

ANÁLISE DE VEÍCULOS CONVERTIDOS PARA O USO DO COMBUSTÍVEL GÁS NATURAL

Pedro Mello & Giovani Pelliza

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Rua Sarmento Leite, 425 - 90050-170 – Porto Alegre – RS - Brasil
mello@mecanica.ufrgs.br

Resumo. *A cada ano que passa se elevam as restrições ambientais às emissões automotivas, principalmente nos grandes centros urbanos. Os índices permissíveis das emissões de escape são cada vez menores. O gás natural é considerado um combustível mais limpo que os combustíveis líquidos e já ocupa um lugar como fonte alternativa de energia. Este trabalho tem por objetivo realizar um levantamento de dados de desempenho de motores automotivos a gasolina convertidos para o uso do gás natural. Os resultados mostram que há necessidade de se normatizar melhor o processo de conversão.*

Palavras chave: conversão de motores, gás natural, sistemas de conversão.

1. Introdução

O gás natural é tradicionalmente visto como uma fonte combustível fóssil abundante e limpa para a geração de energia térmica e elétrica. Atualmente 90% do seu consumo global se destina ao uso combustível ou energético e apenas 10% à produção de amônia ou metanol.

O uso direto como combustível ou para geração de energia elétrica exige uma infra-estrutura local de distribuição até o consumidor final, seja em redes de gasodutos ou de transporte e revaporização de gás natural liquefeito GNL.

A movimentação de gás natural por longas distâncias através de gasodutos de alta pressão ou na forma de GNL é consideravelmente cara e as margens de lucro do gás natural oriundo destes campos remotos é perdida por estes elevados custos de transporte.

Os processos de conversão do gás natural em produtos químicos e combustíveis facilmente transportáveis em tanques, modificando o problema do transporte de gás em transporte de líquido e elevando o seu valor agregado. Isto remove as restrições de elevados custos de transporte e restrição de acesso aos mercados distantes, além de ser uma rota de elevação do valor agregado.

Assim, estes projetos não dependem de circunstâncias de mercado locais e podem ser baseadas em pequenas reservas de gás natural.

A cada ano se elevam as restrições ambientais às emissões de veículos automotores, principalmente nos grandes centros urbanos, saturados de automóveis, ônibus e caminhões. Os índices permissíveis dos compostos nos escapamentos vão diminuindo, elevando as pesquisas por alternativas e ampliando o espaço para penetração dos combustíveis limpos.

O gás natural já ocupa o lugar de fonte energética abundante menos nociva ao meio ambiente da atualidade.

Ao considerar-se a demanda cada dia maior por carburantes ambientalmente menos poluentes, como a gasolina e o diesel sem enxofre, e os custos de transformação tecnológica das frotas ao GNL, hidrogênio, metanol, etanol e eletricidade e, por outro lado, as necessidades crescentes de insumos químicos para suportar o desenvolvimento da indústria mundial e as restrições ambientais aos processos tradicionais de produção, compreende-se a importância e a potencialidade dos processos de conversão do gás em combustíveis líquidos e gasoquímicos (Pascoli, 2001).

Neste panorama, os processos de conversão do gás se apresentam como escolha natural, pois além de economicamente atrativos, são atividades industriais que não requerem insumos nem geram rejeitos agressivos ao meio ambiente.

As últimas previsões sobre o consumo mundial energético anual indicam que serão utilizados 11,7 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo em 2010 e 14,2 bilhões em 2020 contra 8,9 bilhões em 1997. Não obstante, os países já vêm apoiando o consumo do gás natural, em detrimento do petróleo, do carvão e da energia nuclear. Assim, o consumo de gás natural será da ordem de 3,5 trilhões de metros cúbicos em 2010 e 4,7 trilhões em 2020, contra 2,3 trilhões em 1997, ou seja, um crescimento de 52 % ou 4,2 % por ano na próxima década. (Yang, 1997)

O gás natural é uma fonte abundante, com suas reservas somando 146 trilhões de metros cúbicos o equivalente a 60 anos de consumo. As reservas adicionais prováveis são de 260 trilhões de metros cúbicos, ou 83 anos suplementares do consumo previsto para 2010 (Poldnar, 2000).

Fica óbvio que a tendência, generalizada no mundo, de proteção ao meio ambiente deverá limitar bastante o uso de derivados de petróleo não tratados. Com isso, prevê-se uma retração da demanda de petróleo antes dos fins das reservas. Até lá, ter-se-á 50 anos de desenvolvimento tecnológico associado à disponibilidade cada vez maior de petróleo e do gás natural (Lastres, 2000).

Sendo assim tem-se como objetivos neste trabalho, a análise do desempenho de veículos adaptados para o uso do gás natural, relacionado à transformação de veículos alimentados com combustíveis líquidos (gasolina, álcool) em veículos bi-combustíveis, (gasolina - gás natural) ou (álcool - gás natural).

Este trabalho apresenta testes de veículos com a obtenção de curvas de potência relacionando o uso do gás natural comparativamente ao uso de combustível líquido. Apresentam-se ainda, análises de gases de escapamento, com o intuito de visualizar as reduções das emissões de gases tóxicos ao meio ambiente, quando se utiliza gás natural em veículos automotores.

2. Gás Natural

O gás natural é, como o próprio nome indica uma substância em estado gasoso nas condições ambiente de temperatura e pressão. Por seu estado gasoso e suas características físico-químicas naturais, qualquer processamento desta substância, seja compressão, expansão, evaporação, variação de temperatura, liquefação ou transporte exigirá um tratamento termodinâmico como qualquer outro gás.

A composição do gás natural bruto é função de uma série de fatores naturais que determina o seu processo de formação e as condições de acumulação do seu reservatório de origem. O gás natural é encontrado em reservatórios subterrâneos em muitos lugares do planeta, tanto em terra quanto no mar, tal qual o petróleo, sendo considerável o número de reservatórios que contém gás natural associado ao petróleo. Nestes casos, o gás recebe a designação de gás natural associado. Quando o reservatório contém pouca ou nenhuma quantidade de petróleo o gás natural é dito não associado. Na Tab. 1 podem ser visualizados alguns valores de composição típica do gás natural.

