

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA

**ESTUDO DE COMO A SOBREALIMENTAÇÃO AUMENTA A EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NOS MOTORES BICOMBUSTÍVEIS.**

São Caetano do Sul

2014

RODRIGO VIEIRA LAINO

**ESTUDO DE COMO A SOBREALIMENTAÇÃO AUMENTA A EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NOS MOTORES BICOMBUSTÍVEIS.**

Monografia apresentada ao curso de Pós Graduação
em Engenharia Automotiva, da Escola de
Engenharia Mauá do Centro Universitário do
Instituto Mauá de Tecnologia para a obtenção do
título de Especialista

Orientador: Prof. Henrique B. Pereira

São Caetano do Sul

2014

Laino, Rodrigo Vieira

Estudo de como a sobrealimentação aumenta a eficiência energética nos motores bicompostíveis / Rodrigo Vieira Laino. São Caetano do Sul, SP, 2014. 33p.

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Engenharia Automotiva. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2014.

Orientador: Prof. Henrique B. Pereira

1. Motores 2. Eficiência Energética 3. Combustíveis 4. Tecnologias 5. Turbocompressores. I. Laino, Rodrigo Vieira. II. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha amada esposa, Carolina Laino ao meus amados filhos, Enzo e Sophia Laino por sempre me apoiarem e me incentivarem para a sua conclusão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a General Motors do Brasil, por colaborar com minha especialização e sempre me apoiar para sua conclusão.

Agradeço também aos professores do Centro Maua de Tecnologia pelos ensinamentos passados a mim e aos meus colegas de curso.

E um agradecimento especial ao Professor Henrique B. Pereira pela paciência e orientação.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo estudar a utilização de turbocompressores em motores de ciclo Otto, demonstrando como essa tecnologia pode contribuir para uma melhor eficiência energética nos motores mais comumente utilizados no mercado brasileiro, ou seja motores bicom bustíveis. Os mesmos podem ser alimentados com Etanol, um combustível vegetal extraído principalmente da cana-de-açúcar, com Gasolina, um combustível fóssil subproduto da extração do petróleo, ou com uma mistura de qualquer proporção entre estes. Nesta configuração, em sua maioria, os motores podem ter uma eficiência energética menor do que os motores movidos com somente um tipo de combustível, devido ao diferencial de poder calorífico. Espero mostrar quais são as novas tecnologias de turbocompressores e como estas tecnologias podem ajudar a aumentar a sua eficiência energética proporcionando melhor performance e consumo para os veículos.

Palavras-chave: Motores. Eficiência Energética. Turbocompressores. Combustíveis. Tecnologias.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to study the use of turbochargers in the Otto cycle engine, demonstrating how this technology can help to improve energy efficiency in the most common used engines in the Brazilian market, in another words, bi-fuel engines, which can be fueled with Ethanol, a vegetable fuel extracted mostly from Sugar cane, gasoline, a fossil fuel byproduct of the petroleum extraction or a blend of any proportion between them. In this configuration most engines may have a lower efficiency than the engines powered with only one type of fuel, due to the differential calorific value. I hope to show what is the new turbochargers technologies and how these technologies can help increase energy efficiency by providing better performance and consumption for vehicles.

Keywords: Engines. Energy Efficiency. Turbochargers. Fuels. Technologies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Funcionamento do turbocompressor.....	14
Figura 2 – Admissão de motor aspirado.....	18
Figura 3 – Como um turbocompressor é instalado em um motor.....	18
Figura 4 – Funcionamento do turbocompressor.....	19
Figura 5 – Funcionamento da geometria variável segundo o regime do motor	21
Figura 6 – Secção de um turbocompressor de geometria variável.....	22
Figura 7 – Sistema de geometria variável	23
Figura 8 – Diferença dos Motores Com Injeção Convencional Para os Com Injeção Direta de Combustível.....	26
Figura 9 – Wastegate.....	28
Fotografia 1 - Turbocompressor.....	16
Fotografia 2 - Turbocompressor de Geometria Variável.....	20
Fotografia 3 - Wastegate	27
Gráfico 1 – Motor gasolina com injeção direta para motor etanol com injeção direta.	30
Gráfico 2 – Investigações sobre a combustão com misturas de etanol em funcionamento com Injeção Direta.....	30
Gráfico 3 – Estimativas de consumo de combustível e emissão de CO ₂	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(opcional)

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IMT	Instituto Mauá de Tecnologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo
TGV	Turbocompressor de Geometria Variável
PMS	Ponto Morto Superior – é a posição na qual o pistão está o mais próximo possível do cabeçote.
PMI	Ponto Morto Inferior – é a posição na qual o pistão está o mais afastado possível do cabeçote
GDI	Gasoline Direct Injection
E85	Mistura de 85% de Etanol e 15% de Gasolina
	Etanol puro, ainda que realmente é etanol hidratado, com até 4,9% de
E100	água
ECU	<i>Engine Control Unit</i> (Unidade de Controle do Motor)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	12
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	13
2 SOBREALIMENTAÇÃO.....	Erro! Indicador não definido.
2.1 TURBOCOMPRESSORES.....	16
2.1.1 Origem e Histórico dos Turbocompressores.....	16
2.1.2 Conceitos Básicos.....	17
2.1.3 Turbina de Geometria Variável	20
2.1.3.1 Origem da geometria variável	22
2.1.4 A Evolução dos Turbocompressores.....	23
2.2 TURBOCOMPRESSORES E OS MOTORES <i>FLEX</i>	24
2.2.1 Injeção Direta de Combustível	25
2.2.2 Controle de Pressão de Sobrealimentação.....	27
3 MÉTODO.....	29
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	30
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho visa demonstrar como os turbocompressores contribuem para que os motores de ciclo Otto flexíveis alimentados por Etanol e/ou Gasolina aumentem sua eficiência energética. Os motores bicomcombustíveis possuem uma eficiência energética menor do que os motores movidos com somente um combustível, de modo que espero demonstrar como os turbocompressores podem ajudar esses motores a melhorar sua eficiência, tanto em consumo, quanto em emissão de poluentes. Meu estudo tem o objetivo de descrever os turbocompressores empregados em motores de ciclo Otto, criando uma relação com os motores que utilizam Etanol e/ou Gasolina e como esta tecnologia pode ajudar a aumentar a sua eficiência energética proporcionando maior satisfação para o consumidor final.

Conforme reportagem da Revista Quatro Rodas (Set. 2005), quando se introduziu o motor bicomcombustível no Brasil era comum ouvir de consumidores que trocaram seu veículo gasolina pelo de mesmo modelo *flex* que o veículo consumia mais combustível, mesmo utilizando somente a gasolina no tanque. Por esse motivo, apesar de apresentar um melhor desempenho com o combustível vegetal, os veículos bicomcombustíveis perdiam em autonomia.

Os motores *flex*, em sua maioria, possuem taxa de compressão - índice que mede a quantidade de vezes que a mistura de ar e combustível é comprimida antes de explodir - intermediária entre os motores a gasolina e os a álcool. Em geral, o derivado do petróleo trabalha com uma compressão de 10:1 (isto significa que a câmara de combustão, quando completamente distendida, possui volume 10 vezes maior em relação ao da câmara completamente comprimida), enquanto o combustível de cana fica em 12:1. Os carros *flex* em sua maioria, utilizam uma taxa de compressão intermediária, ao redor de 11:1, devido a isso, esses motores acabam sendo menos eficientes, ocasionando um maior consumo de combustível e maiores emissões de poluentes.

