

engenharia automotiva e aeroespacial

versão digitalizada
www.saebrasil.org.br

Eficiência energética

A grande evolução
da indústria
automobilística



Baja SAE BRASIL

Prova define os
participantes do
Brasil nos EUA

Caros colegas,

Desde a introdução do programa Inovar-Auto no Brasil em 2013, a tecnologia embarcada nos veículos nacionais evoluiu significativamente, tanto a fim de atender às metas desafiadoras de eficiência energética do programa quanto pela saudável competição entre concorrentes.

Hoje, podemos ver trafegando nas ruas carros mais eficientes devido à utilização de novas tecnologias em seus motores e transmissões, que antes só estavam presentes em países mais desenvolvidos como os Estados Unidos e em regiões como Europa e Ásia.

Nesta edição da EAA, estamos trazendo para vocês quatro artigos técnicos que ilustram essa evolução dos motores e transmissões.

O primeiro artigo mostra um resumo da evolução do trem motriz dos veículos nacionais com a introdução de novas tecnologias de motores como bloco de alumínio, 3 cilindros, injeção direta, turbocompressor, VVT (Variable Valve Timing), stop/start, assim como sistemas de transmissão mais eficientes como câmbios automáticos/automatizados, aumento do número de marchas e uso do câmbio CVT pelos fabricantes asiáticos. Todas essas tecnologias trouxeram significativa melhora de eficiência energética da frota nacional.

Como próximos passos, o artigo aborda a proliferação de automóveis híbridos e elétricos no mundo a partir de 2019.

O artigo sobre turbocompressores explica como a introdução de melhorias no dispositivo, como a turbina de geometria variável, por exemplo, permitiu a aplicação de turbocompressores em veículos de pequeno porte, mudando o paradigma do seu uso somente em motores de alto desempenho. Essa tecnologia de superalimentação já está presente em praticamente todas as grandes fabricantes nacionais.

O próximo artigo cobre o importante, e relativamente novo, conceito do uso do gerenciamento térmico do motor para melhorar a eficiência energética dos veículos. Trata-se do uso da energia térmica disponível no escapamento do motor para aquecer o seu óleo e o do câmbio com objetivo de reduzir o atrito entre as peças e, como consequência, o consumo do carro na fase fria. Trata-se de um bom exemplo de melhoria

de consumo de combustível por meio de uma visão sistêmica do veículo.

O último artigo traz uma perspectiva do etanol do futuro. Sugere a implantação de processos de produção mais eficientes, assim como propostas de redução da porcentagem de água no etanol a fim de aumentar o seu poder calorífico e a eficiência dos motores. Essa melhoria, associada à introdução de novas tecnologias como aquecimento do combustível, compressão variável, injeção direta, turbocompressor de geometria variável, recirculação de gases de escapamento etc., mostra que é possível otimizar o consumo de combustível tanto em motores 100% a etanol quanto nos flex gasolina-etanol.

O programa Inovar-Auto termina no final de 2017. Muito esforço foi feito até aqui, tanto por parte das fabricantes quanto pelos produtores de autopeças e sistematistas. Entretanto, agora se discute a sua continuidade com um novo patamar, um novo desafio de eficiência energética sustentável com objetivo de reduzir ainda mais os gases de efeito estufa por meio de projetos de motores, transmissões e veículos ainda mais eficientes, com o uso de combustíveis renováveis aprimorados, expansão do uso da eletrificação, expansão da oferta de automóveis híbridos, introdução de carros autônomos e também uso racional dos meios de transporte.

Lembro-os que estes e outros trabalhos relacionados com o tema eficiência energética estarão sendo abordados no próximo Simpósio SAE de Powertrain a ser realizado no Parque Tecnológico de Sorocaba nos dias 31/07 e 01/08/2017. Venham prestigiar este importante evento anual da SAE.

Enquanto isso, convido-os a desfrutar e participar da discussão dos interessantes artigos que mostram como a engenharia brasileira prontamente respondeu ao desafio do programa Inovar-Auto, o que a capacita a enfrentar os desafios dos novos programas que certamente virão.

