

**UNIRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DOWNSIZING - REDUÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL COM AUMENTO
DE POTÊNCIA E TORQUE EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

INÁCIO COSTA MELO

Orientador: Prof. Ms. FRANCISCO SALES SILVA MUDO

Monografia apresentada a faculdade de Engenharia Mecânica da Fesurv – Universidade de Rio Verde – Como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

RIO VERDE – GOIÁS

2014

**UNIRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DOWNSIZING - REDUÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL COM AUMENTO
DE POTÊNCIA E TORQUE EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

INÁCIO COSTA MELO

Orientador: Prof. Ms. FRANCISCO SALES SILVA MUDO

Monografia apresentada a faculdade de Engenharia Mecânica da Fesurv – Universidade de Rio Verde – Como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

RIO VERDE – GOIÁS

2014

**UNIRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DOWNSIZING - REDUÇÃO DE CONSUMO COM AUMENTO DE POTÊNCIA E
TORQUE EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.**

INÁCIO COSTA MELO

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do grau de **BACHAREL EM
ENGENHARIA MECÂNICA** e aprovada em sua forma final.

Prof. Ms. FRANCISCO SALES SILVA MUDO

Orientador

Prof. Ms. Alex Anderson Oliveira Moura

Examinador

Prof. Ms. João Pires de Moraes

Examinador

Prof. Ms. João Pires de Moraes

Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

Rio Verde - GO

2014

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia aos meus pais, Edvan Assis Melo e Lorene Gomes da Costa Melo, aos meus irmãos, Hugo Costa Melo e João Paulo Costa Melo. Escrevo de forma simples, pois me conhecendo como ninguém, sabem que jamais conseguiria expressar minha gratidão e sentimentos em palavras. Muito obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me conceder a oportunidade de vir a esse mundo e por ter me protegido em minhas viagens semanais para que eu tornasse meu sonho de juventude em realidade.

Em segundo lugar, aos meus pais, Edvan Assis Melo e Lorene Gomes da Costa Melo, aos meus irmãos Hugo Costa Melo e João Paulo Costa Melo, por todo o apoio que me deram durante o curso e em minha vida, apesar das dificuldades que passamos e da minha falta de tempo dedicado à vocês. Muito Obrigado!

Ao professor Francisco Sales Silva Mudo, pelo tempo dedicado à orientação deste trabalho e pelas palavras de incentivo.

Aos meus amigos pessoais, cujos nomes não citarei por risco de cometer algum esquecimento imperdoável, agradeço pelos bons e maus momentos que passamos juntos. Espero poder desfrutar da amizade de todos por muitos anos.

Aos colegas e demais professores da Universidade de Rio Verde, que serão eternamente lembrados como responsáveis diretos pela minha formação, e por terem me feito companhia durante estes anos que passei “longe” de casa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e pela minha formação como ser humano, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

MELO, INACIO C. **DOWNSIZING - REDUÇÃO DE CONSUMO COM AUMENTO DE POTÊNCIA E TORQUE EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.** 2014. 65f. Monografia¹ (Graduação em Engenharia Mecânica) – UNIRV – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2014.

Máquinas térmicas são sistemas que realizam a conversão de calor ou energia térmica em trabalho mecânico. Existem diferentes dispositivos que são classificados como máquinas térmicas, porém estas operam, fundamentalmente, de acordo com o Ciclo de Carnot. O rendimento deste tipo de equipamento, em geral, é muito baixo, pois ocorrem perdas significativas, podendo chegar a uma média de apenas 35% em um motor que utiliza o ciclo padrão Otto. Sendo assim, este trabalho visa listar formas de se aperfeiçoar o aproveitamento do combustível consumido dentro de um motor de combustão interna que opere ciclo Otto, mostrando soluções para possíveis perdas no equipamento, o quanto os dispositivos se diferem um do outro, e qual o modelo que permite uma redução na perda de energia.

Foi analisada a possibilidade de redução do consumo de diversas formas, podendo, na maioria das vezes, haver além desta redução, um aumento significativo de potência, torque e um maior controle na emissão de gases nocivo ao meio ambiente. Conclui-se que todas as formas de aprimoramento nos motores de combustão interna possibilitam um maior controle na quantidade de combustível injetada para o funcionamento do mesmo, sendo que quando adicionado uma maior parcela de ar na mistura, bem como o resfriamento da mesma, ocorre um maior controle na emissão de poluentes e, resultando, uma maior potência e torque se comparado aos modelos convencionais. Para maior eficiência do equipamento seria importante sua manutenção periódica e preventiva, substituindo qualquer componente avariado e, contribuindo assim, com o correto funcionamento do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE

Downsizing, Redução de consumo, Potência, Torque.

¹ **Orientador:** Prof. Ms. Francisco Sales Silva Mudo. Banca: Prof. Ms. Alex Anderson Oliveira Moura; Prof. Ms. João Pires de Moraes.

ABSTRACT

MELO, INÁCIO C. **DOWNSIZING - REDUCED CONSUMPTION WITH INCREASE IN POWER AND TORQUE IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES.** 2014. 65p. Monograph ² (Graduation in Mechanical Engineering) - UNIRV - University of Rio Verde, Rio Verde, 2014.

Thermal machines are systems that perform the conversion of heat or thermal energy into mechanical work. There are different devices that are classified as thermal machines, but they operate primarily according to the Carnot cycle. The yield of this type of equipment in general is very low, since significant losses occur, reaching an average of only 35 % in an engine that uses standard Otto cycle. Thus, this work aims to list from to perfect the use of the fuel consumed within an internal combustion engine operating Otto cycle showing solutions for possible losses on equipment, how the devices differ from one another, and which model allowing a reduction in energy loss.

The possibility of reducing the consumption of various forms and may, in most cases, be apart of this reduction, a significant increase in power, torque and greater control in the emission of harmful gases to the environment was analyzed. It follows that all forms of improvement in internal combustion engines allow a better control on the amount of fuel injected for operating the same, and when added to a larger portion of air in the mixture and cooling the same, there is an greater control on emissions and resulting, more power and torque compared to conventional models. For efficiency of the equipment would be important and its periodic preventive maintenance, replacing any damaged component and thus contributing to the correct operation.

KEY WORDS

Downsizing, Reduced consumption, Power, Torque.

² **Advisor:** Prof. Ms. Francisco Sales Silva Mudo; Prof. Ms. Alex Anderson Oliveira Moura; Prof. Ms. João Pires de Moraes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de quatro tempos de um motor com ignição por centelha.	18
Figura 2 - Ciclo de quatro tempos de um motor com ignição por pressão.....	20
Figura 3 - Esquema injeção monoponto.	24
Figura 4 - Esquema injeção monoponto.	25
Figura 5 - Coletor admissão em alumínio.	27
Figura 6 - Coletor admissão plástico.	27
Figura 7 - Dutos do cabeçote sem polimento.	28
Figura 8 - Dutos do cabeçote com polimento.....	28
Figura 9 - Rugosidade em superfícies.	29
Figura 10 - Virabrequim sem balanceamento.....	30
Figura 11 - Virabrequim balanceado.	31
Figura 12 - Rompimento de virabrequim.	31
Figura 13 - Volante do motor com alívio de peso.	32
Figura 14 - Ford EcoBoost 1.0 3 cilindros Turbo 120cv.	33
Figura 15 - Sistema de injeção direta de combustível.	35
Figura 16 - Bloco EA-211.	36
Figura 17 - Filtro de ar em papel.	39
Figura 18 - Filtro de ar em algodão lavável Inbox.	39
Figura 19 - Filtro de ar esportivo em algodão lavável.....	40
Figura 20 - Mangueira de ar GM Corsa.	40
Figura 21 - Cabeçote multivalvulas.....	42
Figura 22 - Sistema MultiAir.	45
Figura 23 - Compressor de palhetas.	47
Figura 24 - Compressor de lóbulos.	48
Figura 25 - Compressor Lysholm.	48
Figura 26 - Turbocompressor.	49
Figura 27 - Sistema híbrido em série.....	51
Figura 28 - Sistema híbrido em paralelo.	52

Figura 29 - Sistema hibrido combinado paralelo.....	53
Figura 30 - Esquema de uma célula de combustível.	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivo geral	13
1.2 Objetivo específico	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3 DESENVOLVIMENTO.....	17
3.1 Introdução ao estudo dos motores de combustão interna	17
3.2 Classificação dos motores quanto a ignição	17
3.2.1 Motores de ignição por faísca ou Otto.....	18
3.2.2 Motores de ignição espontânea ou Diesel	19
3.3 Diferenças entre os motores ciclo Otto e diesel	20
3.3.1 Combustível.....	21
3.3.2 Ignição	21
3.3.3 Taxa de compressão.....	21
3.4 Introdução ao estudo da eficiência	22
3.4.1 Aerodinâmica.....	22
3.4.2 Peso.....	23
3.4.3 Sistemas de alimentação de combustível.....	23
3.4.4 Escolha do combustível	25
3.4.5 Sistema de admissão	26
3.4.6 Atrito interno	29
3.4.7 Balanceamento de componentes rotativos.....	30
3.4.8 Alívio de peso em componentes móveis	32
3.5 Downsizing.....	33
3.5.1 Injeção direta de combustível	34
3.5.2 Redução do numero de cilindros	36
3.5.3 Atrito.....	37
3.5.4 Sistema de admissão	38
3.5.4.1 Filtro de ar	38