Tabela 1. Composição típica do Gás Natural

Fonte: Agência Nacional do Petróleo

Composição Típica do Gás Natural				
Elementos	Associado (1)	Não-Associado (2)	Processado (3)	Processado (4)
Metano[%]	81,57	85,48	88,56	91,80
Etano[%]	9,17	8,26	9,17	5,58
Propano[%]	5,13	3,06	0,42	0,97
I-Butano[%]	0,94	0,47	-	0,03
N-Butano[%]	1,45	0,85	-	0,02
I-Pentano[%]	0,26	0,20	-	0,10
N-Pentano[%]	0,30	0,24	-	-
Hexano[%]	0,15	0,21	-	-
Hep. e Superiores[%]	0,12	0,06	-	-
Nitrogênio[%]	0,52	0,53	1,20	1,42
Ióxido de Carbono[%]	0,39	0,64	0,65	-
Total[%]	100	100	100	100
Densidade	0,71	0,69	0,61	-
Poder Cal. Inf.	34.953 KJ/m ³	35.916 KJ/m ³	36.083 kJ/m ³	35.037 kJ/m ³
Poder Cal. Sup.	45.627 KJ/m ³	44.288 KJ/m ³	39.935 KJ/m ³	38.804 KJ/m ³

(1) Gás do campo de Garoupa, Bacia de Campos

(2) Gás do campo de Miranga, na Bahia

(3) Saída da UPGN Candeias, na Bahia

(4) Gás disponível no gasoduto Brasil-Bolívia

Gás natural não deve ser confundido com metano. Conforme sua origem o teor de metano pode variar de cerca de 70% até 95%. O gás natural que está sendo consumido no RS tem cerca de 89% de metano. O segundo componente em maior quantidade é o etano (aproximadamente 6,5%). Em terceiro vem o nitrogênio que dependendo da temperatura é inerte (aproximadamente 1,4%). Os demais componentes são em quantidades pouco significativas. Portanto a fórmula química equivalente reduzida do gás natural é CH_{3,76} (a do metano é CH₄). Por decorrência é inadequado o nome “Gás metano veicular”. (Dallávia, Díocles, 2001).

3. Resultados Experimentais

Neste estudo foram efetuados teste do desempenho de alguns equipamentos de conversão (emuladores, mescladores, redutores de pressão, variadores de avanço), assim como a realização de testes em veículos convertidos para a análise de potência e emissões, estabelecendo um comparativo entre combustíveis líquidos e o gás natural.

3.1. Dados Técnicos dos Veículos e Descrição dos Equipamentos

Para a realização dos experimentos foram utilizados veículos existentes no SENAI Automotivo do RS, sendo estes veículos do fabricante FIAT, modelos Siena e Maréa Weekend. O veículo Siena, ano de fabricação de 1998,

equipado com motorização de 1600cm³ de cilindrada, 4 cilindros e 16 válvulas, enquanto o veículo Maréa Wekeend, ano de fabricação 1999, equipado com motorização de 2000cm³ de cilindrada, 5 cilindros e 20 válvulas.

Também foram utilizados veículos de propriedade de oficinas mecânicas convertedoras, sendo estes veículos um Chevrolet Kadett com motorização de 2000cm³ de cilindrada, 4 cilindros e 8 válvulas, ano de fabricação 1996, um FIAT Strada com motorização de 1500cm³ de cilindrada, 4 cilindros e 8 válvulas, ano de fabricação 2000, além de um veículo da marca Renault, modelo Kangoo Express com motorização de 1600cm³ de cilindrada, 4 cilindros e 8 válvulas, ano de fabricação 1998. Todos os veículos utilizados possuíam injeção eletrônica de combustível.

Os testes de potência foram realizados no Laboratório de Motores da Petrobras do RS, em todos os veículos citados, através de um dinamômetro de rolos da marca Bosch, modelo FLA 203, com desempenho de frenagem de 260kW a 260km/h, força de tração máxima de 6000N e 318mm de diâmetro de rolos. Para a análise das emissões dos veículos, foram utilizados analisadores de gases dos fabricantes Sun e Tecnotest.

Utilizou-se ainda em alguns ensaios, um PLM - Professional Lambda Meter do fabricante Motec com o objetivo de se visualizar a variável λ , além de um módulo computadorizado da marca Napro, modelo PC-Scan 2010 para a visualização das variáveis processadas pela central de injeção eletrônica dos veículos.

Além dos equipamentos básicos encontrados comercialmente para a conversão de veículos, todos os veículos foram equipados com emulador de eletro-injetores, variador de avanço e emulador de sensor de O₂.

3.2. Execução dos Testes

Foram realizados, testes para o desenvolvimento de curvas de potência máxima do motor, análise do fator λ , potência disponível na roda dos veículos em diversas velocidades e cargas, em conjunto com tomadas de leitura de emissões dos veículos, utilizando-se GNV e combustível líquido (gasolina).

Para o desenvolvimento das curvas de potência máxima dos veículos (Fig. 2, 3, 5, 6 e 7) testes, os mesmos foram acelerados aumentando-se a velocidade em incrementos de aproximadamente 15km/h de 1^a (primeira) a 4^a (quarta) marcha, a velocidade máxima em 5^a (quinta) marcha, conforme os degraus que podem ser observados adiante nas curvas de potência, entre as velocidades de 0km/h a aproximadamente 60km/h, de forma que se obtivesse uma maior área do gráfico dedicada aos valores de maior potência desenvolvida. Após o alcance da velocidade máxima na última marcha, 5^a (quinta marcha), retirou-se a aceleração (pê do acelerador), que pode ser observada nas curvas de potência, pelo forte decréscimo de potência, fazendo com que o veículo retornasse a velocidade e potência zero, gerando um ciclo representado pelos traços de menor intensidade de coloração, que representam a potência máxima na roda do veículo. Completado o ciclo, o sistema de processamento do dinamômetro gerou as curvas de maior intensidade de coloração, que representam a potência máxima do motor do veículo, ou seja, a potência máxima na roda do veículo adicionada das perdas nos sistemas de transmissão dos mesmos. Realizou-se ainda alguns testes de potência em determinadas velocidades fixas, sendo que nestes casos programou-se o dinamômetro para a velocidade máxima desejada, 40km/h, 60km/h e etc.