Boa leitura,

Eng. Carlos Alberto Villar
Mentor das Comissões de Motores
Otto, Diesel e Transmissões

Evolução do powertrain e os próximos passos

As iniciativas provocadas por definições governamentais vieram a acelerar o processo do desenvolvimento tecnológico da indústria automobilística no Brasil. Nos últimos anos, tivemos um grande avanço no sentido de melhorar a eficiência energética dos nossos veículos

Victor Silva*

O Inovar-Auto gerou uma evolução nos últimos anos no Brasil ao acelerar a introdução de novas tecnologias no mercado automobilístico, tendência essa que vinha acontecendo lentamente antes de 2012, mas a nova legislação de eficiência energética forçou as fabricantes a acelerarem o investimento nos powertrain oferecido ao consumidor brasileiro. O gráfico de tecnologias de powertrain demonstra essa evolução nos veículos produzidos localmente.

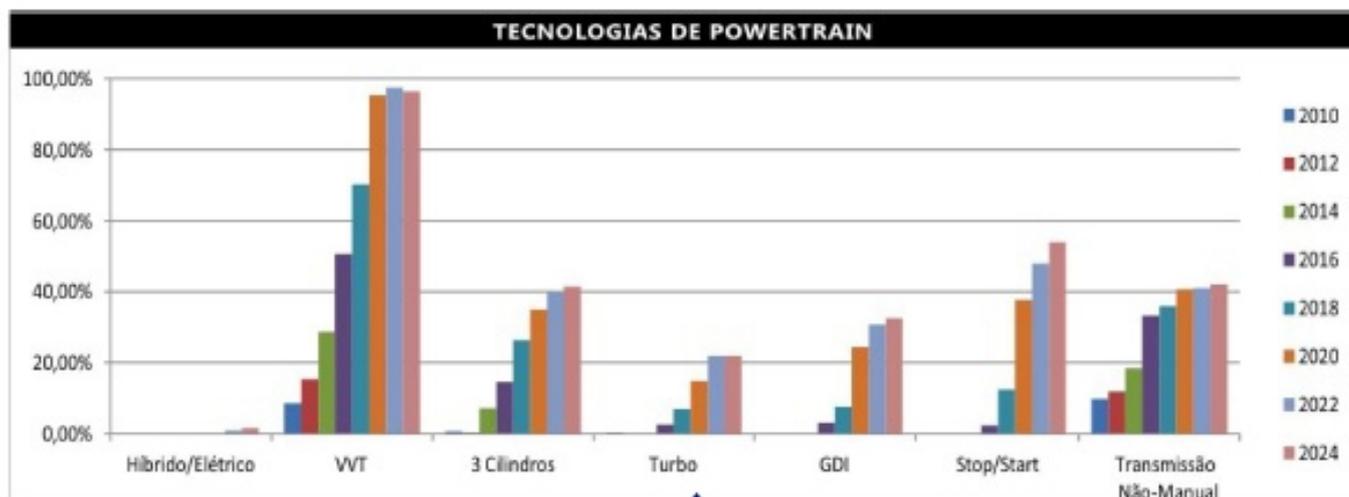
As quatro fabricantes tradicionais instaladas no país (Fiat, Ford, General Motors, e Volkswagen) investiram pesado nos últimos anos para atender às metas do Inovar-Auto e ficarem no mesmo nível de eficiência de suas concorrentes, especialmente as asiáticas. O uso de plataformas globais no Brasil vem colaborando para a adaptação dos conjuntos motrizes existente nas outras regiões em veículos lá produzidos, conforme a tabela de projeção de novos motores.

A Volkswagen vem substituindo o motor EA111 pelo EA211 em toda a sua gama de veículos, a família Gol e o Fox são as linhas que

ainda possuem o motor EA111, mas que começará a substituir – neste ano – com o lançamento da nova geração de Gol e Voyage. A família EA211 é constituída do motor 1,0-l de três cilindros com e sem turboalimentação, 1,6 l 16 válvulas e o 1,4 l turbo, estes de quatro cilindros. Todas essas versões possuem bloco de alumínio e variador de fase de válvulas.

A partir de 2021, o EA211 sofrerá uma atualização e passará a se chamar EA211 EVO, estando presente em mais de 97% dos modelos Volkswagen produzidos localmente. Este é o principal motor da Volkswagen nas outras regiões, presente em aproximadamente 55% dos veículos produzidos na América do Norte, Europa e Ásia.

A Fiat foi a última a lançar o motor de três cilindros com a família GSE (Global Small Engines, chamado comercialmente de Firefly), que substituiu o motor Fire no Uno e parte do Mobi. Além da versão 1,0-l de três cilindros, o GSE também possui a versão 1,3-l que substituirá totalmente o 1,4-l Fire nos próximos anos.