3.5.4.2 Dutos de envio	40
3.5.4.3 Coletor de admissão.....	41
3.5.4.4 Cabeçote	41
3.5.4.5 Válvulas	42
3.5.4.6 Eixo de cames ou comandos de válvulas.....	43
3.5.4.7 Controle variável de válvulas	43
3.5.4.8 Câmara de combustão.....	45
3.6 Sobrealimentação.....	46
3.6.1 Sobrealimentação mecânica	46
3.6.1.1 Compressor de palhetas	47
3.6.1.2 Compressor de lóbulos	48
3.6.1.3 Compressor Lysholm.....	48
3.6.2 Turbocompressor	49
3.7 Veículos híbridos	50
3.7.1 Classificação dos sistemas híbridos.....	51
3.7.1.1 Híbridos em série.....	51
3.7.1.2 Híbrido em paralelo	52
3.7.1.3 - Combinado série - paralelo	52
3.7.2 Tendências	53
3.8 Células de combustível.....	53
4 CONCLUSÃO.....	56
4.1 Propostas para trabalhos futuros.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

Máquinas térmicas são sistemas que realizam a conversão de calor ou energia térmica em trabalho mecânico. Existem diferentes dispositivos que são classificados como máquinas térmicas, porém estas operam, fundamentalmente, de acordo com o Ciclo de Carnot (Wyllen, 1995).

O rendimento deste tipo de equipamento, em geral, é muito aquém do ideal, pois ocorrem perdas significativas, sejam por transferência de calor, atrito entre partes móveis, excesso de peso em componentes rotativos, dentre outros.

A palavra *downsizing*, muito utilizada e sendo uma das técnicas da Administração contemporânea, possui como meta construir algo da forma mais eficiente possível. O termo também é utilizado para definir uma situação onde sistemas, originalmente hospedados em grande quantidade, são adaptados em menor número, mas funcionando de forma mais eficiente e com um menor custo para que isso ocorra. Devido a semelhança, isso fez com que, a incessante busca por uma redução no consumo dos motores de combustão interna, sempre melhorando as formas de aproveitamento do combustível, tornasse possível a utilização do mesmo termo (Nogueira, 2014).

Os aprimoramentos que tornam a redução do consumo de combustível possível podem ser desde a instalação de um sistema de injeção e gerenciamento eletrônico de combustível em um motor que utiliza carburador, a até mesmo a redução do número de cilindros e a instalação de um sistema de injeção direta de combustível aliado a um motor elétrico para cada roda do veículo sendo que, neste caso, o motor à combustão serviria apenas como gerador da energia a ser cedida aos motores elétricos (Calixto, 2013).

O *downsizing* vem sendo realizado pelas montadoras de automóveis já há algum tempo. Motores menores e mais eficientes vêm sendo introduzidos no mercado sem que exista um estudo com todas as possibilidades possíveis atualmente de se melhorar o consumo. A falta de conteúdo que trata sobre este assunto é enorme, ficando, basicamente, a cargo das montadoras os segredos deste tema. Desta forma, foi considerado de extrema importância tratar do tema de forma detalhada, agrupando todos os estudos em um único material e que torna possível, além de registrar, divulgar os estudos que estão sendo realizados.

Sempre adotando pesquisas bibliográficas, este trabalho se fez uso de livros voltados ao tema de máquinas térmicas, bem como de literaturas que tratam de motores de combustão interna. Devido aos avanços diários em pesquisas e os recentes lançamentos, também foi feito o uso de pesquisas em meios de comunicação virtuais, bem como trabalhos de conclusão de curso voltados ao tema.

A inovação dos projetos dos motores vem ocorrendo com muita rapidez, o que fez com que o tema fosse abordado de forma categórica, buscando sempre ordenar os aprimoramentos por complexidade de execução. Cada capítulo apresentará uma possibilidade de se aperfeiçoar algum componente ou sistema do motor em estudo, seja formas de redução de atrito, balanceamento ou redução do número dos componentes internos.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral abordar e identificar as causas da queda do rendimento de um motor de combustão interna, fatores que contribuem negativamente com o ganho de potência e torque e que podem ser melhorados. Como objetivo específico, detectar quais aprimoramentos pode ser realizado em componentes específicos de um motor, bem como quais sistemas podem ser revistos e aperfeiçoados para que haja um melhor aproveitamento do combustível.

1.2 Objetivo específico

- Identificar quais componentes causam excesso de consumo de combustível;
- Verificar quais melhorias pode ser realizadas com o intuito de se obter um melhor rendimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde que o primeiro motor a gasolina foi fabricado em 1885 por Gottlieb Daimler, engenheiros do mundo todo vêm buscando alternativas para melhorar sua eficiência, ou seja, torná-lo mais econômico, mais potente, com maior torque e menos poluente (Marum, 2014).

Máquinas térmicas são dispositivos que permitem transformar calor em trabalho, podendo o calor ser obtido de diferentes fontes. A obtenção do trabalho é ocasionada por uma seqüência de processos realizados numa substancia formada pela mistura de ar e combustível (Brunetti, 2012).

Rendimento térmico é a porcentagem da energia do combustível que efetivamente se transforma em movimento, que é o que queremos de um motor de automóvel. O rendimento máximo obtido atualmente gira em torno de 35%, ou seja, dos 27 MJ (megajoules) contidos em 1 litro de gasolina, apenas 9,5 MJ chegam efetivamente ao volante do motor (Farjoun, 2011).

O desempenho de um motor de combustão interna está fortemente associado à quantidade de ar admitido e retido no interior dos cilindros. Desta forma, pode ser adicionada uma maior quantidade de ar ao sistema de admissão com a instalação de um turbocompressor ou um supercharger, equipamentos elaborados esta finalidade (Brunetti, 2012).

Com as exigências impostas e as novas metas de redução na emissão de poluentes, o mercado aumentou a exigência de motores mais econômicos e eficientes e isso só pode ser possível com a utilização de muita tecnologia em motores de baixa cilindrada que, historicamente, sempre foram econômicos e de baixa potência.

O aumento da potência específica e torque em motores de baixa cilindrada são possíveis e mais viáveis através da sobrealimentação.

Segundo Brunetti (2012)

A redução do consumo de combustível e emissão de gases poluentes está associada diretamente à:

- . Redução das perdas por bombeamento em decorrência do menor volume varrido pelos pistões a cada revolução do motor e da maior pressão no interior da câmara de combustão.
- . Redução da transferência de calor devida à redução da área de superfície interna e, conseqüentemente, maior aproveitamento da energia térmica na realização de trabalho de expansão.

. Redução das perdas por atrito devido à menor dimensão das partes móveis.

Já Figueiredo (2013), considerou em seu estudo que

A energia introduzida em um motor a combustão interna, em grande parte, se “perde” ao longo do funcionamento do mesmo. O restante se transforma em trabalho. As perdas se dão através do circuito de refrigeração, por atrito, por radiação de calor e perdas pelo escapamento. A eficiência total de um motor ciclo Otto é por volta de 30% e é decomposta em três tipos: eficiência térmica, de atrito e volumétrica. Uma forma de aumentar a eficiência de um motor é a utilização de um turbocompressor. Com isso [...] o turbocompressor agirá sobre a eficiência térmica do motor.

A redução no número de cilindros dos motores esta sendo alternativa em relação à sobrealimentação. No caso dos motores de baixa cilindrada, é possível reduzir de quatro para três cilindros, aumentando potência e reduzindo o consumo, empregando maiores taxas de compressão e peças com peso reduzido para que, desta forma, o motor trabalhe mais livre, de forma mais silenciosa e com um comportamento mais áspero.

Segundo Marum (2014)

. Um cilindro a menos não é só um pistão e uma biela a menos, mas também uma redução no tamanho do bloco do motor, cabeçote, comando de válvulas, virabrequim (eixo que recebe e transforma os movimentos lineares do pistão em rotacionais). Dependendo do modelo, estamos falando de 30 quilos a menos.
 . A redução de peso traz também alguns benefícios indiretos, por facilitar o trabalho do motor de partida, exigir menos dos coxins que suportam o motor, aliviar o esforço da suspensão dianteira e, com o tamanho reduzido, permite melhor manuseio durante as manutenções.
 . Com um cilindro a menos, tem-se uma menor geração de calor, isto implica menos energia dissipada.

Se por um lado a redução do número de cilindros se torna uma iniciativa interessante, por outro acaba por gerar vibração excessiva ao motor, tendo em vista que no caso dos motores três cilindros, um correto balanceamento dos conjuntos pistão/biela é mais difícil, pois temos um ciclo de quatro tempos com três pistões posicionados em um ângulo de 120 graus.

Caliendo (2009) afirma que

. O balanceamento do conjunto rotativo - virabrequim, volante de motor, polia de virabrequim e sistema de embreagem - é fundamental para que seja transferido o máximo de força para o virabrequim, neutralizando perdas de potência por vibrações, que seriam dissipadas nos mancais.
 . Do ponto de vista do motorista, além de mais potência, eventualmente, é possível perceber um motor de funcionamento mais suave, pois há um equilíbrio de forças entre todos os cilindros podendo até a durabilidade do propulsor ser aumentada.