Na maioria dos testes efetuados o dinamômetro foi configurado para apresentar as curvas de potência máxima corrigida dos motores dos veículos, (curvas de maior coloração), conforme a norma NBR ISO 1585, calculando através da temperatura ambiente e da pressão atmosférica seca os fatores de correção de potência (k), enquanto que as curvas de potência na roda do veículo, (curvas de menor coloração) não estão corrigidas de acordo com a norma, podendo-se efetuar o cálculo da potência corrigida de acordo com o descrito no item 4.

O procedimento básico aplicado em todos os testes foi à verificação da pressão dos pneus que atuariam com os "rolos" do dinamômetro, um pré-aquecimento dos motores e dos rolos do dinamômetro antes do início dos testes e um único condutor do veículo para cada teste.

Os testes foram realizados com o auxílio de um ventilador na parte frontal do veículo a fim de evitar excessivo aquecimento do motor. Optou-se também por pequenas paradas entre os testes, para que houvesse uma maior refrigeração, principalmente em relação aos sistemas de exaustão de gases, pois não se tem ar em circulação na parte inferior do veículo devido ao mesmo estar parado sobre os rolos.

Para a tomada dos gases de descarga de alguns veículos, furou-se o sistema de escapamento dos mesmos e instalou-se uma tubulação de cobre, de forma que a análise de gases fosse feita antes da passagem dos mesmos pelo conversor catalítico, elemento responsável pela transformação de grande parte dos gases tóxicos emitidos pela queima de combustível do motor em gases inofensivos, a fim de obter-se dados reais de emissões dos motores. A quantidade de gases nocivos, emitida pelos veículos, é apresentada para fins comparativos em unidades de [%volume] ou [ppm.volume], estando em descordo com as normas do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA que estipula que os gases nocivos sejam apresentados em unidades de [g/km].

4. Resultados Obtidos

O primeiro teste foi feito em um Chevrolet Kadett . No teste deste veículo deu-se mais ênfase a análise do fator Lambda (λ) necessário para desenvolver a máxima potência ao utilizar-se gás natural como combustível.

Decidiu-se inicialmente verificar a potência na roda do veículo em diversas faixas de velocidade, em quarta marcha e em carga total, simultaneamente com o monitoramento de algumas variáveis como o fator Lambda (λ), temperatura da água do motor e avanço de ignição, ao utilizar-se gasolina e gás natural como combustíveis, conforme dados das Tab. 2 e Tab. 3.

Para a coleta dos dados deste teste, tomou-se o cuidado de manter a temperatura da água do motor entre os 93°C e 98°C, para que se pudesse obter dados mais confiáveis, já que a tendência ao operar-se o veículo com gás natural é que a temperatura do motor mantenha-se mais alta em relação à utilização de gasolina, devido a gasolina vaporizar-se contribuindo com uma parcela sobre a refrigeração das câmaras de combustão, o que já não ocorre com o gás, pois este já se encontra em estado gasoso.

Tabela 2. Dados demonstrativos em diversas velocidades do ensaio de potência na roda do veículo Kadett ao utilizar-se combustível gasolina. $T_{amb.}=29^{\circ}C$

Combustível Gasolina				
Velocidade	40 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h
Potência	14,4kW	25kW	35,4kW	43,1kW
Fator Lambda (λ)	0,84	0,85	0,89	0,91
Avanço de Ignição	6°	10°	15°	17°
Temperatura da Água do Motor	93°C	95°C	94°C	97°C

Tabela 3. Dados demonstrativos e comparativos em diversas velocidades do ensaio de potência na roda do veículo Kadett ao utilizar-se combustível gás natural. $T_{amb.}=29^{\circ}C$

Combustível Gás Natural				
Velocidade	40 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h
Potência	13,4kW	21kW	30,2kW	36kW
Fator Lambda (λ)	0,85	0,91	0,98	1,00
Avanço de Ignição	27°	38°	40°	41°
Temperatura da Água do Motor	95°C	98°C	98°C	91°C
Perdas de Potência em Relação a Utilização de Gasolina	6,9%	16%	14,7%	16,5%

De acordo com os dados apresentados, nota-se em média uma perda de potência da ordem de 13,5% quando se utiliza gás natural como combustível. Esta perda pode ser atribuída a diversos fatores, como a natureza gasosa do combustível e a instalação de um mesclador de gás (venturi) na tubulação do ar de admissão do motor fatores estes que serão discutidos mais detalhadamente nos próximos testes efetuados com os outros veículos.

Analisando os dados da tabela, observa-se que o sistema de gerenciamento do motor do veículo manteve o fator Lambda no valor médio de 0,87 quando utilizando gasolina como combustível, o que representa a situação de carga total, já que o Lambda para a máxima potência da gasolina é de 0,89, além de incrementar pequenos avanços no ponto de ignição conforme o aumento de rotação do motor, aumento da velocidade.

Observando os dados gerados ao utilizar-se gás natural como combustível nota-se que o sistema de GNV instalado manteve o fator Lambda em valores médios de 0,93, o que representa um bom rendimento para esse combustível, já que o Lambda para a máxima potência ao utilizar-se gás é próximo do estequiométrico, Lambda igual a 1,0. Vale observar ainda, que o avanço de ignição foi aumentado em todas as rotações, devido a instalação de um variador de avanço, para que se pudesse aproveitar a propriedade de menor velocidade de queima do gás natural em relação a gasolina.

Quanto as perdas de potência devido a utilização do gás natural, observa-se que a menor perda ocorre aos 40km/h, sendo de 6,9%. A tendência é ter-se as menores perdas nas menores rotações do motor, pois nas menores rotações o mesclador de gás (venturi) instalado na tubulação do ar de admissão do motor oferece menores restrições ao ar de admissão, devido a menor vazão de ar admitida pelo motor, conseqüência de pouca rotação (velocidade), enquanto que a 100km/h registrou-se uma perda de 16,5%, conseqüência da maior restrição oferecida pelo mesclador devido ao aumento da vazão de ar para combustão, decorrência da maior rotação a velocidade de 100km/h.