Junto aos turbocompressores, podem ser aplicadas em motores de ciclo Otto, alguns outros componentes que aumentariam ainda mais sua eficiência, são eles: bielas de comprimento variável, turbocompressores de geometria variável, sistema de injeção direta de combustível, válvulas com acionamento eletro-hidráulico.

¹ Termo popularmente utilizado para descrever os motores bicomcombustíveis que utilizam Etanol e/ou Gasolina em qualquer proporção.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é demonstrar como os turbocompressores podem contribuir para a máxima eficiência dos motores *flex*.

Serão descritos os turbocompressores que podem ser aplicados em motores de ciclo Otto para alterar sua faixa de utilização de compressão, quando utilizados combustíveis diferentes da gasolina, identificando os principais fatores que ocasionam este efeito e quais as principais soluções encontradas hoje no mercado e que estão em estudo.

Um motor com taxa de compressão para trabalhar com etanol (em torno de 12:1) pode sofrer alterações em seu funcionamento quando utilizar gasolina, ocasionando uma pré-ignição, e em casos extremos, a quebra do mesmo. Para evitar este problema, são incluídos controles eletrônicos que gerenciam o funcionamento do motor, alterando o ponto de ignição, ocasionando um maior consumo de combustível e maiores emissões de poluentes. Enquanto isso um motor com taxa de compressão para funcionar com gasolina (em torno de 10:1) não extrairá todo poder calórico do combustível quando trabalhar com etanol, eliminando uma parte do combustível na atmosfera, aumentando, assim, as emissões de poluentes.

O desafio deste trabalho é pesquisar soluções para estas questões, identificando as melhores alternativas para que o motor de ciclo Otto passe a funcionar de forma ideal, com a melhor relação estequiométrica independentemente do tipo de combustível utilizado, aperfeiçoando sua eficiência energética, ou seja, melhorando seu desempenho, consumo e emissões de poluentes.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Um motor de ciclo otto com turbocompressor, pode melhorar a eficiência dos motores bicomustíveis?

1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Devido à alta demanda por veículos menos poluentes e com maior eficiência energética, os turbocompressores estão cada vez mais presentes nos veículos, sendo que nos motores diesel atuais posso afirmar que quase 100% estão equipados com este equipamento, e creio que este também será o futuro dos motores Otto.

Neste ano o governo brasileiro criou o Programa INOVAR AUTO, na qual haverá benefícios para as empresas que investirem em pesquisa e desenvolvimento de automóveis mais seguros e eficientes. Com isso haverá uma busca por novas tecnologias que diminuam o consumo de combustível e principalmente as emissões de poluentes dos veículos. Pela maior eficiência dos motores sobrealimentados, ocorrerá no Brasil o *Downsizing*², onde os atuais terão sua capacidade cubica diminuída e acrescidos de turbocompressores, assim como ocorreu na Europa nos últimos anos.

No mercado brasileiro temos a particularidade do uso do Etanol e o principal fator a ser estudado é a introdução da utilização do *Downsizing* em conjunto com o Etanol, visto que será um enorme desafio a aplicação do sistema *Flex* em motores sobrealimentados.

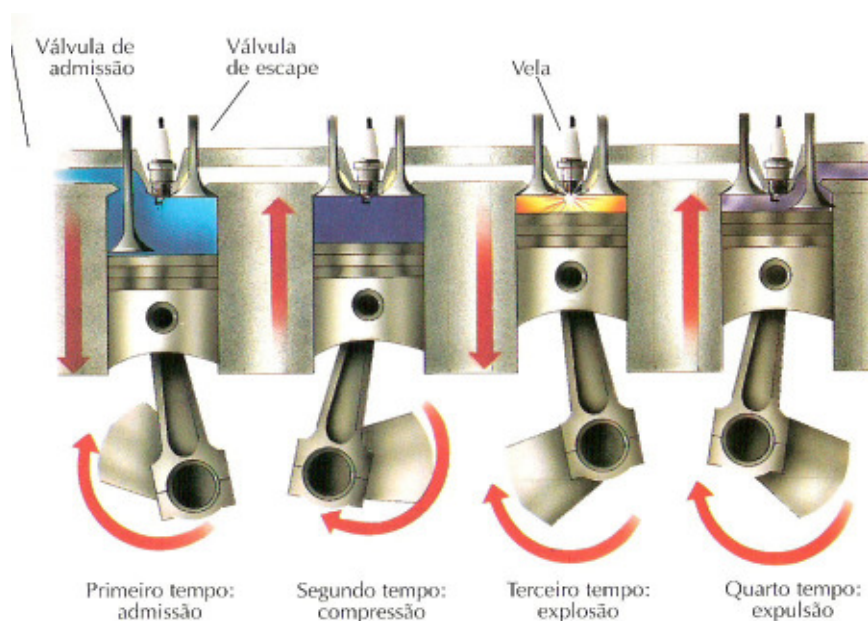
² Termo popularmente utilizado para descrever a troca de motores menores, porém com melhor eficiência do que motores maiores.

2 SOBREALIMENTAÇÃO

Para o melhor entendimento sobre sobrealimentação o ideal é ter familiaridade com os princípios de operação dos motores de combustão interna de Ciclo Otto.

O ciclo de operação consiste em 4 tempos durante 2 revoluções completas do virabrequim (fig.1).

Figura 1 – Esquema de funcionamento do motor de 4 tempos



Conforme Heywood (1988), o ciclo de funcionamento de um motor de Ciclo Otto e 4 tempos é o seguinte:

1. Com o êmbolo (também designado por pistão) no PMS (ponto morto superior) é aberta a válvula de admissão, enquanto se mantém fechada a válvula de escape. O ar (motores com injeção direta) ou a mistura ar/combustível (regulada pelo sistema de alimentação, que pode ser um carburador ou pela injeção eletrônica) é aspirado através da válvula de admissão. O pistão é interligado à biela e esta por sua vez é interligada ao eixo de manivelas (virabrequim) impulsionando-o em um movimento de rotação. O pistão move-se então até o PMI (ponto morto inferior). Este passeio do êmbolo é chamado de primeiro tempo do ciclo, ou tempo de admissão.
2. Fecha-se nesta altura a válvula de admissão, ficando o cilindro cheio com a mistura gasosa, que agora é comprimida pelo pistão, impulsionado no seu sentido ascendente

em direção ao cabeçote do motor por meio do virabrequim até atingir de novo o PMS. Durante este movimento as duas válvulas se encontram fechadas. Este segundo passeio do êmbolo é chamado de segundo tempo do ciclo, ou tempo de compressão.

