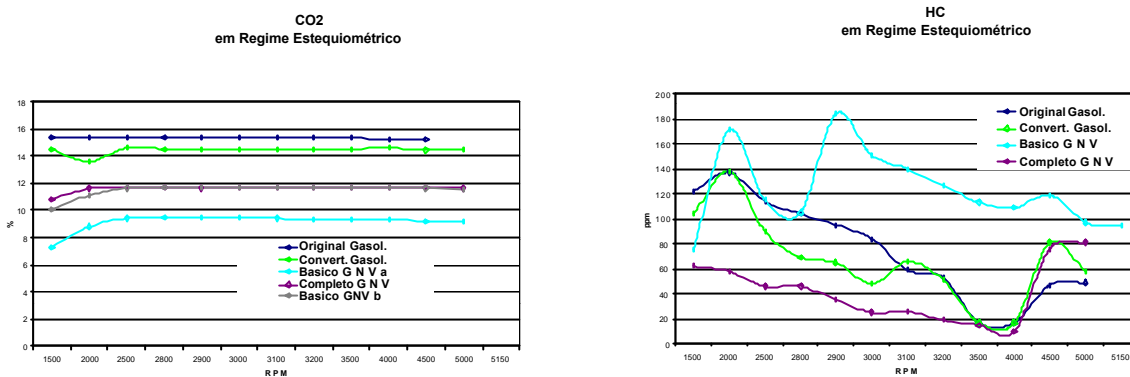


Figura 4: Emissões de gases

Na Figura 4 b observa-se que:

- O veículo na condição original, operando com gasolina, tende a diminuir a produção de HC conforme aumenta a rotação, porém a partir de 4000 rpm, tende a aumentar novamente, provavelmente porque há um fechamento maior da borboleta, aumenta no o vácuo no coletor de admissão, o que provoca um aumento do avanço do ponto de ignição, o que é um fator que favorece uma maior produção de HC. Além disso, devido ao fechamento da borboleta a potência cai significativamente.
- No início da curva, o veículo convertido operando com gasolina, produz uma quantidade de HC um pouco menor que com ele na sua condição original, podendo ser justificado pela queda de pressão no coletor, por causa da perda de pressão devido à restrição provocada pela borboleta e mesclador. A partir de 4000 rpm, verifica-se o mesmo traçado de curva de HC tanto para o veículo em sua configuração original quanto para este convertido, pois a borboleta, com um ângulo mais fechado, fornece uma restrição tão grande que torna a restrição do mesclador quase imperceptível.
- O veículo convertido na versão completa, operando com GNV, produz uma baixa quantidade de HC, tendendo a diminuir com o crescimento da rotação. A partir de 3500 rpm, começa a aumentar, seguindo a mesma tendência observada com o motor operando com gasolina.
- O veículo convertido na versão básica, operando com GNV, produz alta quantidade de HC, por uma dosagem inadequada de combustível em relação ao que é obtido com o kit completo. O aspecto do traçado apresenta a mesma tendência em diminuir a produção com o aumento da rotação, porém continuamente, porque o kit básico, não permite a estratégia automática de enriquecimento em qualquer que seja a condição de funcionamento.

Pôde-se observar, ganhos significativos com o uso de GNV em termos de emissões, particularmente quanto ao monóxido de carbono e hidrocarbonetos, com possibilidades de redução da ordem de 30%. Para o NO_x produzido antes do catalisador, em muitos casos foram obtidos valores maiores em relação ao veículo na sua configuração original. Esse elevado percentual de NO_x poderia ser reduzido com um desenvolvimento apropriado dos redutores de pressão e módulos de controle de combustível (GNV), em relação à vazão de ar admitida no cilindro.

Com o estudo dos dispositivos básicos, pôde-se verificar, em linhas gerais, uma alta produção de HC e CO em relação ao veículo convertido na versão completa. Isso pode ser justificado por uma mistura inadequada (rica), proporcionada por um controle ineficiente dos componentes eletro-mecânicos, que constituem a versão básica.