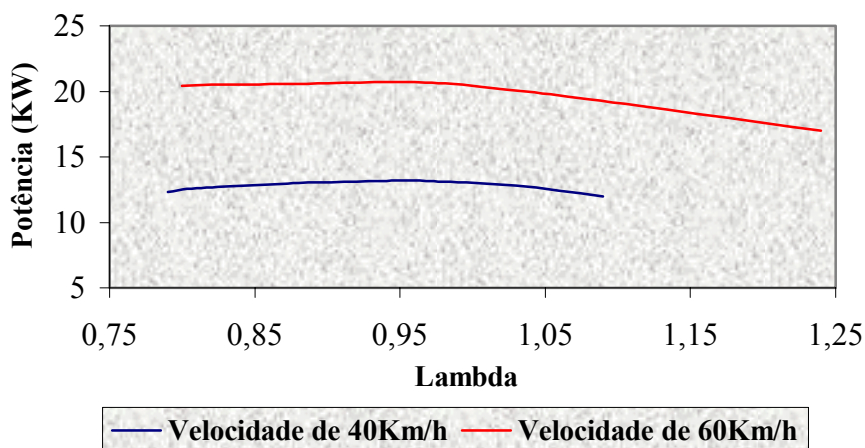
Conforme comentado anteriormente, no teste deste veículo deu-se mais ênfase a análise do fator Lambda (λ) necessário para desenvolver a máxima potência ao utilizar-se gás natural como combustível, pois a bibliografia especializada indica que o fator Lambda de máxima potência para o combustível gasoso é próximo do estequiométrico, $\lambda=1,0$. Sendo assim instalou-se um PLM (Professional Lambda Meter) na tubulação de escapamento do veículo com o objetivo de fazer-se a leitura instantânea do fator Lambda, em um teste de potência na roda, onde, fixado duas velocidades para o teste, 40 e 60km/h, alterou-se manualmente a regulagem da válvula dosadora de gás alterando conseqüentemente a razão ar/gás admitida pelo motor e a potência desenvolvida.

Na Tab. 4 pode-se verificar a potência desenvolvida pelo veículo Kadett em regime de carga total ao variar-se o fator Lambda, na velocidade de 40 e 60km/h.

Tabela 4. Potência desenvolvida pelo veículo Kadett ao variar-se o fator Lambda com a utilização de combustível gás natural. $T_{amb.}=29^{\circ}C$

Combustível Gás Natural			
Velocidade de 40km/h		Velocidade de 60km/h	
λ	Potência kW	λ	Potência kW
0,79	12,3	0,80	20,4
0,81	12,6	0,82	20,5
0,88	13,0	0,84	20,5
0,92	13,1	0,90	20,6
0,95	13,2	0,94	20,7
0,96	13,2	0,96	20,7
0,98	13,1	1,00	20,4
1,03	12,8	1,08	19,4
1,09	12,0	1,24	17,0

Potência Desenvolvida X Lambda para Gás Natural



Figural. Potência Desenvolvida x Lambda para o veículo Kadett ao utilizar-se gás natural

Quando se utiliza combustíveis líquidos, gasolina particularmente, tem-se a máxima potência em regiões de Lambda entre 0,88 ou seja, mistura rica, pois a potência máxima desenvolvida por um motor de combustão interna tem a haver com a pressão máxima produzida na combustão, que por sua vez tem a haver com a energia envolvida e o número de moles gerados na combustão. A energia gerada é máxima no estequiométrico e diminui a medida que se invade a região rica, enquanto que o número de moles gerados aumenta a medida que se invade a região rica. Para combustíveis líquidos, o aumento de pressão decorrente do aumento do número de moles é maior que o decréscimo de pressão devido a redução da energia desenvolvida, ocasionando então maiores potências para valores de Lambda “ricos”. Esse fenômeno já não ocorre com combustíveis gasosos, conforme pode-se comprovar na Figura 1, sendo a região de máxima potência próxima do estequiométrico. Portanto para um melhor rendimento de um veículo convertido, menor consumo de combustível gás e redução de gases nocivos ao meio ambiente, deve-se efetuar uma regulagem onde o Lambda para a máxima potência esteja sempre entre valores próximos do estequiométrico, $\lambda=1$.

4.1. Resultados Obtidos com o Veículo FIAT Maréa

Como parâmetro de comparação utiliza-se neste caso o dado fornecido pelo fabricante do veículo, que indica como potência máxima 108kW(≈147CV) a 6100RPM(≈200km/h) e torque máximo de 187kgf.m a 4500RPM(≈150km/h).

Na Fig. 2 tem-se a curva de potência máxima para o veículo, utilizando como combustível gasolina, com a instalação de um “Kit” de GNV encontrado comercialmente caracterizado por possuir o controle eletrônico do fator λ por uma válvula dosadora e por um redutor operados eletronicamente através de motores de passo, os quais são controlados por uma central eletrônica, (central eletrônica de GNV), ligada ao sensor de O_2 , sensor de posição da

borboleta de aceleração e sensor de rotação do motor do veículo. A regulagem deste sistema é feita através de um "Scanner", fornecido pelo fabricante do "Kit", que é ligado a central eletrônica de controle de GNV, onde podem ser configuradas algumas variáveis.

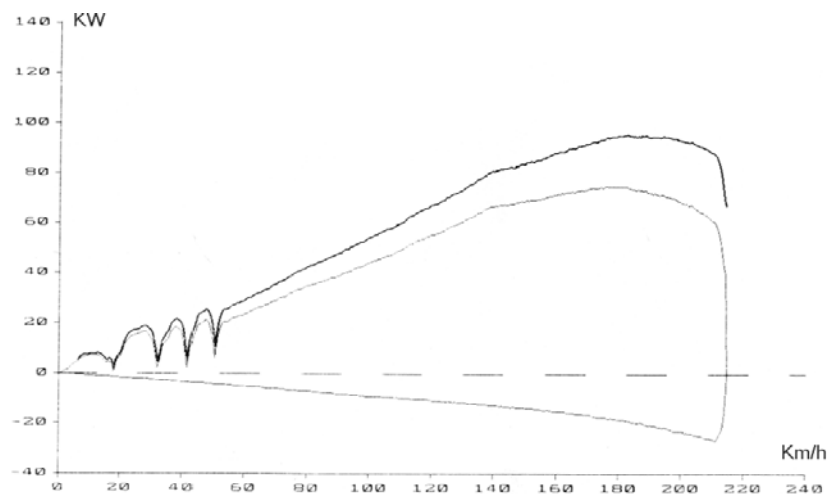


Figura 2. Curva de potência máxima obtida para o veículo Maréa utilizando como combustível gasolina, com a instalação do "Kit" de GNV. ($T_{amb}=23^{\circ}C$; $k=1,023$)