Araújo (2012), diz que

. Torque representa a força exercida em um braço de alavanca acoplado a um eixo para provocar sua rotação.

. No motor, a força é a resultante da queima do combustível, que gera uma pressão no interior do cilindro que produz uma força sobre o pistão, que pela sua biela leva movimento a uma manivela no virabrequim, que por isso mesmo tem o nome de árvore de manivela.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Introdução ao estudo dos motores de combustão interna

Os motores de combustão interna são máquinas que transformam a energia química dos combustíveis em energia mecânica. O tipo de combustível pode ser líquido ou gasoso, sendo os líquidos mais popularmente utilizados.

Em um motor de combustão interna a aspiração do ar atmosférico se dá devido ao vácuo que é gerado pelo movimento do pistão que se encontra no interior do cilindro. Desta forma, dependendo do sistema de injeção de combustível utilizado, além do ar ambiente, o cilindro pode receber também uma quantidade de combustível no mesmo momento. A mistura, formada por ar + combustível, ao adentrar o cilindro, é comprimida pelo movimento ascendente do pistão e, no caso dos motores que operam no ciclo Otto, ao receber uma faísca, a mistura entra em combustão, gerando uma grande quantidade de pressão e calor e, conseqüentemente, movimentando o pistão no sentido descendente. O ciclo Diesel se difere do ciclo Otto pelo fato de não necessitar de uma faísca para iniciar a combustão do combustível, pois o mesmo se inflama devido à alta pressão gerada no momento da compressão do pistão.

3.2 Classificação dos motores quanto a ignição

Dentre as várias formas de se classificar os motores de combustão interna, a mais convencional e utilizada é a classificação quanto à forma de ignição.

A combustão é um processo químico exotérmico de oxidação de um combustível. Para que o combustível reaja com o oxigênio do ar necessita-se de algum agente que provoque o início da reação. Denomina-se ignição o processo que provoca o início da combustão (Brunetti, 2012).

Desta forma, quanto à ignição, os motores podem ser classificados em dois tipos fundamentais.

3.2.1 Motores de ignição por faísca ou Otto

Os motores de ciclo Otto idealizam o funcionamento de motores de combustão interna de ignição por centelha. Foi definido por Beau de Rochas e, implementado, com sucesso, pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto em 1876 (Brunetti, 2012).

Em relação à queima do combustível e funcionamento, os motores de ciclo Otto têm a queima do combustível realizada de forma mais rápida, aproveitando melhor a energia gerada pelo mesmo. Outra característica deste tipo de motor é a presença de velas de ignição, itens responsáveis pela geração da faísca que origina a queima da mistura ar + combustível.

Nesses motores, a mistura ar + combustível é admitida, previamente dosada ou formada no interior dos cilindros quando há um sistema de injeção direta de combustível, e inflamada por uma faísca que ocorre entre os eletrodos da vela de ignição. Os quatro tempos de funcionamento do ciclo Otto podem ser vistos na Figura 1.

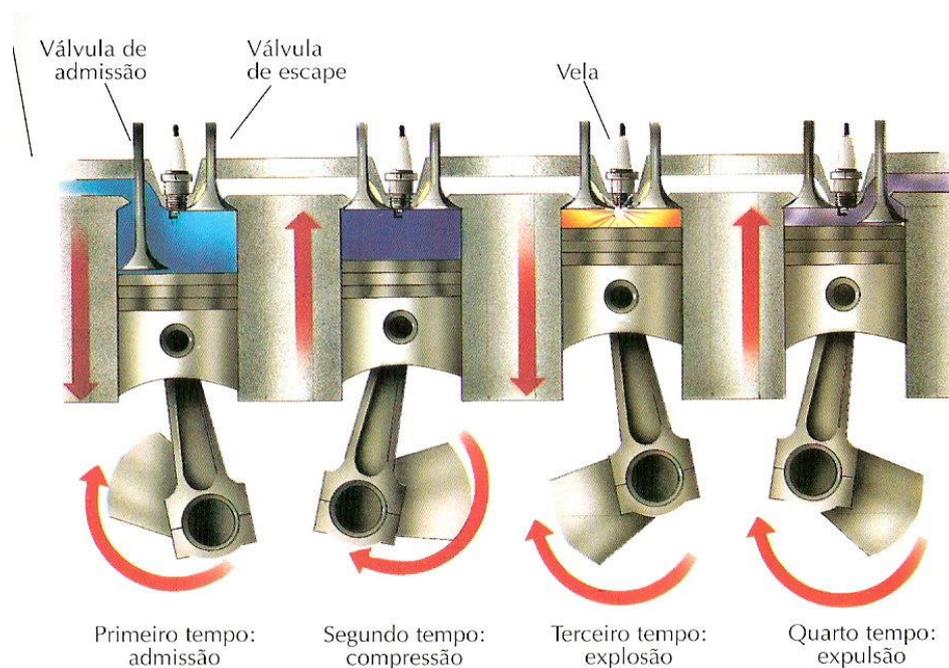


Figura 1 - Ciclo de quatro tempos de um motor com ignição por centelha.

Fonte: Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica.

Estas etapas que compõem os quatro tempos de um motor que opera em ciclo Otto são as seguintes:

. Primeiro tempo: na admissão, o embolo em seu movimento descendente do ponto morto superior ao ponto morto inferior (PMS para o PMI), estando a válvula de admissão aberta, faz com que haja uma diferença de pressão no interior do cilindro que torna possível a

aspiração do ar + combustível (no caso de sistemas de injeção direta de combustível, somente o ar é aspirado) para dentro do cilindro.

. Segundo tempo: na compressão, o embolo em seu movimento ascendente (PMI para MPS) comprime a mistura, aumentando a pressão e diminuindo o volume da mesma. Antes que o pistão chegue ao PMS, ocorre o salto da faísca pela vela de ignição.

. Terceiro tempo: na expansão, devido ao salto da faísca, a pressão aumenta bruscamente antes do PMS. Quando o embolo atinge o PMS, ele é imediatamente empurrado para baixo devido à grande pressão criada pela combustão da mistura. O movimento realizado pelo embolo do PMS para o PMI fornece torque à árvore de manivelas, que transformará o movimento vertical dos cilindros em movimento circular. A expansão é responsável por fornecer trabalho útil ao motor.

. Quarto tempo: na etapa da exaustão, pouco antes do pistão atingir o PMI, a válvula de escape se abre e, devido à alta pressão, parte dos gases começam a sair do cilindro, diminuindo a pressão interna no mesmo. Ao pistão chegar ao PMI, a pressão interna ainda é ligeiramente maior do que a pressão atmosférica e, assim, o restante dos gases que sobraram da combustão é expelido devido ao movimento ascendente do cilindro (PMI para PMS). Ao chegar ao PMS, o ciclo se inicia, novamente, pelo tempo de admissão.

3.2.2 Motores de ignição espontânea ou Diesel

O motor Diesel, ou motor de ignição espontânea por compressão, é um motor de combustão interna inventado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel em 1893. Este tipo de propulsor se caracteriza pela ignição por compressão, onde o fluido de trabalho, normalmente o ar ambiente, é comprimido sem ser misturado ao combustível e quando o mesmo é injetado dentro do cilindro, o mesmo se inflama espontaneamente (Brunetti, 2012).

Outra característica dos motores ciclo diesel são as elevadas taxas de compressão quando comparadas às taxas de compressão dos motores ciclo Otto. Os ciclos de um motor Diesel podem ser analisados na Figura 2.

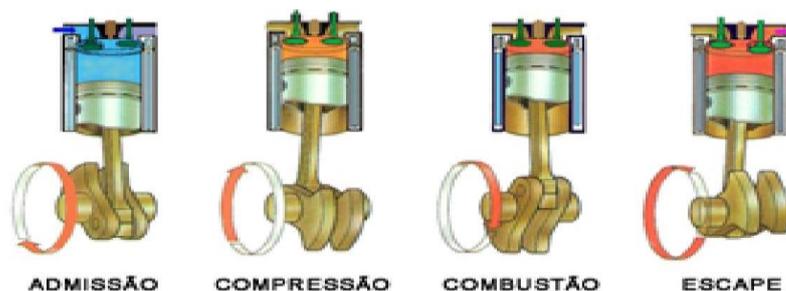


Figura 2 - Ciclo de quatro tempos de um motor com ignição por pressão.
Fonte: Clube do Diesel

Estas etapas que compõem os quatro tempos de um motor que opera em ciclo Diesel são as seguintes:

. Primeiro tempo: na admissão, o embolo em seu movimento descendente do ponto morto superior ao ponto morto inferior (PMS para o PMI), estando a válvula de admissão aberta, faz com que haja uma diferença de pressão no interior do cilindro que torna possível a aspiração do ar para dentro do cilindro.

. Segundo tempo: na compressão, o embolo, em seu movimento ascendente (PMI para PMS) comprime o ar contido dentro do cilindro aumentando a temperatura do ar e a pressão no interior do cilindro.