Nos futuros motores a serem dimensionados para operação específica com gás natural veicular, através de taxas de compressão mais elevadas e gerenciamento eletrônico apropriado, as perdas de potência poderão ser minimizadas, com a operação em níveis de eficiência térmica mais elevados e com uma redução de emissões, que deverá ser superior a 50% com relação ao CO e HC, com o NO_x após o catalisador caindo para níveis em conformidade com os limites estabelecidos pelo PROCONVE, fato de suma importância para a aprovação futura dos veículos junto aos órgãos de trânsito, considerando a gradual restrição dos níveis de emissão de poluentes, previstos para os próximos anos.

No que diz respeito ao desempenho do catalisador original do veículo, verificou-se em altas temperaturas, em regime permanente, eficiências de conversão catalítica da ordem de 98 a 99% para CO e 95% ou mais para HC. Por outro lado, especificamente com relação ao NO_x, na operação dos dispositivos sem gerenciamento eletrônico, verificou-

se uma eficiência relativamente baixa, quando comparada àquela obtida com o motor operando com gasolina ou com dispositivo completo. Isto se deve à operação sem os controles da sonda lambda e do avanço de centelhamento.

Fazendo uma análise comparativa entre os dispositivos testados, perceberam-se algumas vantagens de alguns dispositivos em relação a outros, com respeito à concepção de projeto. Notadamente, o equipamento da BRC, na versão básica, apresentou o melhor desempenho em relação aos demais. Isso está associado a uma melhor qualidade de projeto do mesclador, apesar de uma certa ineficiência da parte eletrônica que constitui o referido sistema. Quanto à versão completa, o produto da Galileo se apresentou como o de melhor desempenho, conciliando consumo, emissões e menor perda de potência relativa. Esse melhor desempenho está associado a uma eletrônica um pouco melhor desenvolvida em relação aos demais.

Em termos econômicos, foi identificada uma vantagem do GNV em relação à gasolina, da ordem de 70%, considerando as reduções de gasto com combustível, manutenção e impostos, sendo este último item uma vantagem específica da legislação do Estado do Rio de Janeiro.

As provas de campo realizadas indicaram perdas de desempenho dos veículos a GNV de 20 a 30% em relação à operação com gasolina.

Com relação às tendências tecnológicas e de mercado, os pontos de mais destaque são o início da oferta de equipamentos de terceira geração (sem mesclador e com gerenciamento eletrônico mais sofisticado) no mercado nacional, a nacionalização de componentes eletrônicos e mecânicos dos dispositivos de conversão, através da criação de empresas nacionais e da instalação de empresas estrangeiras no País, a aprovação das portarias de ensaio de componentes dos sistemas de conversão, visando maior qualidade e segurança, o emprego de cilindros mais leves para armazenamento de combustível e a produção de veículos de fábrica a GNV.

Assim, verificou-se que os dados resultantes das avaliações e ensaios realizados no projeto indicaram a necessidade de maior fiscalização e controle da qualidade das conversões dos veículos para o uso de GNV, além da introdução de dispositivos incorporando tecnologias mais avançadas, em função de resultados desfavoráveis relativos à perda de potência e aumento de emissões de gases poluentes.

4. Referências

- GIFEL, Prospecto de Divulgação do Produto - Cilindros de Armazenamento de GNV;
- OYRSA GNC, Equipos de Conversion, OYRSA Division Equip. Automotores GNC;
- MAT-INCENDIO S.A., Um Programa Completo de Cilindros, MAT INCENDIO S.A. Divisão de Cilindros de Aço;
- Inflex/Argentoil, Compressed Gas and CNG Cilinders;
- ITT, Pressure Regulator for Automotive Natural Gas;
- HEYWOOD, John B., Internal Combustion Engines Fundamentals;
- DEGOBERT, Paul, Automobiles and Polution;
- SAE International/SP-894, Developing Dedicated Natural Gas Vehicle Technology, 1991 Natural Gas Vehicle Challenge;