Conforme a curva, pode-se dizer que a potência máxima corrigida do motor do veículo é $P_{m\acute{a}x}=96kW$ (130,43CV) na velocidade de 182,5km/h, estando o veículo equipado com o "Kit" de conversão, (mesclador de 30cm de diâmetro interno e duas entradas de gás), e utilizando como combustível gasolina. Sendo assim houve uma queda de potência de 12kW (16,30CV), ou seja, 9,25% em relação à potência original do veículo. O principal fator para esta queda de potência está na restrição causada pela instalação do mesclador de gás no tubo de admissão de ar do motor do veículo, pois o mesclador, reduz a passagem do ar com o objetivo de causar uma aceleração no ar de admissão e uma conseqüente depressão, que será transmitida para os tubos condutores de gás e para o redutor, ocorrendo a liberação do gás (arraste), quando este estiver sendo utilizado. Sendo assim ter-se-á uma diminuição da eficiência volumétrica do motor, diminuição do ar aspirado pelo motor com conseqüente queda da potência máxima, mesmo com o uso do combustível original do veículo.

Pode-se visualizar o teste de potência máxima do motor do veículo na Fig. 3 com o veículo utilizando gás natural como combustível.

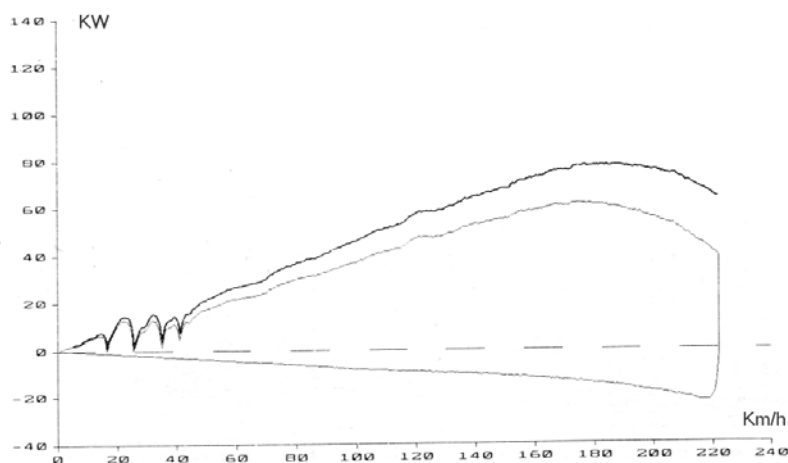


Figura 3. Curva de potência máxima obtida para o veículo Maréa utilizando como combustível gás natural. ($T_{amb}=24^{\circ}C$; $k=1,024$)

Utilizando gás natural como combustível a potência máxima corrigida do motor do veículo ficou em $P_{m\acute{a}x}=79,1kW$ (107,47CV) na velocidade de 184km/h, ou seja, verifica-se uma queda de potência de 16,9kW (22,96CV), 17,6% em relação à utilização do combustível original gasolina estando o veículo equipado com o mesclador ("Kit" de conversão). Ao comparar a queda de potência em relação ao veículo conservando suas características originais, tem-se uma queda ainda maior, 28,9kW (39,26CV), ou seja, aproximadamente 26%.

Um dos fatores responsáveis pela queda de potência é a própria utilização de um combustível gasoso, pois a quantidade de gás a combustão ocupa um volume maior do que se esse combustível estivesse em estado líquido, verifica-se uma menor quantidade de ar para a combustão no motor devido ao maior espaço ocupado nas câmaras de combustão pelo combustível gasoso. Além disso, na condição estequiométrica o GNV necessita de 17kg_{ar} para queimar $1\text{kg}_{\text{combustível}}$ enquanto que a gasolina necessita de $14,5\text{kg}_{\text{ar}}$ para queimar 1kg_{comb} , logo ao utilizar-se GNV, tem-se uma maior massa de N_2 (gás inerte Nitrogênio), que ocupa volume útil do cilindro.

Vale comentar também que a instalação do mesclador no tubo de admissão do veículo causa uma perda de carga do fluido, simulando uma diminuição no diâmetro do tubo, ocasionando melhores eficiências volumétricas em menores velocidades médias do êmbolo. Conforme (Cox, 2000) tubos de admissão longos com pequenas relações de diâmetro, dão altas eficiências volumétricas com baixas velocidades médias do êmbolo, enquanto que tubos de admissão longos com grandes relações de diâmetro mostram máximas eficiências nas velocidades médias intermediárias do êmbolo. Como consequência deste fenômeno observa-se que a potência máxima do veículo quando equipado com o mesclador (restrição na admissão de ar), além de sofrer reduções, ocorre em menores rotações em relação ao veículo com suas características originais conservadas, conforme pode ser observado nos testes anteriores. Outra característica que será modificada devido à instalação do mesclador é o torque do veículo, sendo que além da redução do seu valor máximo ocasionado pela diminuição da eficiência volumétrica, ter-se-á um deslocamento de seus valores máximos reduzidos para menores faixas de rotação, conforme os efeitos descritos anteriormente. A Tab. 5 mostra o Torque desenvolvido pelo veículo Maréa, utilizando como combustível gasolina e gás natural com a instalação do “Kit” de GNV.

Tabela 5. Torque desenvolvido pelo veículo Marea operando com gasolina e com GNV

Velocidade [km/h]	Rotação do Motor [RPM]	Gasolina com Mesclador		Gás Natural	
		Potência [kW]	Torque [N.m]	Potência [kW]	Torque [N.m]
80	2400	41	162,8	35	138,9
100	3000	52	165,1	45	142,9
120	3600	68	180,0	56	148,2
130	3900	75	183,2	60	146,6
140	4200	82	186,0	64	145,2
150	4500	86	182,1	68	144,0
160	4800	90	178,6	72	142,9
180	5400	98	172,9	80	141,1
200	6000	96	152,4	76	120,7
220	6600	----	----	66	95,2