3. Quando o êmbolo atinge o PMS, a mistura gasosa que se encontra comprimida no espaço existente entre a face superior do êmbolo e o cabeçote do motor, denominado câmara de combustão, é inflamada devido a uma faísca produzida pela vela e "explode". O aumento de pressão devido o movimento de expansão destes gases empurra o êmbolo até o PMI, impulsionando, desta maneira, por meio da árvore de manivelas e produzindo a força rotativa necessária ao movimento do eixo do motor que será posteriormente transmitido às rodas motrizes. Este terceiro passeio do êmbolo é chamado de terceiro tempo do ciclo, tempo de explosão, tempo motor ou tempo útil, uma vez que é o único que efetivamente produz trabalho, pois durante os outros tempos, apenas se usa a energia de rotação acumulada no volante ("inércia do movimento"), o que faz com que ele, ao rodar, permita a continuidade do movimento por meio de manivelas durante os outros três tempos.
4. O cilindro encontra-se agora cheio de gases queimados. É nesta altura, em que o êmbolo impulsionado por meio da árvore de manivelas, retoma o seu movimento ascendente e a válvula de escape se abre, permitindo a expulsão para a atmosfera dos gases impelidos pelo êmbolo no seu movimento até o PMS, onde se fecha a válvula de escape. Este quarto passeio do êmbolo é chamado de quarto tempo do ciclo, ou tempo de exaustão.

Após a expulsão dos gases o motor retorna as condições iniciais permitindo que o ciclo se repita.

No processo descrito acima, o motor opera como um motor de aspiração natural, onde o ar necessário para combustão é diretamente aspirado para dentro do cilindro durante o ciclo de admissão. Nos motores sobrealimentados, o ar necessário para a combustão é pré-comprimido antes do fornecimento para o motor. O motor aspira o mesmo volume de ar, porém devido a maior pressão, mais massa de ar é admitida na câmara de combustão, consequentemente, mais combustível pode ser queimado, aumentando a potência do motor.

2.1 TURBOCOMPRESSORES

A seguir, farei uma introdução ao Turbocompressor e correlacionarei-o ao objetivo proposto para este trabalho, identificando sua origem, história e utilização.

2.1.1 Origem e Histórico dos Turbocompressores

De acordo com Mayer (1996, p.4) o Turbocompressor (fotografia 1) foi inventado por um engenheiro suíço chamado Alfred Büchi (1879-1959), chefe de pesquisa do motor diesel na Gebrüder Sulzer Motor, empresa de fabricação em Winterthur, que criou uma patente em 1905 identificando o uso de um compressor acionado por gases de escapamento para forçar o ar em um motor de combustão interna e aumentar a produção de energia.

Fotografia 1 – Turbocompressor



FONTE: Divulgação Garrett

Apesar desta patente ser criada em 1905 foram necessários praticamente 20 anos para a idéia ser concretizada, onde durante a I Guerra Mundial o engenheiro francês Auguste Rateau criou um sistema de turbocompressores para equipar motores Renault, alimentando vários caças franceses com sucesso. Em 1918, o engenheiro da General Electric, Sanford Alexander Moss anexou um turbocompressor em um motor de avião V12 Liberty. O motor foi testado em Pikes Peak, no Colorado a 14.000 pés (4.300 m) para demonstrar que poderia eliminar a perda de potência que geralmente ocorria em motores de combustão interna, como resultado da pressão de ar reduzida e densidade em altitude elevada. A General Electric chamou-o de Turbosupercharging System. Na época, todos os dispositivos de indução forçada eram conhecidos como compressores, no entanto, mais recentemente, o termo "supercharger" passou a ser aplicado a apenas dispositivos de indução forçada mecanicamente.

Turbocompressores foram usados pela primeira vez em motores de aeronaves de produção na década de 1920, apesar de serem menos comuns do que os compressores centrífugos.

Os navios e locomotivas equipadas com motores a diesel turboalimentados também começaram a aparecer na década de 1920.

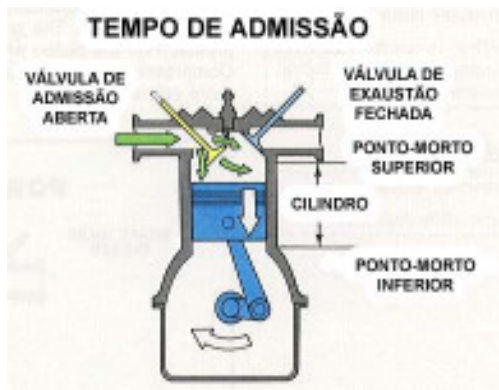
Turbocompressores foram usados na aviação, mais amplamente pelos Estados Unidos, durante a Segunda Guerra Mundial.

A tecnologia também foi utilizada durante anos em experimentos por uma série de fabricantes, porém a necessidade de metais nobres que suportem alta temperatura mantiveram os turbocompressores fora do uso generalizado até pouco tempo, onde surgiu a necessidade por melhor consumo de combustíveis e redução dos gases nocivos para o planeta, e criou-se o famoso Downsize, que impregou os turbocompressores em motores de menor cilindrada, sem perda de performance se comparado aos motores de maior cilindrada.

2.1.2 Conceitos Básicos

Atualmente no Brasil, a maioria dos motores de combustão interna são utilizados de forma aspirada (fig.3), onde os gases de entrada são aspirados para dentro do motor através do curso descendente do êmbolo (que cria uma área de baixa pressão), semelhante a aspiração de líquido através de uma seringa. A quantidade de ar efetivamente inalada, em comparação com a quantidade teórica, mantendo-se a pressão atmosférica, é chamado rendimento volumétrico. O objetivo de um turbocompressor é melhorar a eficiência volumétrica de um motor através do aumento da densidade do ar de admissão.

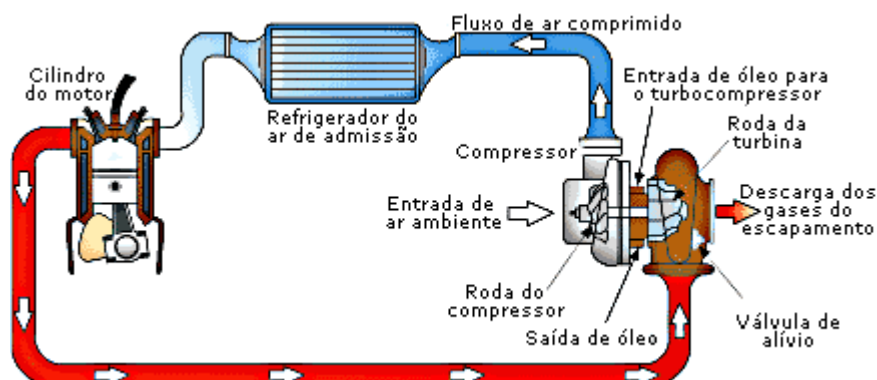
Figura 2 – Admissão de motor aspirado



Com a crescente busca por maior eficiência energética, aplicou-se o conceito de *Downsizing*, onde o turbocompressor se tornou parte importante do desenvolvimento de novos motores, e amplamente utilizado nos países de primeiro mundo, principalmente da Europa. Este conceito se dá na substituição de motores de maior cilindrada, por motores menores sobrealimentados. Desta forma se tem um motor com o mesmo torque e potência, porém com menor consumo de combustível.

O turbocompressor é movido por uma turbina, que é acionada pelos gases eliminados pelo ciclo de exaustão do motor (fig.4). A energia presente nos gases de exaustão não é aproveitada em um motor naturalmente aspirado.