. Terceiro tempo: na fase de combustão, quando o pistão se aproxima do PMS, o combustível é pulverizado pelo bico injetor, misturando-se com o ar quente até que se dá a combustão espontânea do que agora poderia ser considerada a mistura. A expansão dos gases dentro do cilindro ocorre empurrando o pistão em movimento descendente (PMS para PMI) e gerando torque.

. Quarto tempo: na etapa da exaustão, pouco antes do pistão atingir o PMI, a válvula de escape se abre e, devido à alta pressão, parte dos gases começam a sair do cilindro, diminuindo a pressão interna no mesmo. Ao pistão chegar ao PMI, a pressão interna ainda é ligeiramente maior do que a pressão atmosférica e, assim, o restante dos gases que sobraram da combustão é expelido devido ao movimento ascendente do cilindro (PMI para PMS). Ao chegar ao PMS, o ciclo se inicia, novamente, pelo tempo de admissão.

3.3 Diferenças entre os motores ciclo Otto e diesel

Do ponto de vista mecânico, não existem grandes diferenças entre os dois tipos de motores, a não ser pela robustez do motor Diesel, projetado para operar sob altas taxas de compressão (Brunetti, 2012).

Desta forma, as principais diferenças entre os dois tipos de ciclo são relacionadas ao tipo de combustível, forma de ignição e taxa de compressão.

3.3.1 Combustível

Segundo Brunetti (2012)

. Nos motores Otto a mistura é introduzida, em geral, já homogeneizada e dosada. A exceção se faz para motores de ignição por centelha de injeção direta de combustível, nos quais somente o ar é admitido e a injeção de combustível é realizada diretamente no interior do cilindro.

. Nos motores Diesel, admite-se apenas ar e, posteriormente, o combustível é pulverizado ao final do curso de compressão, pelo qual, em pouquíssimo tempo, deverá se espalhar e encontrar o oxigênio do ar.

Estas diferenças fazem com que os motores Otto sejam capazes de atingirem altas rotações quando comparados aos motores Diesel, pois, ao aumentar o ritmo do pistão, torna-se improvável a combustão completa do combustível, introduzido na última hora.

3.3.2 Ignição

Nos motores que operam em ciclo Otto, a ignição da mistura é provocada por uma faísca oriunda da vela de ignição. Já nos motores Diesel, a ignição se dá devido o contato do combustível com o ar quente sob pressão.

3.3.3 Taxa de compressão

Em relação à taxa de compressão, os motores Otto possuem valores relativamente baixos para que não ocorra a auto-ignição, já que o momento exato da ignição será provocado pela vela de ignição.

Nos motores Diesel, a taxa de compressão deve ser suficientemente elevada quando comparada à taxa utilizada em motores Otto, uma vez que o ar deve ultrapassar a temperatura de auto-ignição do combustível.

3.4 Introdução ao estudo da eficiência

Desde que os primeiros motores à combustão interna foram concebidos, houve-se o interesse e a necessidade de que o mesmo pudesse funcionar por um grande período de tempo sem que fosse necessário o seu reabastecimento. Com o surgimento dos primeiros automóveis, a autonomia destes veículos sempre ditou o ritmo de vendas de alguns modelos, principalmente dos mais “populares”.

Em relação à autonomia, vários são os fatores que influenciam negativamente o consumo de combustível de qualquer que seja o veículo em estudo, sendo que muitos destes fatores podem ser melhorados com o intuito de amenizar estas perdas que, além de onerosas, acabam sendo prejudiciais ao meio ambiente e gerando um desgaste excessivo em alguns componentes do veículo.

Dentre esses fatores estão à aerodinâmica, o peso do veículo, sistemas de alimentação e tipo de combustível utilizado, os sistemas de admissão, o atrito de componentes internos, bem como o alívio de peso e balanceamento dos mesmos.

3.4.1 Aerodinâmica

A aerodinâmica de um automóvel nem sempre é determinada visando uma grande autonomia de combustível. Sabe-se que o atrito do ar com as formas de um veículo acaba por gerar o que chamamos de resistência ao avanço ou força de arrasto, que nada mais é que a diferença de pressões entre a dianteira e a traseira do automóvel.

Antigamente, quando não se investiam muito em estudos de eficiência, os veículos, em geral, possuíam formas exuberantes, apêndices estéticos e diversos acessórios que acabavam por criar um efeito de arrasto quando o mesmo estava em movimento. Isso contribuía com o aumento do consumo de combustível por dificultar o deslocamento do veículo e aumentar a demanda de força pelo motor do mesmo. Com o passar do tempo, bem como o investimento em pesquisas, foi constatado que aqueles modelos existentes eram apenas atraentes, não condizendo com as novas necessidades dos consumidores. Novas linhas, mais diretas, superfícies mais planas e veículos com formato de gota, permitiram que os mesmos aproveitassem em seu favor uma parte do que seriam as perdas geradas pela resistência ao avanço (Brunetti, 2012).

3.4.2 Peso

Grandes veículos demandam uma grande quantidade de matéria prima para a sua produção, em geral, à base de aço.

Os primeiros veículos que foram fabricados eram construídos basicamente à mão, desde a manufatura das chapas que viriam á ser a carroceria bem como os demais componentes do automóvel. Devido ao baixo custo da matéria prima e pelo pensamento de que quanto mais espessa, mais resistente, os automóveis eram verdadeiras fortalezas, constituídas de muito aço, que nem sempre, era bem aproveitado.

Com a descoberta dos polímeros e os estudos de resistência realizados com os veículos e com os materiais que compõem os mesmos, foi possível reduzir drasticamente o que seria o “peso morto” existente em um automóvel. Chapas menos espessas, capazes de se deformarem e absorverem as forças de um impacto, bem como a utilização de plásticos em partes da carroceria e revestimento dos interior do veículo, fizeram com que, além de tornar os automóveis mais seguros, tornarem também os veículos mais leves e econômicos, uma vez que o esforço para rolagem foi reduzido (Ikeda, 2012).

3.4.3 Sistemas de alimentação de combustível

Os motores de combustão interna sofreram constantes evoluções desde que o primeiro equipamento funcionou. Com toda esta evolução, os motores se tornaram equipamentos bastante complexos e compostos por diversos sub-sistemas.

Um sistema de alimentação de combustível é responsável por levar o combustível necessário à combustão ao interior dos cilindros, de forma correta e em proporção estequiométrica.

Nos primeiros motores, o componente responsável pela dosagem de combustível à ser queimado era conhecido como carburador, que não pode ser considerado um sistema de injeção de combustível por não possuir bicos injetores. Nele, a admissão de combustível pelo cilindro era gerada pelo vácuo formado movimento descendente do pistão. Mesmo assim, o carburador já foi considerado como o principal componente do sistema de alimentação, no qual era o responsável por administrar a mistura ar-combustível nas proporções necessárias para o funcionamento do motor e, embora tenha sofrido muitas modernizações, não conseguiu reduzir a níveis toleráveis a emissão de poluentes (Hurtado, Souza, 2012).

Esta falha fez com que surgisse, em 1988, o sistema de injeção eletrônica analógica, composta de um bico injetor, que funcionava através de parâmetros fixos de dosagem de combustível, o que tornou possível o ganho de potência e torque em um mesmo motor, somente modificando o sistema de alimentação. Além deste ganho, que em muitos casos, se tornou significativo, o sistema se mostrou eficaz também ao reduzir os índices de emissões em relação ao mesmo motor que, anteriormente, fazia uso do carburador. Este sistema, que fazia uso de apenas um bico injetor, ficou conhecido como Injeção Monoponto, e esta ilustrado na Figura 3 (Hurtado, Souza, 2012).

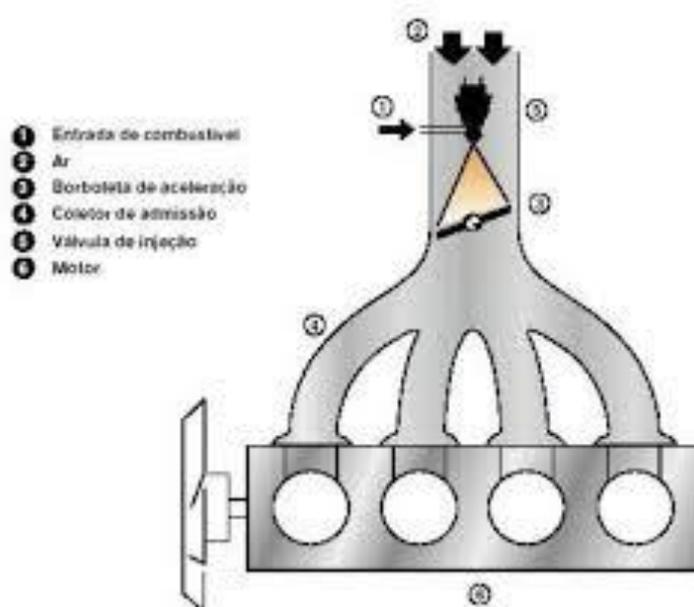


Figura 3 - Esquema injeção monoponto.
Fonte: André Dantas

O surgimento da injeção monoponto eletrônica, criada pela Bosch na década de 90, foi um avanço considerável. Apesar de funcionar de forma semelhante à analógica, o sistema digital permitia que fossem gerenciados os sistemas de injeção e de ignição de combustível, além de um sistema de diagnóstico de falhas de funcionamento, bem como correção da mistura ar + combustível através de sensores de oxigênio instalados logo após o coletor de escape. Mais tarde, foram desenvolvidos sistemas de Injeção Multiponto, conforma ilustrado na figura 4, que nada mais é que um sistema monoponto eletrônico com mais de um bico injetor. Todos estes recursos fizeram com que as emissões de poluentes fossem reduzidas drasticamente, uma vez que a demanda por combustível passou a ser suprida corretamente, sem excessos, em todas as faixas de rotação dos motores (Hurtado, Souza, 2012).