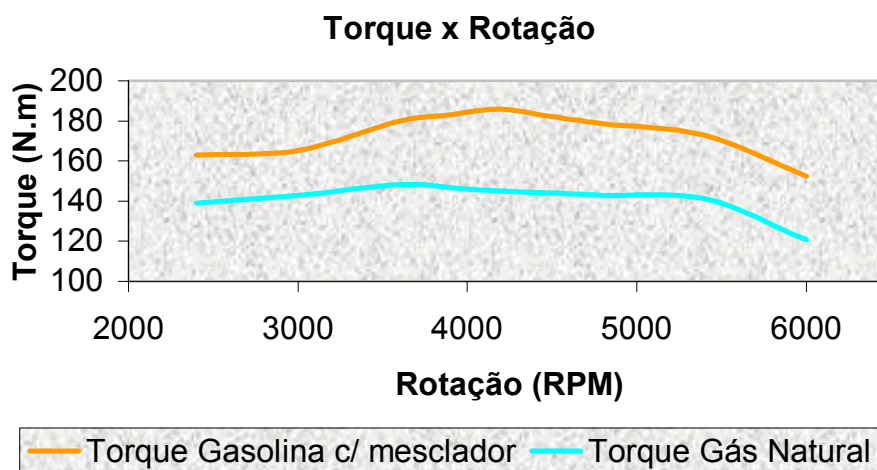


Figura 4. Torque x Rotação para o veículo Maréa ao utilizar-se gasolina com mesclador e gás natural

Conforme a Tab. 5 tem-se que o maior torque alcançado pelo veículo ao utilizar combustível gasolina com o mesclador foi de 186N.m a 4200RPM , enquanto que o uso do gás natural proporcionou um torque máximo de $148,2\text{N.m}$ a 3600RPM . O uso do combustível gasolina com a instalação do mesclador de gás não ocasionou perceptíveis reduções no valor do torque máximo do veículo, enquanto que o uso do combustível gás ocasionou uma redução de aproximadamente 20% em relação ao torque máximo original do veículo, mas em ambos casos se percebe uma redução

da rotação para o regime de torque máximo, 4500RPM veículo sem modificações e a gasolina, 4200RPM veículo com o mesclador de gás e a gasolina e 3600RPM veículo a gás. A ocorrência do torque máximo em menores rotações modifica as condições de dirigibilidade do veículo, tornando-o mais estável.

Simultaneamente aos testes de potência realizados, efetuou-se a tomada de emissão de gases de descarga do veículo em 5ª (quinta) marcha a 100km/h (3000RPM), analisando-se os níveis de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos (HC), oxigênio (O₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), conforme apresentado na Tab... 6..

Tabela 6. Dados comparativos de emissões do veículo Maréa, ao utilizar-se gasolina e gás natural. (T_{amb}=24°C)

Gasolina com Mesclador	CO [%vol]	CO ₂ [%vol]	HC [ppm vol]	O ₂ [%vol]	Nox [ppm vol]	Potência na Roda [kW]	λ [kg _{ar} /kg _{com}]
100 [km/h]	2,80	13,5	154	---*	---*	39	0,917
Gás Natural	CO [%vol]	CO ₂ [%vol]	HC [ppm vol]	O ₂ [%vol]	NOx [ppm vol]	Potência na Roda [kW]	λ [kg _{ar} /kg _{com}]
100[km/h]	0,23	11,8	67	---*	4	32	0,988

* O traço inserido na tabela significa que o aparelho utilizado para realizar a medida não possui sensibilidade suficiente para detectar um percentual mínimo, próximo de zero.

Analisando-se os valores de uma forma geral, nota-se uma boa queda nas emissões de CO e HC, quedas de aproximadamente 90% e 55% respectivamente, quando o veículo utiliza gás natural ao invés de gasolina, e nota-se ainda que quando alimentado com gás o veículo possui maiores valores para o coeficiente λ, o que representa menores frações de combustível admitido em relação à utilização da gasolina, (“mais pobre”), fator esse que impulsiona a redução das emissões de CO e HC. O aumento da emissão de óxidos de nitrogênio quando se utiliza gás natural reflete que a temperatura da câmara de combustão do veículo aumentou em comparação com o uso de gasolina como combustível, devido à natureza gasosa do combustível, pois o combustível líquido ao evaporar-se na câmara de combustão ocasiona a retirada de calor, enquanto que o gás encontra-se em estado vapor.

4.2 Resultados Obtidos com o Veículo Renault Kangoo Express

De acordo com o fabricante, a potência máxima desenvolvida pelo veículo é de 54kW (74CV) a 5000RPM (≈122km/h).

Na Figura 5 tem-se a curva de potência máxima para o veículo, utilizando como combustível gasolina, sem a instalação do “Kit”(CTGAS, 2000) de GNV, ou seja, o veículo conservando as suas características originais.

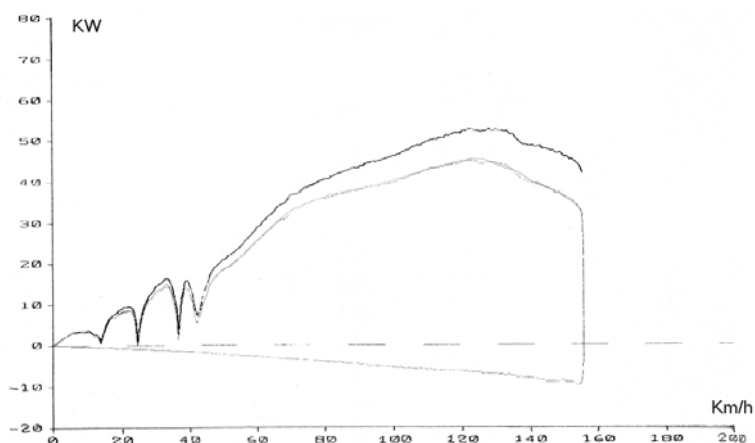


Figura 5 Curva de potência máxima obtida com o veículo Renault utilizando como combustível gasolina, conservando-se as características originais do veículo. (T_{amb}=24°C; k=1,024)

Conforme a curva, pode-se dizer que a potência máxima corrigida do motor do veículo é P_{máx}=52,8kW (≈72CV) na velocidade de 122km/h, estando o veículo conforme o seu estado original e alimentado com gasolina. Nota-se uma diferença de 1,2kW em relação à potência especificada pelo fabricante, diferença esta que se pode atribuir ao envelhecimento de alguns componentes do motor do veículo ou diferenças nas condições atmosféricas dos testes.