Figura 3 – Como um turbocompressor é instalado em um motor

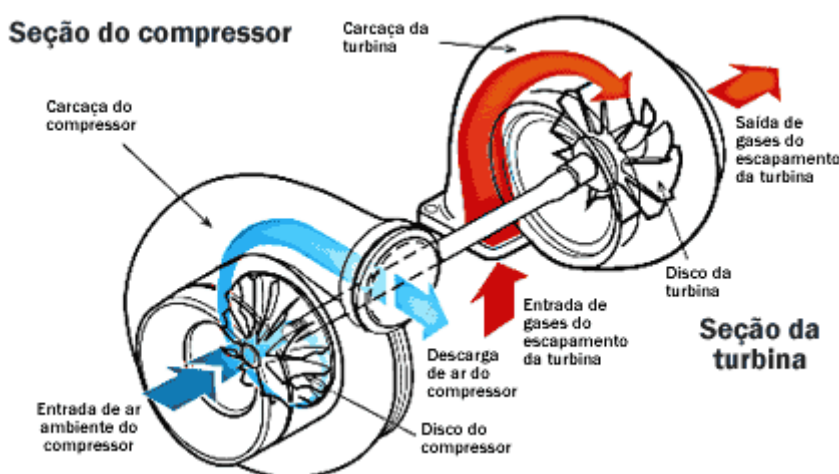


FONTE: Divulgação Garrett

O rotor da turbina é conectado por um eixo ao rotor do compressor (fig.5) e os dois rotores giram juntos para comprimir grandes quantidades de ar do ambiente e empurar para dentro do

cilindro no ciclo de admissão. Como durante o trabalho de compressão ocorre um aumento de temperatura do ar, é instalado entre o compressor e o sistema de admissão um trocador de calor chamado de Intercooler, que reduz a temperatura do ar em relação aos valores observados na saída do compressor, aumentando a densidade do ar e consequentemente, ocasionando um acréscimo de potência. O resfriador de ar também ajuda a reduzir a temperatura do processo de combustão do motor e dos gases de escapamento, trazendo benefícios significativos em consumo de combustível e emissões de poluentes, e aumentando sua eficiência energética.

Figura 4 – Funcionamento do turbocompressor



FONTE: Divulgação Garrett

Nos últimos anos temos ouvido muito o termo *Downsizing*, onde a idéia central é reduzir a cilindrada dos motores, mantendo potência, torque e resposta ao acelerador para que o motorista não sinta que a economia de combustível venha associada à menor agilidade do carro. Com os turbocompressores, mais energia pode ser gerada em um motor inicialmente aspirado, ou seja, podem ser utilizados motores de baixa cilindrada para substituir motores de maior cilindrada, e isso significa uma melhor eficiência de combustível. Como exemplo, a estratégia de *Downsizing* levará à substituição de motores de 12 cilindros por de 8 cilindros, que serão substituídos por de 6 cilindros e estes por 4 cilindros e assim sucessivamente. Ou então terão diminuição de sua capacidade cubica, ou seja com apenas 1.000 cm³, esses propulsores poderão alcançar o mesmo desempenho de um de 2.000 cm³. Algumas montadoras tem testado motores de 2 cilindros turbo, com rendimento similar a de 4 cilindros e 1.000 cm³,

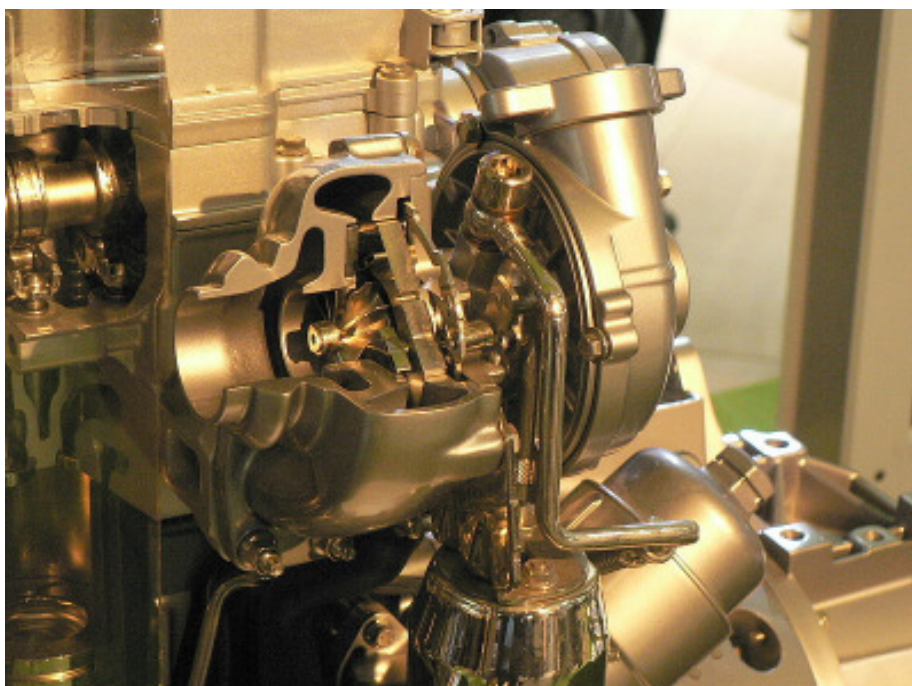
A fim de aproveitar a ótima curva de torque dos motores sobrealimentados, onde com pouco mais de 1000 RPM temos quase 100% do torque disponível, a transmissão também é alongada com o objetivo de melhorar o consumo.

2.1.3 Turbina de Geometria Variável

Turbocompressores de geometria variável utilizam aletas móveis para ajustar o fluxo de ar para a turbina, simulando diversos turbocompressores de tamanhos diferentes, otimizando, assim, a curva de potência. As aletas são colocadas na frente da turbina como um conjunto de paredes ligeiramente sobrepostas. O seu ângulo é ajustado por um atuador para aumentar ou bloquear o fluxo de ar para a turbina. Esta variação mantém a velocidade de descarga e contra-pressão ao longo das rotações do motor. O resultado é que o turbocompressor aumenta a eficiência de combustível sem um nível notável de turbo lag.

Como resultado, é possível regular o fluxo de gás para funcionar como um turbo pequeno em baixas velocidades, fornecendo assim maiores níveis de torque ao motor. No caso de velocidades mais elevadas, o turbo configura-se automaticamente para proporcionar o desempenho de um turbo de maiores dimensões, gerando maior potência.