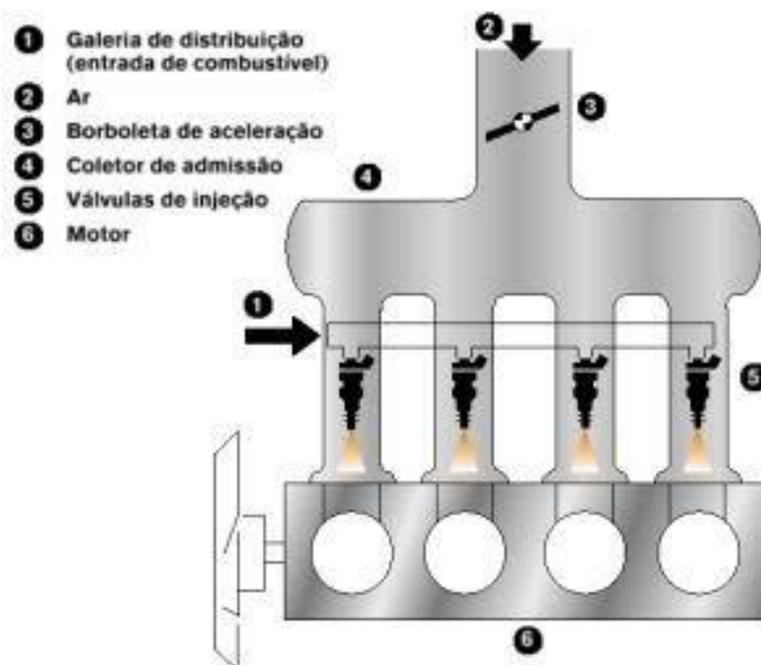


Figura 4 - Esquema injeção monoponto.
 Fonte: André Dantas

O constante interesse por veículos mais rápidos e potentes, más com consumo e emissões reduzidos, faz com que as indústrias invistam cada vez mais em novos sistemas de gerenciamento de combustível sendo que, a grande novidade atualmente, são os sistemas de injeção direta, onde os bicos injetores ficam dentro dos cilindros, não gerando perdas e injetando o combustível no momento exato, tornando possível todo o seu aproveitamento. Este sistema será tratado mais adiante.

3.4.4 Escolha do combustível

A escolha do melhor combustível também influencia diretamente na redução do consumo do mesmo e no aumento de potência e torque de um motor de combustão interna.

A criação, no Brasil, dos chamados “carros flex” poderia ser considerada um verdadeiro atraso de engenharia. Criada com a finalidade de atender aqueles consumidores que buscam vantagens nos preços dos combustíveis, o sistema abre mão do perfeito aproveitamento do combustível que será utilizado, uma vez que o álcool e a gasolina possuem taxas de compressão muito diferentes (Faggi, 2010).

O álcool possui uma proporção estequiométrica de 8,4:1 (8,4 partes de ar para cada parte de álcool) em massa, enquanto a gasolina tem 13,5:1. Para a mesma massa de ar, é utilizado 60% a mais de massa de álcool. Em volume, é necessário mais 43% de álcool do que

de gasolina. Por isto, bicos para álcool tem que ter uma vazão em torno de 50% maior do que bicos para gasolina. Uma peculiaridade interessante que decorre disto é a seguinte: apesar de a gasolina fornecer mais 37,5% de energia, o fato de ser necessário 43% a mais de álcool para a mistura faz com que um motor ganhe em torno de 5% de torque e potência só de passar a queimar álcool (Silva, 2012).

O álcool tem um maior poder antidetonante do que a gasolina. Enquanto a gasolina comum possui cerca de 85 octanas, o álcool tem o equivalente a 110 octanas. Isto significa que ele consegue suportar maior compressão sem explodir espontaneamente. Isto faz com que um motor a álcool possa ter uma taxa de compressão maior do que um motor a gasolina. Enquanto as taxas para gasolina variam entre 9 e 10,5:1, as taxas para álcool ficam entre 12 e 13,5:1. Como o rendimento térmico de um motor (rendimento térmico é quantos % da energia do combustível é transformada em movimento pelo motor) aumenta conforme aumenta sua taxa de compressão, os motores a álcool tendem a ter um rendimento térmico maior do que um motor a gasolina, compensando parte do menor poder calorífico (Mafra, Aragão, Pinheiro, Brys, 2009).

Os sistemas flex acabaram por ficar em um meio termo em relação às taxas de compressão, uma vez que ainda não foi viabilizado um sistema de taxa de compressão variável. Desta forma, trabalhando com algo próximo de 12 de taxa de compressão, os motores equipados com sistema flex não conseguem extrair todo o potencial do combustível que esta sendo utilizado, tornando possível que uma parte do combustível saia dos cilindros sem ser completamente aproveitada. O motor acaba não sendo econômico e nem potente como deveria (Brunetti, 2012).

3.4.5 Sistema de admissão

A rugosidade de uma superfície pode atrapalhar o deslocamento de determinado fluido e se tratando de ar, o problema pode ser ainda mais agravante, pois as irregularidades nos dutos acabam por provocar turbulências no fluido, turbulências estas que diminuem a velocidade de deslocamento do ar (Souza, 2010).

Os sistemas de admissão constituem um importante componente de um motor de combustão interna. É por onde passa todo o ar que será aproveitado na etapa de combustão do combustível e, por isso, precisa manter um fluxo constante e uniforme dos gases.

Antigos coletores de admissão eram fabricados em alumínio (Figura 5) e até em aço carbono devido à melhor resistência e durabilidade dos materiais. Este tipo de componente,

que pode possuir formar complexas, acabava por possuir no interior de seus tubos superfícies rugosas que tornavam o fluxo do ar um pouco turbulento e complicado. A saída foi partir para a utilização de polímeros na fabricação deste importante componente (Souza, 2010).



Figura 5 - Coletor admissão em alumínio.
Fonte: Santilli

Os coletores feitos de plásticos (Figura 6) reduziram as perdas por atrito, bem como possibilitaram uma grande redução de peso do componente, podendo agora agregar sensores de fluxo de ar e combustível, bem como alojar os bicos injetores de combustíveis mais próximos ao cabeçote.



Figura 6 - Coletor admissão plástico.
Fonte: Doctor Car

O polimento dos dutos do cabeçote, conforme mostrado nas Figuras 7 e 8, que ainda é fabricado em ligas de aço ou alumínio, também pode ser visto como a possibilidade de se aperfeiçoar o fluxo dos gases que adentram os cilindros. Muito realizado em oficinas de preparação de motores para competição, este tipo de serviço demanda mão de obra qualificada, bem como um ferramental específico, que permite realizar o polimento e a remoção de toda rugosidade existente no interior dos dutos de admissão do cabeçote.



Figura 7 - Dutos do cabeçote sem polimento.
Fonte: Clube do Monza

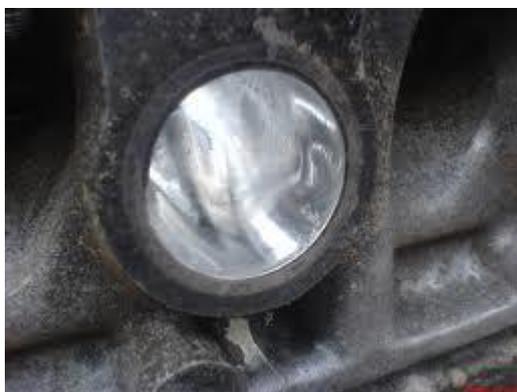


Figura 8 - Dutos do cabeçote com polimento.
Fonte: Clube do Monza

Todos estes avanços e trabalho têm seus benefícios. Aspirando melhor, o motor possui uma resposta mais imediata quando solicitado, fazendo com que o usuário não necessite de pressionar de forma brusca o acelerador do veículo. O rápido fluxo de ar que passa pelo cabeçote auxilia também na refrigeração do mesmo, tornando as perdas por calor reduzidas, mesmo que em quantidades pouco significantes.

3.4.6 Atrito interno

Podemos dizer, de forma geral, que todos os componentes internos de um motor de combustão interna sofrem, constantemente à ação de forças de atrito quando o mesmo se encontra em funcionamento. Apesar da constante lubrificação, bronzinas de bielas e mancais, bem como anéis de segmentos e arvores de manivelas, acabam roubando preciosos números de desempenho.