Nossa previsão é a de que, após 2020, a fabricante não usará mais o motor Fire nos veículos produzidos no Brasil. A Fiat é a que mais está investindo em stop/start; hoje, essa tecnologia é encontrada no Fiat Uno e Fiat Toro. Por volta de 2019/2020, a empresa deverá equipar os motores GSE com turbocompressor tanto na versão 1,0-l quanto na versão 1,3-l. O motor E.torQ, que foi lançado em 2010, vem passando por constantes melhorias e, atualmente, é equipado com VVT, stop/start e coletor de admissão variável para melhora de consumo.

Nas outras regiões, a Fiat investe bastante no sistema Multiair, que é uma evolução do VVT, e, no Brasil, só é encontrada na Toro 2.4L. Não consideramos que esse sistema venha a ser instalado nos motores GSE e E.torQ no país, sendo que a principal mudança para os motores Fiat são o turbo associado a injeção direta no GSE 1,0l e 1,3 l.

A GM é a única das quatro fabricantes tradicionais que ainda não lançou um motor de três cilindros no Brasil, mas mesmo assim ela conseguiu uma melhora no consumo dos motores FAMILY I sem grandes alterações como VVT, bloco de alumínio e redução de cilindros por exemplo. A nova geração dos motores FAMILY melhorou com a redução de atrito e transmissão manual de seis velocidades. O principal lançamento foi o motor 1,4-l turbo instalado no Cruze produzido na Argentina substituindo o motor 1,8-l da gera-

ção anterior, esse novo motor além de turbocompressor possui injeção direta e stop/start.

Para os próximos anos, a previsão indica que a GM deverá substituir o FAMILY I para atingir as próximas metas de eficiência energética. O motor 1,0-l de três cilindros da família CSS começará a ser produzido em 2019, além da versão sem turbo e injeção direta do 1,4 l usado no Cruze da família SGE.

A Ford, que era a quarta maior fabricante em volume no país, mudou a sua estratégia nos últimos anos passando a oferecer veículos com mais conteúdo em vez de populares com preço baixo. Isso se reflete no seu motor, que é um dos mais modernos entre as grandes fabricantes. A Ford substituiu toda a família de motores Rocam pelo SIGMA 1,5-l e 1,6-l, além do motor FOX 1,0-l de três cilindros. Já o motor Duratec 2,0-l foi o primeiro a receber injeção direta em um motor flex no Brasil.

Para o futuro, os motores SIGMA serão substituídos pelo Dragon que é um motor 1,5 l de três cilindros com VVT, bloco de alumínio e opção de turbocompressor e injeção direta. O primeiro veículo a receber esse motor será o EcoSport no final de 2017. O país está alinhado com as outras regiões em que os motores FOX, Dragon e o Duratec com injeção direta são os principais produtos da Ford. A principal mudança para os próximos anos será o aumento do uso do turbocompressor no motor 1,0-l FOX e o novo 1,5-l Dragon.

		PROJEÇÃO DE NOVOS MOTORES								
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Fiat	GSE [1.0L L3, 1.3 L4], TigerShark [2.4L L4]				GSE [1.0L L3 Turbo]	GSE [1.3 L4 Turbo]				
Ford	FOX [1.0 L3 Turbo]		Dragon [1.5 L3]		FOX UPG [1.0 L3 Turbo]	Dragon [1.5 L3 Turbo]				
General Motors					CSS [1.0 L3], SGE [1.4 L4]					
Honda	New-L [1.5 L4 Turbo]				New-K [2.0 L4]	New-L3 [1.0 L3 Turbo]		New-K [2.0 L4 Hybrid]	New-L [1.5 L4 Hybrid]	
Hyundai	KAPPA [1.0 L3 Turbo]									
Toyota	NR [1.3 and 1.5 L4]				A-Series [2.0 L4]			A-Series [2.0 L4 Hybrid]		New-NR [1.5 L3, 1.5 L3 Hybrid]
VW						EA211 EVO [1.0 L3, 1.0 L3 Turbo, 1.5 L4, 1.5 L4 Turbo]				

Os carros Honda, que já eram equipados com motores mais modernos e alinhados com as outras regiões, fizeram mudanças nos últimos anos para atender à nova legislação de eficiência energética, como a nova geração do Civic que possui uma versão com motor **turboalimentado** e injeção direta. Para o futuro, consideramos que o downsizing continuará com a substituição do motor 1,5-l aspirado do Fit e City por um **1,0-l turbo** com injeção direta a partir de 2020, além da aplicação do **1,5-l turbo** no HR-V e CR-V.