Fotografia 2 – Turbocompressor de Geometria Variável



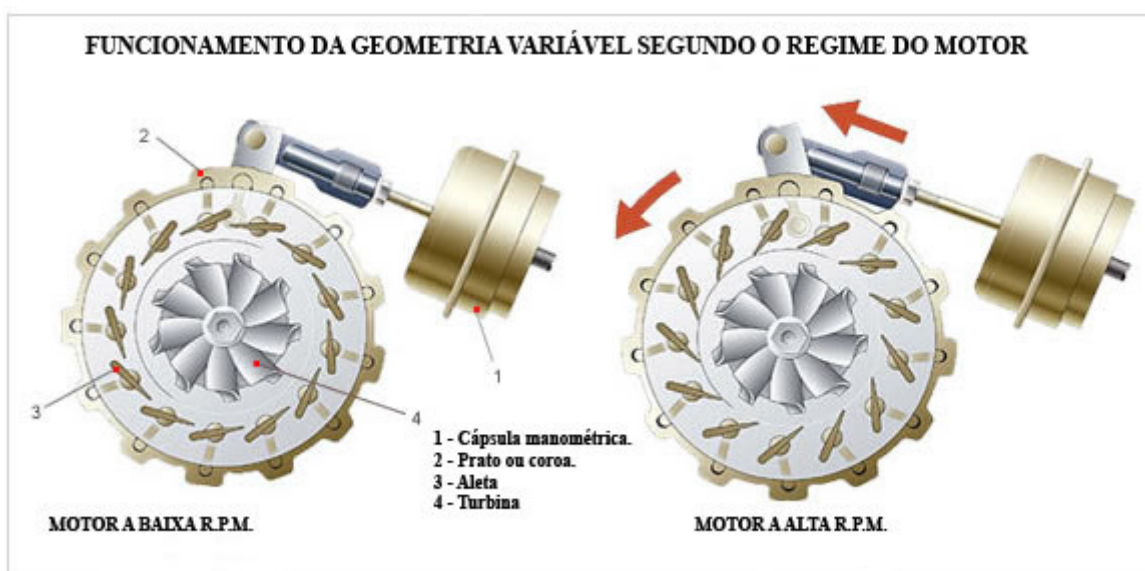
FONTE: Divulgação Garrett

A tecnologia de geometria variável tem, como principal característica, a utilização de aletas móveis na turbina. Em baixas rotações, quando a vazão de ar e de gases do motor é

relativamente baixa, as aletas permanecem mais fechadas, reduzindo a área de passagem, o que aumenta a velocidade dos gases. Com a maior velocidade dos gases, o rotor da turbina gira mais rápido, aumentando a pressão de sobrealimentação e o torque do motor.

Nas altas rotações, quando a vazão de ar e de gases é maior, as aletas ficam mais abertas, o que reduz a contrapressão gerada pela turbina, e assim, possibilita alta potência para o motor. Em síntese, a geometria variável permite que o motor obtenha a pressão de sobrealimentação ideal, independente da faixa de rotação.

Figura 5 – Funcionamento da geometria variável segundo o regime do motor

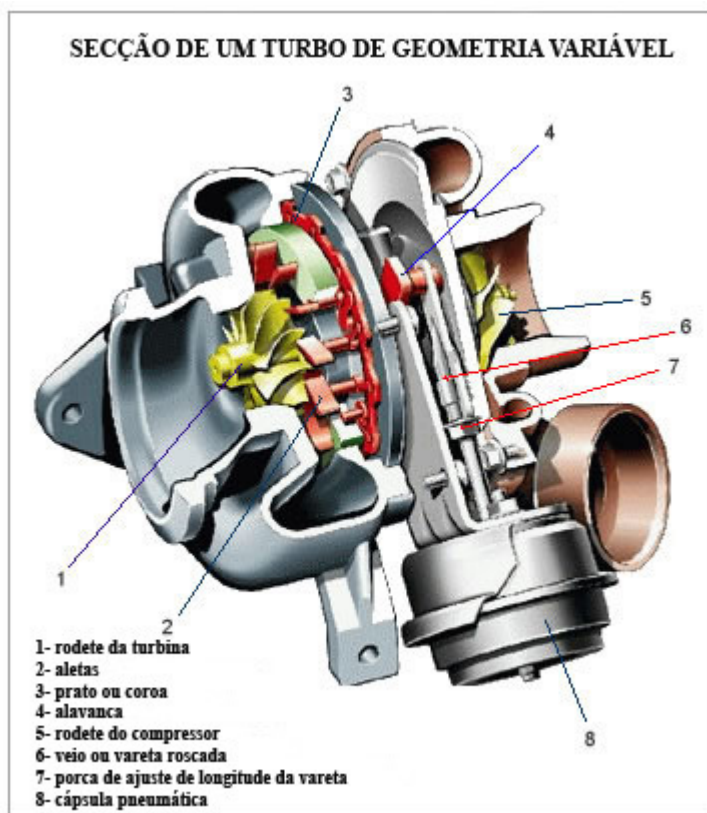


FONTE: Divulgação Garrett

A tecnologia do turbo de geometria variável (fig.7) proporciona torque elevado em baixas rotações, melhora o comportamento dinâmico, a dirigibilidade, a performance do veículo e o consumo de combustível. Adicionalmente, acentua a recirculação dos gases de descarga, contribuindo para redução da emissão de NOx (óxidos de nitrogênio).

O turbo de geometria variável foi criado nos laboratórios da Honeywell com o objetivo de oferecer aos fabricantes de veículos, motores mais eficientes em desempenho, consumo de combustível e redução de poluentes, além de proporcionar melhor padrão de dirigibilidade.

Figura 6 – Secção de um turbocompressor de geometria variável



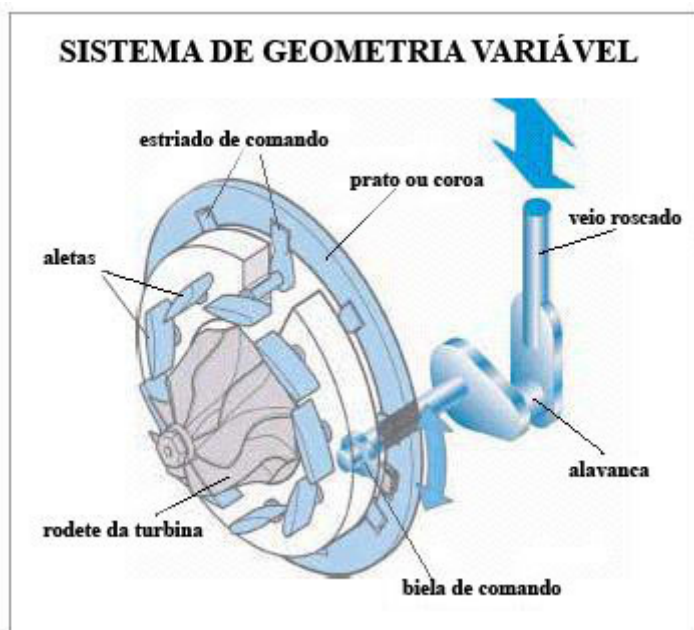
FONTE: Divulgação Borg Warner

2.1.3.1 Origem da geometria variável

Esta tecnologia de turbocompressores foi lançada em 1995, no motor 1.9 litros do automóvel Fiat Croma. A segunda geração surgiu em 1998, no BMW Série 1 com aperfeiçoamentos, entre os quais, nova aerodinâmica para as aletas e para o rotor da turbina, resultando em maior robustez e melhor desempenho.

Em sua terceira geração, o turbo de geometria variável é controlado por um atuador eletrônico que faz interface direta com a unidade de controle do motor, possibilitando respostas mais rápidas e maior precisão no valor da pressão de sobrealimentação e, em determinadas condições, a recirculação dos gases de escape, necessária para a redução de emissões.