Melhorias já foram realizadas. Se antigamente o acionamento das válvulas de admissão e escape era feito por varetas ligadas ao virabrequim, passou a ser realizado por uma correia dentada e polias de acionamento, bem como um eixo excêntrico de comando de válvulas.

A substituição de bronzinas de mancais por mancais de esferas (rolamentos), torna o acionamento de determinados componentes mais suaves, permitindo que a força necessária para a realização do movimento seja menor. Alguns motores já utilizam deste artifício nos mancais dos comandos de válvulas e eixos auxiliares de distribuição (Calmon, 2008).

O atrito dos anéis de segmento com a parede dos cilindros também pode ser reduzido com a aplicação de um filme de cerâmica nas extremidades dos mesmos. Este filme, além de não interferir no correto funcionamento do componente, permite que o mesmo dissipe melhor a temperatura gerada pelo processo de compressão e do atrito, bem como permite a correta lubrificação das paredes dos cilindros. Em alguns casos, a aplicação da cerâmica pode ser realizada até mesmo na parte inferior dos pistões, para que se ocorrer o contato do mesmo com as paredes dos cilindros, que seja o mais breve possível (Martelli, Silva, 2010).

A redução na rugosidade dos cilindros pode ser vista na Figura 9.

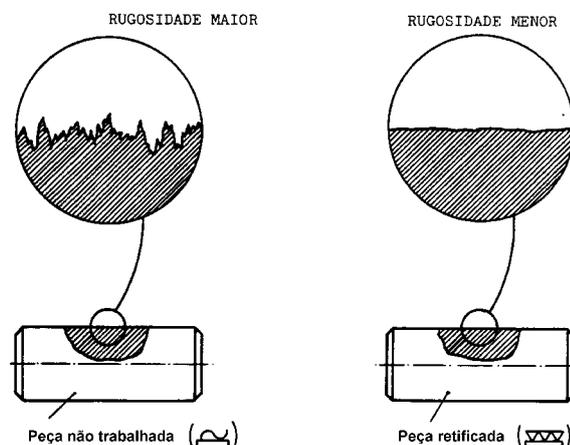


Figura 9 - Rugosidade em superfícies.

Fonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Todas estas melhorias, se aplicadas, permitem que o motor trabalhe de forma mais livre, de forma que seu funcionamento, além de se tornar mais suave e silencioso, não necessite de uma grande quantidade de combustível para se manter em funcionamento em marcha lenta, além de gerar uma redução no consumo de óleo lubrificante (Iwu, 2013).

3.4.7 Balanceamento de componentes rotativos

Um dos elementos responsáveis pelo funcionamento regular de um motor à combustão interna é o balanceamento do seu conjunto rotativo. O desbalanceamento pode ocasionar desde um simples desconforto aos ocupantes do veículo, até mesmo o rompimento de algum componente interno do motor.

Quando o eixo virabrequim não possui balanceamento (Figura 10), o peso deslocado do mesmo pode gerar uma força centrípeta capaz de fazer o motor vibrar conforme o aumento da rotação do mesmo. A força centrípeta tenta “empurrar” a parte desbalanceada do virabrequim para fora (Ferreira, 2008).



Figura 10 - Virabrequim sem balanceamento.

Fonte: Hot Chilli Speed Shop

A maioria dos motores disponíveis atualmente no mercado, não foram submetidos à um processo rigoroso de balanceamento, uma vez que devido à grande demanda do mercado, um processo mais delicado acabaria por atrasar a produção e gerar custos extras (Selim, 2010).

O processo de balanceamento consiste na retirada de massa de determinados pontos do componente, conforme mostrado na Figura 11.



Figura 11 - Virabrequim balanceado.
Fonte: Hot Chilli Speed Shop

Atualmente, o processo de balanceamento do conjunto rotativo, formado por virabrequim, bielas, pistão e sistema de embreagem, é realizado de forma rigorosa somente em motores de alto desempenho devido à serem veículos fabricados com maior exclusividade e com custos elevados. Nesses veículos, esse tipo de serviço é feito justamente com a finalidade de suavizar o funcionamento dos mesmos e gerar uma maior vida útil às bronzinas dos mancais do virabrequim e bielas, além de permitir que o motor disponibilize o máximo de seu desempenho, o que é a proposta do veículo.

Vibrações em excesso podem provocar desde uma queda de desempenho, podendo gerar um aumento no desgaste dos componentes e, dependendo do nível de vibração, ruptura de coxins de fixação e até mesmo, do virabrequim, conforme ilustrado na Figura 12.

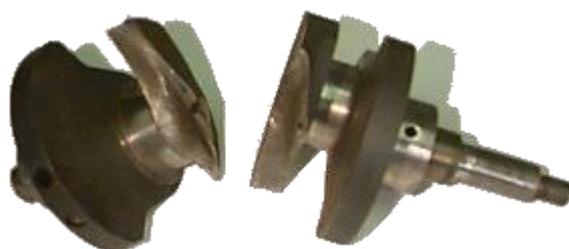


Figura 12 - Rompimento de virabrequim.
Fonte: Gurgel 800

3.4.8 Alívio de peso em componentes móveis

Sabe-se que quanto mais leve um determinado componente, mais livre é o seu movimento. No caso de um motor à combustão interna, o alívio de peso de determinadas peças pode ser um importante aliado no ganho de preciosos cavalos de potência e alguns quilos de torque.

Este “excesso” faz com que a força necessária para a movimentação inicial de determinados componentes seja maior que a necessária, tornando a resposta do motor lenta. O alívio de peso deste tipo de peça já é realizado em diversos itens como volante do motor, pistões, bielas, válvulas, dentre outros. Um exemplo é ilustrado na Figura 13.

O alívio de peso pode ser executado no momento da produção do componente, ou após a manufatura do mesmo, pela remoção de material excedente no mesmo. Esse processo, quando realizado com cautela, permite que o componente possua a mesma resistência que o componente original, porém, permitindo uma resposta mais imediata e um funcionamento mais suave dos demais (Brunetti, 2012).



Figura 13 - Volante do motor com alívio de peso.
Fonte: Clube do Kadett

3.5 Downsizing

A redução que se dá na capacidade volumétrica dos motores para a obtenção da mesma potência é conhecida no meio automobilístico como downsizing (Brunetti, 2012).

As exigências impostas às emissões de poluentes tem tornado antieconômica a aplicação de motores de grandes cilindradas com o intuito de se obter um equipamento de grande potência. Com isso, o mercado acabou por retomar a utilização de motores de baixa cilindrada, porém, com um grande interesse em uma certa dose de performance. Um motor de baixa cilindrada e alta potência é mostrado na Figura 14.

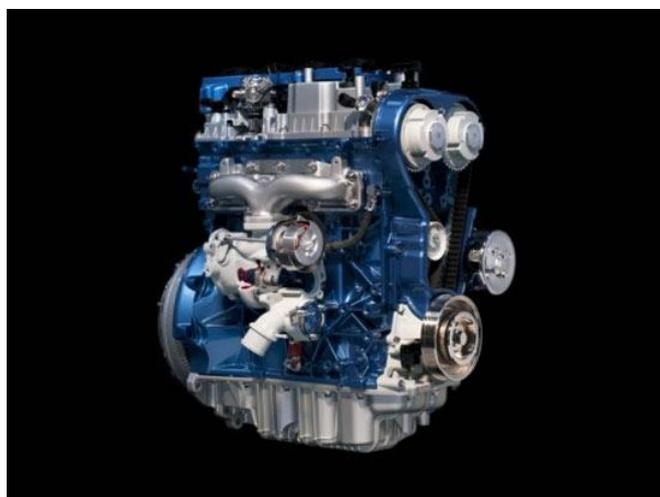


Figura 14 - Ford EcoBoost 1.0 3 cilindros Turbo 120cv.
Fonte: Ford Motor Company

A poluição gerada pelos veículos e também a quantidade reduzida de recursos naturais para a produção de combustíveis derivados do petróleo vem guiando o desenvolvimento dos motores nos últimos anos. As tecnologias, obtidas através de pesquisas e protótipos, acabaram por tornar os automóveis de baixa cilindrada uma alternativa economicamente viável, cujo resultado pôde ser observado na evolução da eficiência dos motores (Murta, 2011).

Em 1990, por exemplo, um Fiat Uno Mille, com motor de 1.0l (999 cilindradas) era capaz de produzir 47 cavalos de potência específica, e 7,4 kgfm de torque, rendimento que, no ano de 2000, passou para 55 cavalos de potência e 8,5 kgfm.

Outro exemplo que podemos citar é um motor que foi utilizado até pouco tempo pela Volkswagen em seus veículos. O motor AP 1600, propulsor que possuía bloco de ferro fundido, cabeçote de alumínio com 8 válvulas e um total de 1,6l de deslocamento, em 1990,

gerava somente 76 cavalos de potência e 13,3 kgfm de torque. Em 2011, era capaz de desenvolver uma potência de 104 cavalos e 15,9 kgfm de torque, isso se tratando do mesmo motor, com os mesmos componentes internos, sendo realizadas somente modificações no sistema de alimentação e injeção de combustível (Murta, 2011).