Assim como a Honda, os veículos Toyota, principalmente o Corolla, eram considerados mais modernos e equipados que seus concorrentes. A partir de 2012, essa qualidade passou a ser oferecida no mercado de compactos com o Etios – que possui motor com bloco de alumínio e VVT.

Para o futuro, a Toyota planeja um novo motor para a nova geração do Corolla, a ser lançada em 2019, chamado A-Series - que será um 2,0 l com injeção direta e stop/start. Já os modelos compactos manterão a cilindrada em 1,5 l, mas com a redução de cilindros para três por volta de 2024.

A Hyundai alcançou grande parcela do mercado com o início da produção do HB20 em 2012, que possui motor com bloco de alumínio e VVT. Foi o primeiro veículo de grande volume equipado com um motor de três cilindros. Para atingir as metas do Inovar-Auto, a Hyundai lançou uma versão do HB20 com motor **1,0-l turbo** e está investindo no stop/start, equipando o ix35 e o novo Creta com essa tecnologia.



Transmissões

Assim como a motorização, a transmissão também está evoluindo em busca de mais eficiência. As fabricantes asiáticas estão aumentando o uso de CVT, enquanto as tradicionais estão investindo em câmbios automáticos com mais de cinco marchas, como visto nos exemplos ao lado:

Híbridos e elétricos

Com as legislações de emissões cada vez mais restritivas, os modelos híbridos e elétricos serão mais presentes em todo mundo. Se em 2016 menos de 4% dos veículos produzidos globalmente possuíam algum tipo de eletrificação, a previsão para 2027 é que 38% serão híbridos, elétricos ou com célula a combustível. A estratégia de cada fabricante para 2027 por região pode ser vista na tabela de eletrificação por montadora:

O Inovar-Auto acelerou a introdução de tecnologias de trem motriz já existentes em outras regiões e acreditamos que a segunda fase do programa, ainda a ser definida, torne necessário o investimento em veículos híbridos e elétricos para atingimento das metas de eficiência energética que ficarão mais próximas às da Europa. ■

*Victor Silva é da IHS Markit.

Eletrificação por Montadora	Brasil	Ásia	Europa	América do Norte
Fiat	0%	28%	15%	0%
Ford	0%	32%	16%	23%
General Motors	0%	37%	0%	12%
VW	0%	82%	69%	29%
Honda	8%	29%	32%	17%
Hyundai	0%	35%	15%	9%
Toyota	9%	28%	46%	19%

Turbocompressores, se você não tem, ainda vai ter um!

Ele se tornou um componente importante no processo de *downsizing* dos motores de combustão interna, permitindo que motores menores substituam os de aspiração natural com vantagens no desempenho e no consumo de combustível

Celso Samea*

Eles equipam a maioria dos carros modernos, mas a ideia é bem antiga, com uma patente do engenheiro suíço Alfred Büchi, em 1905, de aproveitar a energia dos gases de escape, na saída do cilindro, para acionar uma turbina que aciona um compressor e aumenta a densidade do ar na admissão. Ar mais denso permite mais combustível e conseqüentemente maior desempenho do motor (Figura 1). A ideia é simples, mas como quase sempre, a otimização do desempenho exige o perfeito entendimento das características-chave desse componente.

O entendimento da aerodinâmica interna dos componentes e do escoamento dentro dos canais dos compressores e turbinas permite usar melhor as áreas efetivas de passagem, aumentando a transferência de energia dos gases de escape para a turbina e do compressor para o ar de admissão. Esse entendimento também trouxe uma sistemática redução de tamanho e peso. Vale lembrar que no estágio do compressor, inclusive dentro dos canais entre as pás, acontece um processo de difusão, o que torna o desafio de fazer o escoamento seguir as paredes do canal uma tarefa árdua, ainda mais se considerando situações onde as velocidades do ar podem ultrapassar a velocidade do som. A otimização no ponto definido como ponto de projeto é fundamental, mas tão importante quanto, é o *Off-Design performance*, já que os motores modernos com altos valores de PME tendem a utilizar todo envelope do mapa do compressor.