Figura 7 – Sistema de geometria variável



FONTE: Divulgação Borg Warner

2.1.4 A Evolução dos Turbocompressores

Ao comemorar o cinquentenário do lançamento do primeiro automóvel equipado com motor turboalimentado – um Oldsmobile F85 Jetfire, lançado em 1962 – a Honeywell Turbo Technologies, fabricante dos turbos Garrett, avaliou a evolução do sistema e constatou os benefícios significativos para a preservação ambiental, além dos ganhos também expressivos em desempenho, potência, torque, dirigibilidade e na redução de peso e tamanhos dos veículos.

A avaliação mostrou que a turboalimentação contribuiu para a redução do consumo de combustível e de emissões em mais de 60%, em comparação com os motores aspirados produzidos na década de 60.

No exercício de comparação, a engenharia da Honeywell avaliou as características do motor V8 do Oldsmobile F85 Jetfire de 1962 com as do Volkswagen 4 cilindros em linha que atualmente equipa veículos como o Jetta, Tiguan, New Fusca e Passat, entre outros. Além da redução de tamanho, o motor VW, embora com a metade do número de cilindros, produz 211 cv de potência, praticamente a mesma do V8 com o primeiro turbo, com 215 cv. A faixa de torque é de 280 Nm, superior aos 270 Nm do motor do Oldsmobile.

Outra comparação entre os motores foi em relação à potência específica: enquanto o motor do Oldsmobile produzia 61 cv/l, o VW corresponde a 105,5 cv/l, com 58% de vantagem. Em desempenho, o Oldsmobile Jetfire chegava aos 100 km/h em 8,5 segundos e tinha velocidade máxima de 176 km/h. Com o motor de 4 cilindros 2.0 TSI, o Jetta atinge 100 km/h em 7,5 segundos (11% mais rápido) e a máxima de 238 km/h (35% maior).

Em termos ambientais, a empresa comparou a emissão do motor VW 2.0 TSI com a do V8 do Bentley 2002, primeiro ano no qual o conceituado catálogo internacional *Automobil Revue* passou a divulgar os níveis de emissões dos automóveis produzidos em todo o mundo. O exercício mostrou que a emissão de CO₂ do referido motor V8 era de 456 g/km percorrido, contra apenas 167 g/km do motor do VW 2.0 TSI, quase 64% menos.

A evolução e benefícios permitidos pela turboalimentação não param aí. Segundo Christian Streck (2013), gerente de engenharia e negócios da Honeywell Turbo Technologies, as novas tecnologias que já estão sendo aplicadas nos veículos europeus vão fazer com que o nível de emissão caia abaixo de 100 g/km, o que representa uma redução de quase 80% e o uso de materiais mais leves e resistentes (desenvolvidos ao longo desse período), o desenho mais aerodinâmico dos rotores, a geometria da área de fluxo aerodinâmico de gases e a aplicação de novas tecnologias (entre as quais, a geometria variável para as aletas e o uso de rolamentos para os rotores dos turbos), permite que seja possível 5 veículos de hoje circularem para corresponder à emissão de apenas um automóvel da década de 60.

2.2 TURBOCOMPRESSORES E OS MOTORES *FLEX*

Estudos apontam que os motores flexíveis são uma importante parte da solução dos problemas de emissão de CO₂, visto que o uso do etanol em motores de combustão interna podem ter um impacto ambiental menor do que um veículo puramente elétrico, pois embora a emissão de CO₂ em um veículo elétrico seja zero, a produção da energia elétrica não é. Mesmo no Brasil, cerca de 20% da energia elétrica é produzida por usinas termoelétricas e parte expressiva destas, geram energia através da queima de carvão, com significativo impacto ambiental. Por outro lado, a produção de bioetanol absorve CO₂ do ambiente. Ainda se considerarmos as baterias mais modernas da atualidade, observamos que estas utilizam metais que podem causar um grande impacto ambiental, se seu descarte não for bem executado.

Os motores movidos a etanol ainda possuem uma eficiência energética menor do que os motores movidos a gasolina, porém possuem um potencial muito maior. Os motores movidos a etanol podem ser muito mais eficientes que os motores a gasolina.

Sabendo do quanto os motores movidos por etanol e gasolina podem evoluir, diversas empresas tem buscado algumas soluções que visam principalmente melhorar a eficiência energética.

As principais soluções apresentadas atualmente são: injeção direta de combustível, controle da pressão efetiva da turbina e a busca por novos materiais que suportem a alta taxa de corrosão do Etanol, bem como a alta diluição do óleo lubrificante.

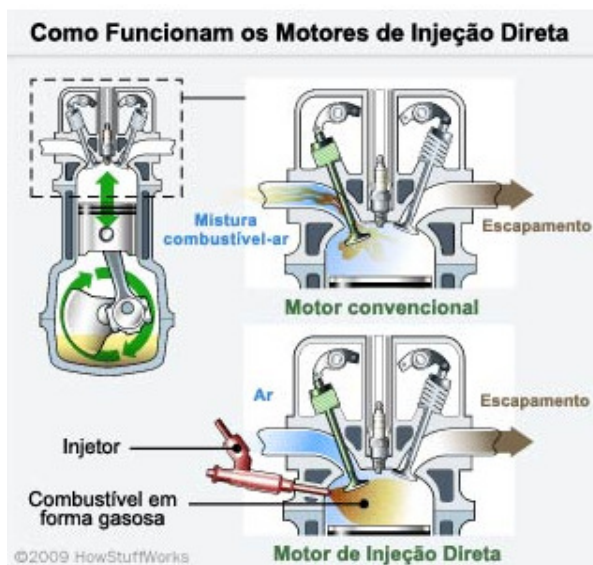
O primeiro veículo/motor a adotar todas essas tecnologias no mercado brasileiro foi a BMW 320i no ano de 2013. Com o nome de *ActiveFlex*, introduziu-se o primeiro motor turbo movido com E100 no mundo e para isso foram aplicados: injeção direta de combustível variável, comandos variáveis, turbina de geometria variável de duplo fluxo e sensor de combustível que determina a proporção de Etanol existente na mistura antes de chegar injetores permitindo que o desempenho não seja alterado independente do combustível a ser utilizado. Outro fator importante aplicado para evitar a diluição do óleo lubrificante pelo Etanol e consequentemente a corrosão dos componentes internos, tanto do motor quanto da turbina foi a implementação de um sistema de captação de vapor de Etanol dispendido do lubrificante aquecido e direcionado para o filtro de ar.

2.2.1 Injeção Direta de Combustível

Um dos sistemas mais aplicados atualmente e de grande importância para a busca da eficiência energética é a injeção direta de combustível. Já aplicado a bastante tempo em motores movidos a diesel e há algum tempo em motores movidos a gasolina, os famosos GDI (Gasoline Direct Injection), contribuíram de forma significativa para o *Downsizing*, principalmente quando sobrealimentados.

A diferença principal do método convencional para a injeção direta, é a eliminação do processo de mistura ar/combustível feito pelo coletor de admissão (fig.9). Na injeção direta os injetores são posicionados diretamente no cabeçote e a mistura é gerada dentro câmara de combustão.