A vantagem do downsizing esta, principalmente, aliada na diminuição da emissão de poluentes e redução do consumo de combustível do veículo. Os motores que fazem uso desta tecnologia têm como benefícios a facilidade de manuseio, além de menor peso e custo de manutenção se comparado a motores maiores (Calmon, 2009).

Observa-se nestes motores, os seguintes aspectos, podendo aparecer individualmente ou em conjunto:

- . Aumento da potência e torque sem aumento de cilindrada.
- . Redução da cilindrada total, mantendo a mesma potência.
- . Redução do numero de cilindros.
- . Redução das perdas por atrito devida à menor dimensão das partes móveis.
- . Otimização do sistema de admissão de ar.
- . Sistemas de comandos de válvulas variáveis.
- . Sobrealimentação

Mesmo sendo pouco conhecidos no Brasil, alguns veículos fazem uso de alguns destes sistemas a fim de se obterem um melhor rendimento. Como vários tipos de aprimoramentos podem ser encaixados nos aspectos acima, trataremos cada um separadamente (Cerqueira, Cabral, 2011).

3.5.1 Injeção direta de combustível

A injeção direta de combustível vem sendo aplicada nos motores de ciclo Otto desde meados de 1980, devido aos bons resultados obtidos nas aplicações realizadas em equipamentos que operavam em ciclo Diesel. O sistema de injeção direta tem como vantagem possibilitar a utilização de elevadas taxas de compressão, bem como reduzir as perdas por bombeamento (Brunetti, 2012).

A elevação da taxa de compressão no ciclo Otto para maior eficiência térmica impacta na resistência à detonação do combustível. A adoção da injeção direta permite mais de uma injeção de combustível no mesmo ciclo de combustão, o que implica em uma menor temperatura no interior da câmara de combustão. Tal característica permite a adoção de taxas

de compressão mais elevadas e uma queima mais eficiente do combustível injetado (Brunetti, 2012).

Outras vantagens do sistema de injeção direta é o controle de mistura ar - combustível mais preciso. Isso ocorre, pois não há mais o problema de condensação de combustível nas paredes do coletor de admissão, cabeçote e válvulas, efeito que era provocado pela distância em que se encontravam os bicos injetores do cabeçote.

Um esquema da posição de cada componente pode ser analisado na Figura 15.

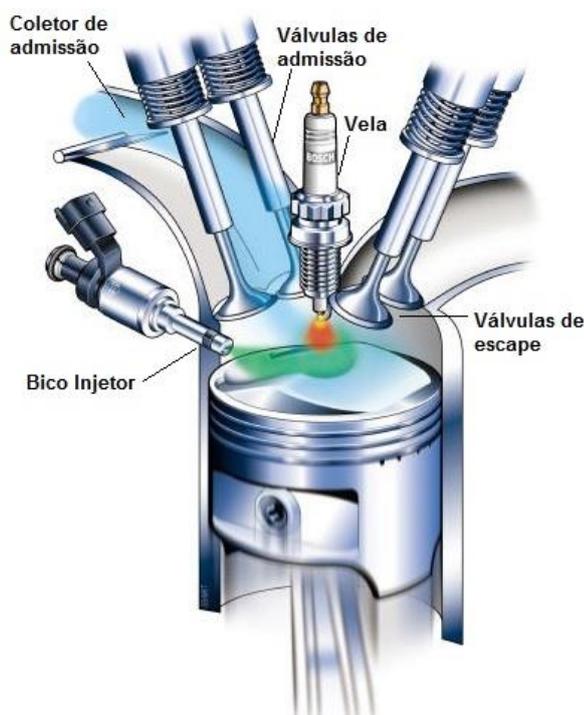


Figura 15 - Sistema de injeção direta de combustível.
Fonte: Gustavo Adriano

As diferenças em relação aos sistemas de injeção indireta convencionais estão nos injetores de combustível que, posicionados dentro da câmara de combustão, precisam suportar as condições de pressão e temperatura do interior da mesma. Esses injetores requerem uma pressão de combustível muito mais elevada quando comparadas as pressões utilizadas no sistema indireto, sendo esta elevação de pressão permitida com a utilização de uma bomba de combustível dentro do tanque de combustível que envia o combustível para uma segunda bomba acionada mecanicamente pelo motor do veículo (Adriano, 2014).

A adoção da injeção direta de combustível vem demonstrando grandes vantagens em relação aos sistemas de injeção indireta, principalmente pela maior eficiência térmica, além do fato da possibilidade de controle da temperatura de escapamento por meio da pós - injeção

no ciclo de escapamento com a válvula de escapamento aberta, o que permite um controle muito mais efetivo do enchimento dos turbocompressores (Brunetti, 2012).

O sistema de injeção direta de combustível permite uma redução de até 15% no consumo de combustível quando comparado ao sistema indireto aplicado em um motor de mesma cilindrada. Os ganhos com desempenho ficam em média 5% maiores quando comparados os valores de torque. Outra vantagem é que o sistema permite respostas mais imediatas às acelerações (Couto, 2011).

3.5.2 Redução do numero de cilindros

A redução do numero de cilindros em um motor de combustão interna é uma mudança drástica quando se trata de funcionamento. Sempre tomando como base um motor convencional, de quatro cilindros, podemos notar uma melhora nos números de economia e desempenho quando ocorre a redução do numero de cilindros para apenas três unidades (Marum, 2014).

A Figura 16 representa o bloco de um motor que teve o numero de cilindros reduzido.



Figura 16 - Bloco EA-211.

Fonte: Volkswagen do Brasil Ltda

A redução do atrito interno, calor gerado pela combustão, ruído e peso, bem como uma queima completa do combustível, fizeram com que ocorresse um interesse perante aos fabricantes de motores pela redução do numero de cilindros de seus produtos (Marum, 2014).

É conhecido que uma grande parte da potência gerada por um motor é utilizada para vencer a resistência ao atrito. Desta forma, um motor que dispensa um cilindro pode

economizar uma grande parte dessa conta, podendo aproveitar a potência do motor para movimentar o veículo.

A redução no número de cilindros de um motor não pode ser considerada somente a perda de um pistão e de uma biela. É preciso reconhecer que haverá uma redução no tamanho do bloco do motor, bem como cabeçote, virabrequim e comando de válvulas. Dependendo do modelo, a redução pode chegar a mais de trinta quilos. Esta redução permite ainda facilitar o trabalho do motor de partida, exigir menos dos coxins de apoio do motor, alívio na suspensão do automóvel e uma melhor dirigibilidade do mesmo.

Apesar de todos os benefícios da redução do número de cilindros, este processo pode gerar alguns incômodos. Todo dispositivo mecânico que possui um eixo movimentado em altas rotações exige uma distribuição de massas e forças de forma uniforme. A configuração ímpar de cilindros gera um desequilíbrio que acaba por causar excesso de vibrações, o que acaba por tornar este tipo de propulsor um equipamento de funcionamento áspero e ruidoso (Brunetti, 2012).

3.5.3 Atrito

A força necessária para iniciar o deslizamento entre duas superfícies é frequentemente maior que a força requerida para manter o deslizamento. Em especial, quando se trata de um sistema lubrificado, como um motor de combustão interna, o coeficiente de atrito estático é maior que o dinâmico pois quando as superfícies deslizam, o lubrificante é impulsionado para a região de contato, as superfícies se separam e o coeficiente de atrito se mantém em níveis inferiores aos do início do movimento (Brunetti, 2012).

O atrito não é interessante quando se trata de um motor de combustão interna, pois o mesmo gera desgaste de componentes importantes. Do ponto de vista da energia consumida, as perdas por atrito acabam sendo convertidas para outras formas de energia, como a energia térmica. A energia mecânica dissipada durante o movimento entre duas superfícies pode ser dividida, principalmente, entre calor, desgaste, ruído e eletrostática (Brunetti, 2012).

Boa parte dessa redução dos coeficientes de atrito pode se dar à melhores processos de produção dos componentes internos. Ensaio de desgaste são utilizados para classificar a resistência de diferentes materiais, com o propósito de facilitar a seleção de materiais que serão empregados na produção de novos componentes.

Os lubrificantes possuem um papel importante na redução dos coeficientes de atrito devido ao fato de que os mesmos reduzem os desgastes, resfriam as superfícies, auxiliam na vedação e previnem contra a oxidação de partes afetadas por atrito (Çengel, 2009).

A redução de componentes internos também influencia as perdas por atrito. A redução do número de cilindros, como citado anteriormente, gerar um ganho significativo em rendimento. O tratamento de superfícies de contato, como os pistões, com compostos de cerâmica influenciam, além de reduzir o atrito do componente, na dissipação do calor (Sousa, 2011).

A utilização de mancais de esferas nos comandos de válvulas, bem como balancins roletados, podem originar, além de um funcionamento mais silencioso, respostas mais imediatas ao funcionamento do motor, uma vez que os mancais de esferas possuem uma resistência menor ao atrito quando comparados os valores com mancais convencionais.

3.5.4 Sistema de admissão

O sistema de admissão de ar de um motor de combustão interna é responsável, além da admissão, pela filtragem, pressurização e direcionamento dessa massa de ar para o interior dos cilindros. Mesmo se tratando de um sistema simples, não se deve haver despreocupação com a importância que este exerce no bom funcionamento dos motores à combustão.