No caso da turbina, como a velocidade do escoamento aumenta ao longo do estágio e do canal, o problema de o gás não acompanhar a superfície das pás não existe, mas por outro lado as temperaturas de trabalho, cerca de 850 °C num

Diesel e 1.000 °C num Otto, além da pulsação dos gases de escape, tornam o ajuste, ou *matching*, desse estágio um pouco mais complicado.

Como não existe ligação mecânica para acionamento do turbocompressor, mas sim pelos gases de escape do lado da turbina e ar pelo lado do compressor, o retardo de resposta (o chamado "*turbo-lag*") sempre foi um dos principais focos de desenvolvimento. O *waste-gate*, ou válvula de alívio, foi uma das primeiras soluções, e ainda é bastante usada hoje. Como a potência gerada pela turbina é função direta da massa de gases de escape que passa por ela, o desvio de

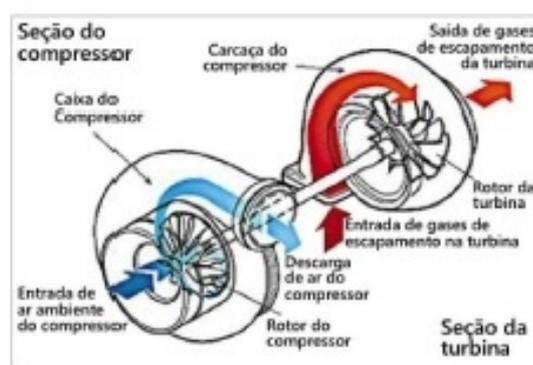
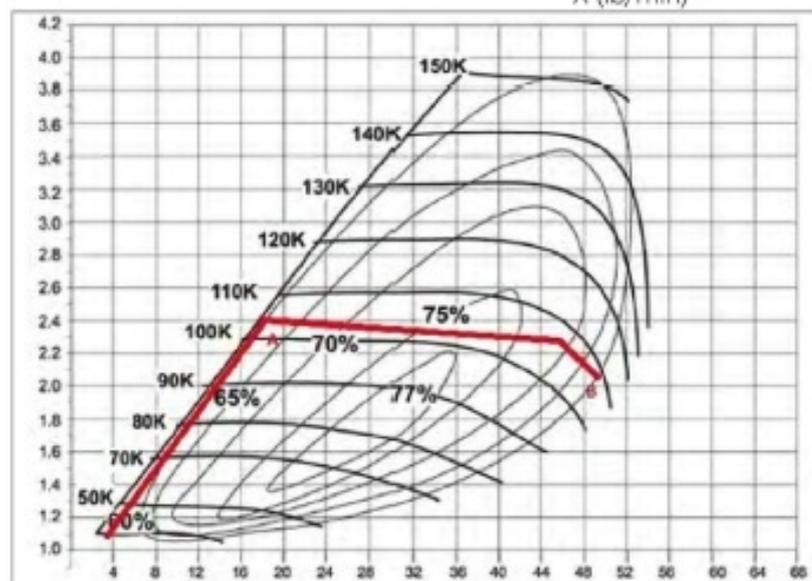


Figura 1. Esquema de funcionamento

Figura 2. Mapa do compressor com plena carga de um motor ciclo Otto. Relação de Pressões no eixo Y, P2/P1 (-) e vazão de ar em massa no eixo X (lb/min)