A seguir, na Fig. 6, apresenta-se um teste com o veículo equipado com um “Kit” de GNV encontrado comercialmente, mas utilizando como combustível gasolina. Este “Kit” de GNV possui um mesclador de alumínio com uma entrada de gás, diâmetro interno de 32mm, e que teve sua superfície interna polida.

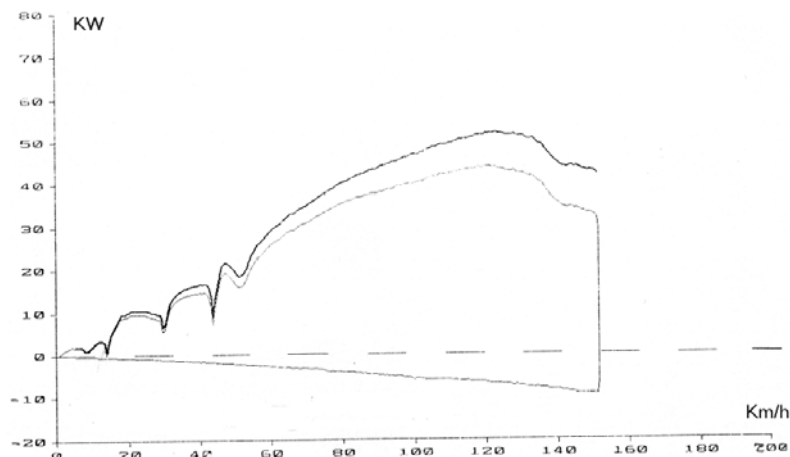


Figura 6 - Curva de potência máxima obtida com o veículo Renault utilizando como combustível gasolina, com a instalação do mesclador de GNV. ($T_{amb}=23^{\circ}C$; $k=1,022$)

Verifica-se que a potência máxima corrigida do motor do veículo alcançou valores de $P_{m\acute{a}x}=51,9kW$ ($\approx 70,5CV$) na velocidade de 121km/h. Sendo assim houve uma queda de potência de 1kW ($\approx 1,3CV$), ou seja, 1,7%. Conforme os casos anteriores, o principal fator para esta queda de potência está na restrição causada pela instalação do mesclador de gás no tubo de admissão de ar do motor do veículo, mas neste caso verificam-se bons resultados, uma queda de potência muito pequena, refletindo que o mesclador instalado não ocasiona restrições consideráveis no tubo do ar de admissão do veículo. Vale citar ainda, que o mesclador utilizado é de alumínio e teve sua superfície interna polida, com o objetivo de diminuir as perdas ocasionadas pelo atrito com o ar e conseqüentemente a restrição.

Pode-se visualizar o teste de potência máxima do motor do veículo na Fig. 7 com o veículo utilizando gás natural como combustível.

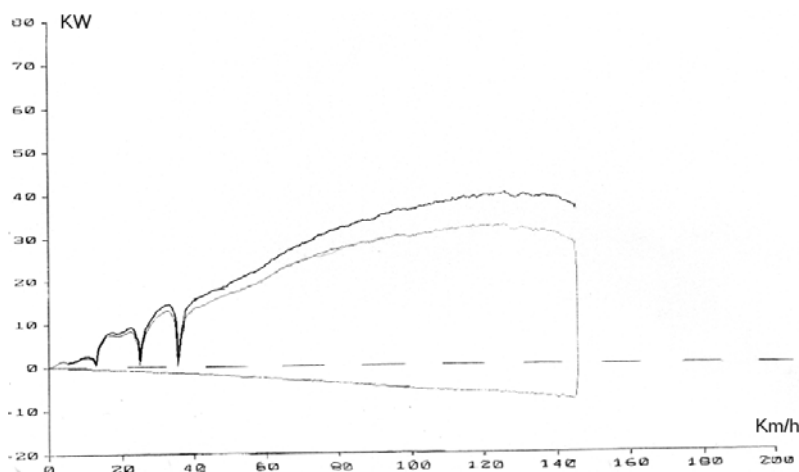


Figura 7- Curva de potência máxima obtida com o veículo Renault utilizando como combustível gás natural. ($T_{amb}=24^{\circ}C$; $k=1,024$)

Utilizando gás natural como combustível a potência máxima corrigida do motor do veículo ficou em $P_{m\acute{a}x}=40,1kW$ ($\approx 54,5CV$) na velocidade de 125,5km/h, ou seja, verifica-se uma queda de potência de 11,8kW ($\approx 16CV$), 22,8% em relação à utilização do combustível original gasolina estando o veículo equipado com o mesclador (“Kit” de conversão). Ao comparar a queda de potência em relação ao veículo utilizando gasolina sem o mesclador, conservando suas características originais, tem-se uma queda um pouco maior, 12,7kW ($\approx 17,3CV$), ou seja, aproximadamente 24%.

Em conjunto com o desenvolvimento da curva de potência do motor do veículo, decidiu-se verificar a potência máxima na roda do veículo em diversas velocidades e em plena carga, ao utilizar-se gás natural como combustível e gasolina com a instalação do mesclador. Os dados obtidos podem ser visualizados na Tab. 7.

Tabela 7. Potência máxima na roda do veículo Renault ao utilizar-se gasolina com a instalação do mesclador e gás natural como combustível.

Velocidade [km/h]	Potência na Roda [kW]	
	Gasolina com mesclador	GNV
40	10,1	7,4
60	17,5	14,3
80	24,7	19,2
100	30	23,6
120	34,5	26,8

Verifica-se uma queda média de 22% da potência na roda do veículo convertido quando testado com gasolina e mesclador em relação ao teste com o combustível gás, ou seja, tem-se a mesma queda em comparação com os testes anteriores de potência máxima no motor do veículo ao utilizar-se gasolina com o mesclador e gás como combustível.

5. Conclusão

Com a análise dos testes realizados nos veículos bi-combustíveis, gás natural – gasolina, constatou-se como principal ponto problemático, à perda demasiada de potência de alguns veículos convertidos.