Figura 8 – Diferença dos Motores Com Injeção Convencional Para os Com Injeção Direta de Combustível



Os motores de injeção direta propiciam mais força por unidade de combustível utilizada, por dois principais motivos: primeiro, utilizam uma mistura de ar e combustível mais “pobre”; segundo, a maneira pela qual o combustível se dispersa no interior da câmara permite que ele seja queimado de forma mais eficiente.

O primeiro motor movido a etanol e gasolina com injeção direta e aspiração natural lançado no mercado brasileiro foi o *Ford Duratec Direct Flex*, aplicado ao Ford Focus no ano de 2013. Este motor é o pioneiro no mundo a utilizar injeção direta com 100% de etanol (E100) no sistema, visto que nos EUA já é utilizado há algum tempo, porém com E85, uma mistura de 85% de etanol e 15% de gasolina.

Segundo a Ford (2014), o combustível abastecido no tanque é conduzido por bombas (elétrica e mecânica de alta pressão) até as flautas onde estão os bicos injetores. O duplo comando independente e variável de válvulas controla o fluxo da injeção em alta pressão dentro do cilindro, que opera com uma taxa de compressão de 12:1. O combustível é borrifado diretamente na câmara de combustão. Com o auxílio de sensores inteligentes, ele é queimado no ponto, na quantidade e no momento ideal para extrair o máximo de energia e transformá-la em trabalho, que se traduz em torque e potência para o veículo. Junto com a ação do catalisador, esse processo garante também um nível reduzido de emissões. Os materiais e revestimentos especiais utilizados em todo o sistema de alimentação e combustão,

incluindo bomba, tubos e válvulas, protegem os componentes contra a ação de oxidação gerada pelo etanol.

Conforme informação disponibilizada pela Ford (2013), o motor com o sistema atual de injeção direta, produz uma potência específica de 175cv/178cv(gasolina/etanol) a 6.500 rpm, ante 143cv/148cv(gasolina/etanol) a 6.250 rpm com injeção convencional, e o torque máximo no motor de injeção direta subiu para 21,5 m·kgf (gasolina) e 22,5 m·kgf (etanol) ante 18,8 m·kgf a 4.250 rpm (gasolina) e 19,5 m·kgf a 5.250 rpm (etanol) com a mesma rotação de 4500 rpm e ainda segundo a Ford (2013) na média o novo motor é até 15,8% mais econômico que o anterior, mostrando o quanto evoluiu sua eficiência energética de um sistema para o outro.

2.2.2 Controle de Pressão de Sobrealimentação

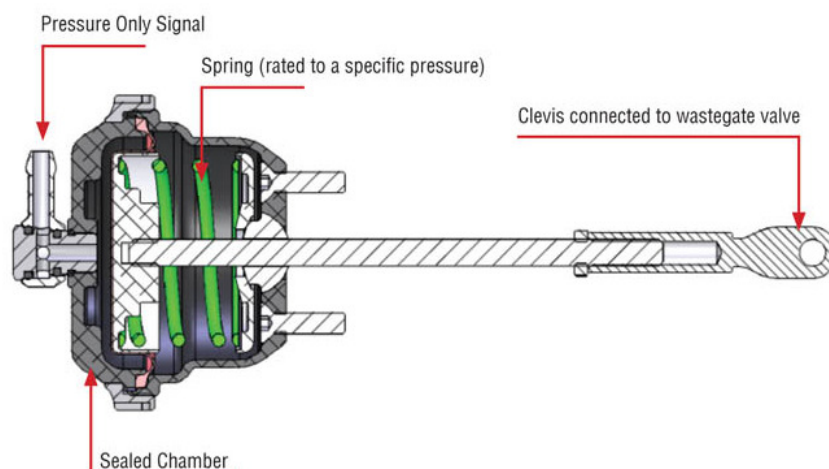
O controle de turbocompressores é muito complexo e mudou drasticamente ao longo dos mais de 100 anos de seu uso. Turbocompressores modernos podem usar wastegates, blow-off, geometria variável e o último deles, recentemente desenvolvido pela Honeywell, chamado R-Flow.

A forma mais comum de controle de pressão de turbocompressores é através de uma válvula de controle com acionamento diafragmatico, chamada tecnicamente de Wastegate (Fot.3), que controla a passagem, para o rotor do compressor, do gás eliminado na exaustão. Com isso somente uma parte dos gases passa pelo turbocompressor, regulando sua rotação e, consequentemente, a pressão admitida pelo motor. Quanto maior for o volume de gases provenientes da exaustão recebido pelo rotor do compressor, maior será a rotação do conjunto e mais alta será a pressão produzida (fig.10).

Fotografia 3 – **Wastegate**



Figura 9 – **Wastegate**



Conforme explicado, este sistema permite apenas o ajuste máximo da pressão de compressão, onde esta aumenta conforme carga aplicada ao rotor do compressor até o pico ajustado mecanicamente ou eletronicamente através da ECU.

Para assegurar o controle mais preciso da pressão efetiva de sobrealimentação independente da rotação do motor, foi idealizado o R-Flow, um sistema criado pela Honeywell, que segundo Christian Streck (2013) pode variar esta pressão conforme carga aplicada no acelerador, exatamente como funciona atualmente o controle do ponto de ignição, podendo garantir a melhor performance/eficiência em qualquer rotação.

O R-Flow é constituído por 1 disco móvel chamado de rotor e 1 disco fixo, chamado de estator, montados próximo a flange de saída dos gases da carcaça da turbina. Estes discos possuem orifícios axiais e alterando sua posição controlam a pressão de sobrealimentação. Em baixa rotação, os orifícios do rotor e do estator não coincidem ocasionando um acréscimo de torque devido a melhor vedação dos gases de escapamento.

Em alta rotação, como os furos do sistema tendem a coincidir, aumenta o fluxo dos gases, acarretando em maior potência, quase como um sistema de geometria variável, gerando a melhor eficiência possível em qualquer regime de rotação.

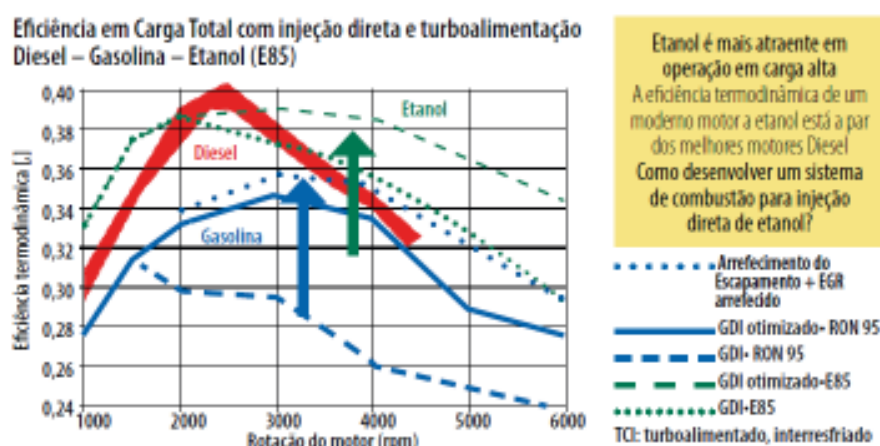
3 MÉTODO

Elaborou-se uma pesquisa descritiva de correlação de diversas fontes de natureza predominantemente comparativa a fim de descrever as tecnologias aplicadas em motores de Ciclo Otto que são utilizadas para aumentar sua eficiência energética em geral relacionado a utilização de Etanol e Gasolina.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