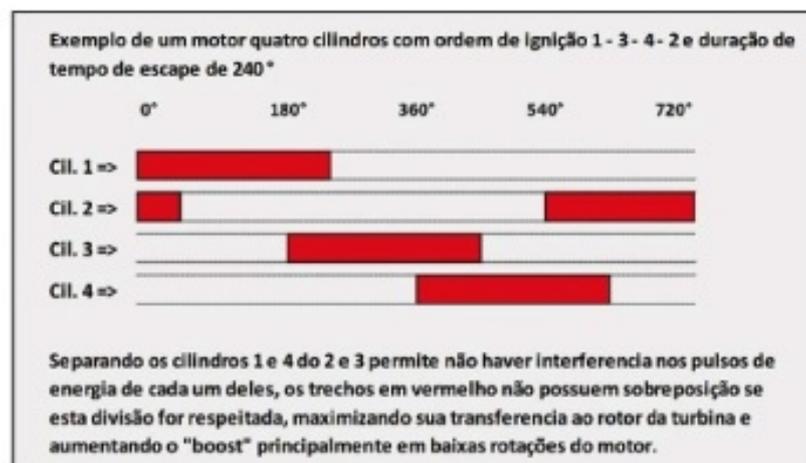
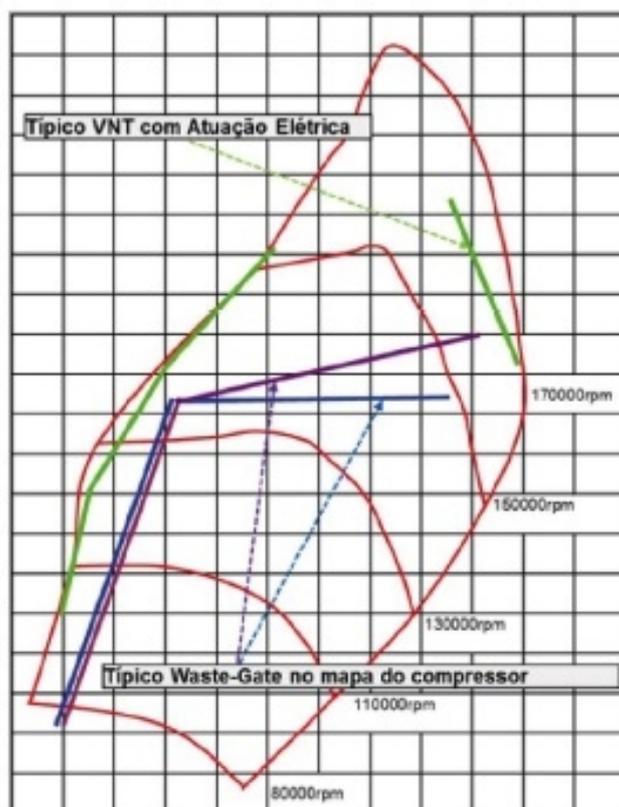


Figura 3. Aproveitamento do efeito pulso dos gases de escape em um motor 4 cilindros

uma parte desses gases modula essa potência e por consequência a pressão máxima de compressão gerada pelo compressor. O *matching* do estágio da turbina se faz então com áreas de passagem menores para se conseguir reações mais rápidas do conjunto girante. A partir de um valor de pressão de superalimentação a válvula *waste-gate* é aberta limitando o valor dessa pressão, protegendo também os componentes do turbo para que o valor-limite de rotação não seja ultrapassado.

Fica claro no mapa do compressor, vide figura 2, como uma típica linha de plena carga de

Figura 4. Mapa de compressor com aplicações típicas de um motor a gasolina moderno



um motor ciclo Otto com *waste-gate* se localiza em seu envelope de utilização. As principais limitações de operação do compressor são o "surge" na região à esquerda do mapa, que é uma instabilidade de origem aerodinâmica que torna instável todo o sistema de admissão do motor; rotação excessiva, que é aquela acima do limite mínimo, dentre os vários, que garante a durabilidade do conjunto turbocompressor e, por fim, a vazão bloqueada à direita no mapa, quando o máximo escoamento é atingido pelo fato de a velocidade do som ter sido alcançada. A partir do ponto "A", a válvula *waste-gate* se abre para modular a pressão, o valor da relação $[P2/P1]$ caminhando para a direita no mapa é aproximadamente constante.

Outra solução é a carcaça de turbina dividida usada em conjunto com o *waste-gate*. Como mencionado acima, a boa utilização dos pulsos liberados quando da abertura de cada válvula de escape pode fazer uma diferença considerável no desempenho da turbina, elevando a pressão do compressor, gerando até 20% a mais de torque quando comparado a um modelo com carcaça aberta, além de conseguir reduzir a rotação do torque máximo para rotações entre 1300 e 1500 rpm, diferença fundamental para o "fun to drive" e também consumo de combustível. Um aspecto fundamental é garantir a chegada dos diversos pulsos de pressão com menor perda de energia possível até a entrada do rotor da turbina. Isto se consegue construindo o coletor de escape de tal maneira que sejam minimizadas eventuais interferências destrutivas desses pulsos de pressão antes de eles chegarem ao rotor. Um motor quatro cilindros, por exemplo, com ordem de ignição 1 - 3 - 4 - 2, deverá ter os ramos 1 e 4 unidos assim como o 2 e o 3. Uma das dificuldades de aplicação dessa tecnologia aos motores ciclo Otto é relacionada às altas temperaturas de entrada de turbina, submetendo o divisor da carcaça a tensões bastante altas, problemas contornados com a utilização de materiais mais nobres.