Neste trabalho foram feitos testes de desempenho e emissões em veículos de diversos fabricantes, sendo que os resultados mostraram perdas médias de potência entre 30% a 12,5% ao utilizar-se gás natural nos veículos equipados com “Kits” de conversão sem controle da relação estequiométrica, fator Lambda, e redução média de emissões de gases nocivos, CO e HC entre 42% e 35%, e 21% e 4,5% respectivamente em relação à utilização de gasolina. Quanto aos veículos equipados com “Kits” de conversão com controle eletrônico da relação estequiométrica, os resultados mostraram-se mais eficientes, registrando-se perdas médias de potência entre 17% a 13% ao utilizar-se gás natural, e redução média de emissões de gases nocivos, CO e HC entre 85% e 17%, e 55% e 20% respectivamente em relação à utilização de gasolina

Sendo assim os testes de potência mostraram que os “Kits” de conversão com controle eletrônico da relação estequiométrica, fator lambda, promovem menores perdas de potência (mantém o $\lambda \approx 1$) e menores emissões de gases tóxicos em relação aos “Kits” de conversão sem controle da relação estequiométrica, pois instalando um “Kit” sem controle da relação estequiométrica em um veículo com injeção eletrônica se está transformando um veículo com injeção multiponto, sonda de oxigênio, sensor de pressão barométrica e outros, em um carro a gás carburado, já que basicamente são instalados emulador de sonda de oxigênio e emulador de eletro-injetores para que não apareça código de erro no painel. Portanto, estando a central eletrônica original do carro “devidamente enganada”, o veículo passa a funcionar de forma carburada a gás sem “realimentação”. Isto é muito preocupante, pois trabalhar em controle no estequiométrico é condição necessária para o catalisador ser eficiente.

Cabe ressaltar que praticamente todos os fornecedores de “Kits” têm versão para carros emissionados, onde a mistura é mantida no estequiométrico em todas as condições de uso através da dosagem de gás por um motor de passo controlado por uma central eletrônica ligada ao sensor de O₂. Estes “Kits” não são usados por serem bem mais caros e não ter uma imposição legal. Se os órgãos de fiscalização obrigassem a existência do controle de sonda no estequiométrico à situação seria resolvida

Foi constatado também que o modelo do mesclador influi decisivamente nas perdas de potência, recomenda-se aos convertedores que optem por mescladores de diversos fabricantes, verificando o que melhor se adapta para cada tipo de veículo, cuidando também quanto à qualidade de outros componentes do “Kit” de conversão, como emulador do sensor de O₂ e variador de avanço, pois em muitos casos apresentados estes equipamentos acabam contribuindo com as perdas de potência.

Quanto ao combustível gás natural, conclui-se que o lambda para a máxima potência deve ser aproximadamente igual a 1,00, mistura estequiométrica.

Pode-se ainda propor técnicas de regulagem para “Kits” sem controle da relação estequiométrica, com o objetivo de reduzir as perdas de potência e a emissão de poluentes, como instalar o aparelho analisador de gases com fonte de 12 Volts no interior do veículo ao alcance visual do motorista, e em um teste de rodagem regular o veículo, em sua situação real e mais apropriada de funcionamento, ou instalar um PLM (Professional Lambda Meter), cujas fontes já são 12 Volts, efetuar um teste de rodagem verificando o fator Lambda e regulando a válvula dosadora de gás de forma que se tenha Lambda aproximadamente 1,00 para as situações reais de uso de cada veículo, pois a técnica de regulagem recomendada para as oficinas convertedoras é ineficiente, sendo recomendado regular o veículo com aparelho analisador de 4 ou 5 gases amostrando antes do catalisador com o veículo parado e a uma certa rotação onde ao se colocar carga no motor automaticamente tem-se a mistura enriquecida.

6. Referências

- Costa, M. A., 2001. "CD de Conversão de Veículos ao Uso de Gás Metano Veicular" Escola SENAI Conde José Vicente de Azevedo, Caxias do Sul, RS.
- Cox, G.B. and DelVecchio, K.A., 2000. "Development of a Direct-Injected Natural Gas Engine System for Heavy-Duty Vehicles", Caterpillar, Inc. Peoria, Illinois.
- CTGÁS, 2000. "Apostila de Gás Metano Veicular/Técnicas de Conversão – Mecânico Montador/Convertedor", Unidade de Negócios de Educação, Natal, RN.
- Dallávia, D., 2001. "Apostila do Curso de Especialização em Utilizações do Gás Natural –Gás Natural Veicular", Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Sociedade de Engenharia do Rio Grande do Sul, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Porto Alegre, RS.
- Lastres, L. F. M. "Apostila de Utilização de Gás Natural em Motores Veiculares", Petrobrás, Cenpes, Diprod, Rio de Janeiro, RJ.
- Pascoli, S. e Luzzati, T., 2001. "Natural Gas, Cars and the Environment. A (relatively) Clean and Cheap Fuel Looking for Users", Dipartimento di Scienze Economiche, Università di Pisa, Pisa, Italy.
- Podnar, D.J. and Kubesh, J.T., 2000. "Development of the Next Generation Medium-Duty Natural Gas Engine", Southwest Research Institute, San Antonio, Texas.
- Yang, M. and Min, T.W., 1997. "Compressed Natural Gas Vehicles: Motoring Towards a Cleaner Beijing", China North Vehicle Research Institute, Beijing, China.

ANALYSIS OF CONVERTED VEHICLES TO USE OF NATURAL GAS FUEL

Pedro Mello & Giovanni Pelliza

Federal University of Rio Grande de Sul – UFRGS
Rua Sarmiento Leite, 425 – 90050-170 – Porto Alegre – RS
mello@mecanica.ufrgs.br

Abstract

Considering the increasing demand for environmentally less pollutant fuels, such as gasoline and diesel without sulphur, and the costs of technological transformation of fleets into hydrogen, methanol, ethanol and electricity, it is comprehensible the importance and the potentiality of the vehicle conversion processes for the use of natural gas.

Therefore, the objective of this work is to elaborate a manual for the transformation of vehicles fed with liquid fuels (gasoline, alcohol) into bi-fuelled vehicles: gasoline - natural gas, or alcohol - natural gas. So, therefore the work contains a detailed description of the necessary elements for the vehicle conversion, basic procedures for an efficient and safe conversion, and many tests of vehicles with the attainment of power curves relating the use of natural gas comparatively to the liquid fuel use. They are still presented analyses of exhaust pipe gases, with the intention to visualize the reductions of toxic gases emissions to the environment when natural gas in vehicles is used.

Keywords: natural gas, alternative fuel, environmental emissions.