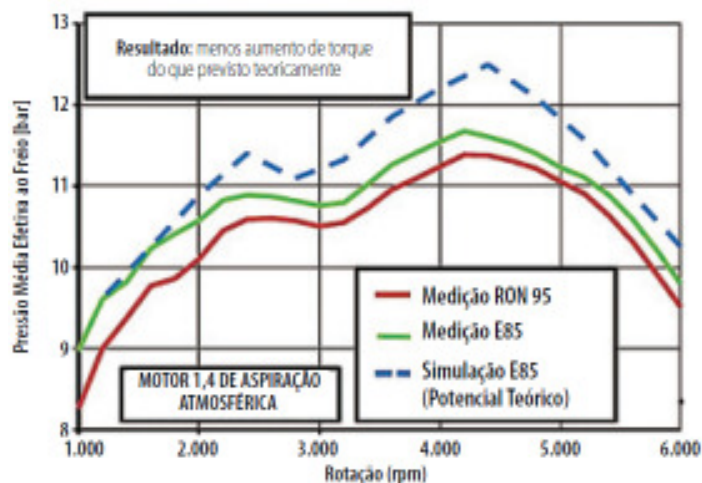
Devido à sua maior resistência à detonação e menor calor latente em relação à gasolina, o uso do etanol tem sido bastante investigado visando melhorar a eficiência energética dos motores a combustão. Um motor movido com um mistura de etanol com 15% de gasolina, possui uma eficiência termodinamica (fig.6) maior do que um motor a gasolina ou a diesel.

Gráfico 1 – Motor gasolina com injeção direta para motor etanol com injeção direta



Porém mesmo sabendo que o motor a etanol possui uma eficiência energética melhor até que os motores movidos a diesel, podemos observar que ainda ha um grande avanço a ser feito, visto que o potencial teórico ainda esta acima do que realmente acontece na prática (fig.7).

Gráfico 2 – Investigações sobre a combustão com misturas de etanol em funcionamento com Injeção Direta

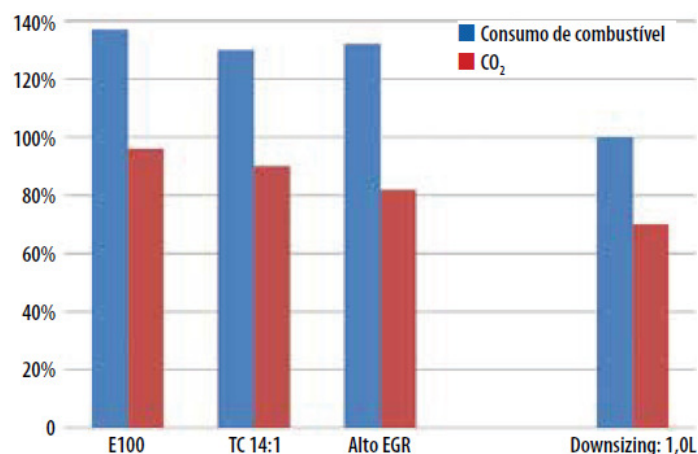


Estudos apontam que os motores flexíveis são uma importante parte da solução dos problemas de emissão de CO₂, visto que o uso do etanol em motores de combustão interna podem ter um impacto ambiental menor até mesmo do que um veículo puramente elétrico, pois, conforme mencionado anteriormente, embora a emissão de CO₂ em um veículo elétrico seja zero, a produção da energia elétrica não é.

Os motores movidos a etanol ainda possuem uma eficiência energética menor do que os motores movidos a gasolina, porém possuem um potencial muito maior. Os motores movidos a etanol podem ser muito mais eficientes que os motores a gasolina.

De acordo com Eduardo Tomanik e Samantha Uehara (2014), as estimativas potenciais de ganho em eficiência energética com a introdução de novas tecnologias em um motor a etanol com alterações do tipo: taxa de compressão elevada e variável e adoção da EGR (graf. 1) mostra que o melhor resultado se dá com a aplicação do Turbocompressor em motores de baixa cilindrada, através da introdução do *Downsizing*.

Gráfico 3 – Estimativas de consumo de combustível e emissão de CO₂



5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos mostram que ainda há no mercado brasileiro uma grande defasagem em relação ao mercado Europeu no que se diz respeito a tecnologia e desenvolvimento de motores.

O primeiro passo seria a introdução extensiva do uso do *Downsizing*, visto que poucas montadoras tem introduzido esta aplicação em seus veículos.

Se o mercado brasileiro alinhar o uso extensivo do *Downsizing* à tecnologia *Flex*, obterá um ganho considerável de eficiência energética, pois ainda existe espaço para o desenvolvimento de uma nova geração de motores que tenham seu funcionamento otimizado para trabalhar com Etanol e Gasolina e com isso criar grandes oportunidades de pesquisa e desenvolvimento para redução do consumo de combustível e emissão de poluentes.

REFERÊNCIAS

BRUNETTI, Franco. Motores de combustão interna: Volume 2 / Franco Brunetti. – São Paulo: Blucher, 2002.

Decreto de Lei Nº 7.819 de 03 de Outubro de 2012 – Programa INOVAR-AUTO. Regulamenta os arts. 40 a 44 da Lei nº 12.715, de 17 de setembro de 2012, que dispõe sobre o **Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores - INOVAR- AUTO**, e os arts. 5º e 6º da Lei nº 12.546, de 14 de dezembro de 2011, que dispõe sobre redução do Imposto sobre Produtos Industrializados, na hipótese que especifica. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2012/decreto-7819-3-outubro-2012-774308-norma-pe.html>> Acesso em 09 de Fevereiro de 2014.

GARRET. Em 50 anos de turbo, emissões e consumo dos motores caíram mais de 60%. Disponível em <<http://www.garrett.com.br/noticia-2013-02-19.php>> Acesso em: 15 de Janeiro de 2014.

GRANDE, Paulo Campo. **NÚMEROS FLEXÍVEIS.** 2005. Disponível em: <http://quatorrodas.abril.com.br/reportagens/conteudo_141385.shtml>. Acesso em: 01 maio 2014.

Heywood, John B. - Internal Combustion Engine Fundamentals. 1988, McGraw-Hill series in mechanical engineering.

HOWSTUFFWORKS – Como Tudo Funciona. Como funcionam os turbocompressores. Disponível em: <<http://carros.hsw.uol.com.br/turbocompressores.htm>> Acesso em: 2 de janeiro de 2014.

Mayer, Michael. – Turbochargers – Effective use of exhaust gas energy. 2nd revised edition, 2001.

TOMANIK, Eduardo; UEHARA, Samantha. O futuro do motor flex no Brasil. Revista SAE, São Paulo, v. 54, p.18-20, 20 maio 2014.

VAN WYLEN, G.J.; SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da termodinâmica.** 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1998. 537p.

WIKIPEDIA. Turbocharger. Disponível em <<http://en.wikipedia.org/wiki/Turbocharger>> Acesso em: 2 de janeiro de 2014.