Outra solução importante é o uso de turbina com geometria variável - *VNT Variable Nozzle Turbine*. Como o próprio nome indica, o estágio passa a ter, em vez de uma válvula de alívio - *waste-gate* - pás guias no estator para melhor adequar o enchimento dos canais entre as pás

de acordo com a vazão de gases. Trata-se de uma solução sofisticada que aumenta consideravelmente a energia disponível ao compressor sem aumentar as contrapressões impostas ao motor o que se traduz em melhores valores de consumo de combustível, cerca de 30% de redução em baixas cargas e até 15% de redução em altas cargas. Acompanhando a redução de consumo, outro benefício dos VNTs é de reduzir em cerca de 30% o tempo de atingimento do torque, o que melhora a dirigibilidade e possibilita alterações nas relações da caixa de mudanças no sentido de melhor utilizar a disponibilidade de torque.

Além da dificuldade imposta pela temperatura de entrada da turbina, pois essas pás guia devem trabalhar com folgas para as paredes do estator reduzidas, tornando a tecnologia VNT ainda pouco aplicada em motores ciclo Otto, o compressor deve ser usado numa faixa de vazões e relações de pressões maiores o que exige que seu mapa de utilização deva ser consideravelmente mais largo. (Figura 4)

Além da solução com geometria variável, as aplicações mais sofisticadas chegam a adotar mais de um turbocompressor funcionando em série e em paralelo, com controles de vazão mais sofisticados que permitam que em baixas rotações e cargas somente o turbo com menor capacidade de vazão opere, reduzindo o tempo de resposta, com o(s) outro(s) turbo(s) gradativamente sendo acionados à medida que a vazão de gases, e desempenho, sejam aumentados. Além de complexa sob o ponto de vista de arquitetura e volume geométrico necessário para a instalação, é o tipo de arranjo que exige um trabalho acurado da calibração do motor e dos atuadores dos turbos para que todo o potencial de desempenho e redução de consumo possam ser extraídos. É, sem dúvida, uma solução com a qual os motores conseguem atingir valores de pressão média efetiva máxima – PME – bastante alta.

Sempre no sentido de reduzir o tempo de resposta do turbo, ainda temos os mancais em rolamento, bastante utilizados em motores de competição, mas ainda pouco difundidos em aplicações comuns. Além da vantagem de reduzir o tempo de atingimento do torque, eles necessitam de uma quantidade bem menor de óleo lubrificante, facilitando assim as vedações em ambos os lados, compressor e turbina.

Ainda em fase de início de utilização está o compressor elétrico, normalmente montado em conjunto com um turbocompressor tradicional com a única função de aumentar a quantidade de ar disponível para o motor, portanto potencializando o aumento de torque, em rotações e cargas muito baixas. Também aqui, assim como na arquitetura com turbos em mais estágios, é de fundamental importância a transição entre o funcionamento com e sem o compressor elétrico para que não haja nenhuma sensação de “buraco” de torque ou solavanco por parte do condutor do veículo.

Tanto as aplicações com *waste-gate* quanto aquelas com VNT e multistágios podem ganhar em desempenho em regimes transitórios com a substituição de atuadores pneumáticos por elétricos. Tanto a precisão de atuação quanto o tempo de resposta melhoram significativamente. Todas essas tecnologias, algumas mais outras menos, têm sistematicamente melhorado o desempenho do turbocompressor e por consequência do motor turboalimentado, permitindo reduções consideráveis de cilindrada com a manutenção e muitas vezes o aumento de desempenho.

O turbocompressor tornou-se então componente-chave no processo de “*downsizing*” ou “*rightsizing*” dos motores de combustão interna, permitindo que motores menores substituam seus equivalentes de aspiração natural com grandes vantagens em consumo de combustível, reduções que podem variar de 16 a até 30%, pela menor perda por atrito, aumento das cargas médias de funcionamento etc. e tempos de resposta bastante curtos, permitindo que motores de cilindrada bastante baixa (1,0 e 1,2 litro) possam ser aplicados a veículos de maior porte garantindo o prazer ao conduzir. ■

Celso Samea é membro da Comissão de Motores Ciclo Otto da SAE BRASIL



Figura 5. Turbo com geometria de turbina variável