O sistema de admissão de ar é composto, basicamente, de um filtro de ar, dutos de envio, coletor de admissão e cabeçote, sendo que todos exercem alguma restrição ao fluxo de ar.

3.5.4.1 Filtro de ar

Podendo ser de corpo metálico ou plástico, o filtro de ar possui em seu interior um elemento filtrante responsável pela filtragem do ar que está sendo admitido pelo motor. Retenção de partículas de poeira, pólen, fuligem, e etc., são retidas com a finalidade de não serem admitidos, sob o risco de causar danos às camisas dos cilindros e dificultar a queima do combustível.

Para que seja possível uma filtragem eficiente, capaz de reter partículas da ordem de microns ou menores, o filtro de ar acaba por gerar uma enorme restrição na quantidade de ar que está sendo admitida, gerando uma ineficiência no processo de admissão. Um filtro de papel convencional pode ser visto na Figura 17.



Figura 17 - Filtro de ar em papel.
Fonte: Brandy Original Parts

O uso de componentes que possuem uma menor restrição, ilustrado na Figura 18, porém, fabricados com materiais mais sofisticados (espumas, polímeros ou algodão) pode amenizar uma parte destas perdas e, permitindo que o motor aspire mais livremente, acabe por resultar em um funcionamento mais suave no motor em que o componente esta sendo instalado.



Figura 18 - Filtro de ar em algodão lavável Inbox.
Fonte: K&N Engineering

Os filtros de ar podem ser divididos entre dois tipos, secos ou banhados à óleo, sendo que este, o menos utilizado atualmente.

Dentre os componentes que trabalham a seco, os filtros automotivos podem ser subdivididos entre expostos e internos (in box), sendo os modelos internos mais utilizados pelos fabricantes de automóveis pois podem ser fabricados com materiais mais viáveis economicamente por não ficarem expostos às condições do habitáculo do motor.

Os componentes externos, ou expostos, como mostrado na Figura 19, são, geralmente, confeccionados em algodão, espuma ou polímeros. A grande vantagem, além da menor restrição de partículas e conseqüente menor perda no fluxo de ar, se dá pelo fato do produto possuir a capacidade de ser lavável e reutilizável.



Figura 19 - Filtro de ar esportivo em algodão lavável.
Fonte: K&N Engineering

3.5.4.2 Dutos de envio

Os dutos de envio de ar são responsáveis por encaminhar o ar admitido pelo filtro de ar para a borboleta de aceleração e, conseqüentemente, o coletor de admissão. Este componente também pode abrigar sensores de pressão de massa de ar, bem como de temperatura do ar que esta sendo admitido.

Geralmente a confecção deste componente se dá com a utilização de plástico, semelhante ao modelo ilustrado na Figura 20, devido ao fato do material gerar menor restrição no fluxo de ar e por ser maleável.



Figura 20 - Mangueira de ar GM Corsa.
Fonte: VRS Autopeças Ltda

3.5.4.3 Coletor de admissão

Os coletores de admissão são sistemas projetados para fornecer ar a cada cilindro do motor através de tubos. O diâmetro destes tubos deve ser grande o suficiente para evitar alta resistência ao escoamento e proporcionar boa eficiência volumétrica. Por outro lado, o diâmetro deve ser pequeno o bastante para garantir uma alta velocidade do ar. O duto do coletor de admissão não deve possuir rugosidades e nem protuberâncias (excesso de junta) acentuadas, e as paredes internas devem ser polidas (Pulkrabek, 2010).

O coletor de admissão é, normalmente, feito de alumínio, mas a tendência é que se passe a utilizar componentes feitos em plástico. O ar movendo através de qualquer tubulação ou através de restrições acaba sofrendo queda de pressão, portanto, pode-se dizer que o escoamento do ar através do sistema de admissão acaba por reduzir a eficiência volumétrica no sistema.

Muitos esforços estão sendo feitos para diminuir perdas de pressão nos sistemas de admissão. A utilização de plástico na confecção dos mesmos, bem como o polimento dos dutos do coletor, e redução de curvas acentuadas bem como um melhor alinhamento do sistema em relação ao cabeçote, têm surtido resultados importantes (Pulkrabek, 2010).

3.5.4.4 Cabeçote

O nome cabeçote se originou devido à função que esta peça fixa realiza no motor. Sendo acoplado sobre o bloco, é o componente responsável de conduzir a entrada e a saída de ar e combustível dos cilindros (Brunetti, 2012).

Num motor de combustão interna, os cabeçotes são usualmente fabricados a partir do mesmo material do restante do bloco que, na maioria das vezes, é confeccionado em ferro fundido. Porém, em motores de alto rendimento, a utilização de ligas de alumínio é comum. Assim como o bloco do motor, o cabeçote possui galerias para passagem de lubrificante e água, responsável pela refrigeração do componente.

Geralmente abrigando duas válvulas para cada cilindro (uma de admissão e outra de escape) e apenas um comando de válvulas, atualmente a utilização de cabeçotes multiválvulas tem se tornado uma opção quando se busca uma maximização da queima do combustível. Um exemplo de cabeçote multiválvulas pode ser visto na Figura 21.

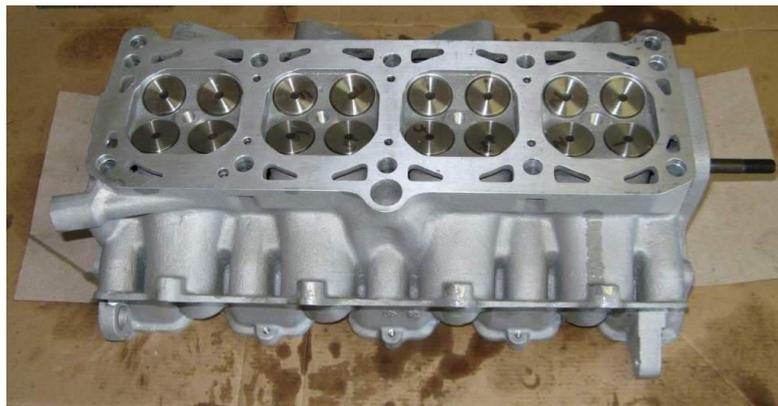


Figura 21 - Cabeçote multivalvulas.

Fonte: Oettinger OEM Parts

São várias as melhorias que ainda podem ser executadas neste componente e que vamos tratar a seguir, todas com a finalidade da otimização da queima e redução das perdas de rendimento.

3.5.4.5 Válvulas

As válvulas tem como função principal permitir a entrada da mistura ar - combustível e possibilitar a saída dos gases oriundos da combustão da mistura. Abrigando, geralmente, duas válvulas por cilindro em motores que operam em ciclo Otto, o numero de válvulas pode ser modificado com a finalidade de se obter um motor que aspire melhor certa quantidade de ar.

Em muitos motores mais recentes, a utilização de duas ou três válvulas menores para a admissão de ar fornece mais área de escoamento e menos resistência ao escoamento que a utilização de apenas uma válvula grande de admissão. Ao mesmo tempo, usualmente, duas válvulas de escape podem ser mais facilmente alocadas em um dado cabeçote com espaço de folga suficiente para manter a rigidez estrutural do cabeçote (Pulkrabek, 2010).

Múltiplas válvulas necessitam de maior complexidade de projeto com mais eixos de comando e dispositivos de acionamento. Quando duas ou mais válvulas são usadas em lugar de uma, elas acabam por serem menores e mais leves, permitindo o uso de molas de retorno com menos carga e reduzidas forças de acionamento. O alívio de peso neste componente permite também uma operação mais rápida, além de que uma maior eficiência volumétrica compensa o custo adicional de manufatura e complexidade adicionadas ao projeto (Pulkrabek, 2010).

3.5.4.6 Eixo de came ou comandos de válvulas

Responsável pela abertura e fechamento das válvulas de admissão e descarga, o comando de válvulas recebe movimento da árvore de manivelas e possui um ressalto ou came para cada válvula e gira com metade da velocidade da árvore de manivelas. Os ressaltos atuam sobre os impulsadores das válvulas em tempos precisos. Os comandos são fabricados em aço forjado ou ferro fundido (ao níquel-cromo-molibdênio), passando ainda por tratamentos termicos, de maneira a oferecer a máxima resistência ao desgaste dos ressaltos (Varella, 2010).

Atualmente, mesmo apresentando bons números de desempenho, os comandos de válvulas convencionais estão sendo substituídos por modelos capazes de variarem o tempo de abertura das válvulas, e até mesmo, por atuadores.

3.5.4.7 Controle variável de válvulas

Estes sistemas permitem uma operação mais eficiente dos motores variando o tempo de abertura da válvula e o tempo em que permanece aberta. Além do tempo de abertura variável (timing), os sistemas mais modernos também permitem variar a altura de abertura das válvulas (overlap).

Quando o motor opera sob altas rotações, o tempo real de um ciclo é menor e mais mistura é requerida. Para otimizar esta situação, a válvula de admissão deve abrir mais cedo no ciclo, durar maior tempo aberta para admitir uma quantidade maior de mistura e, se possível ter uma abertura maior. A válvula de exaustão também deve ter uma abertura maior e abrir mais cedo para permitir mais tempo real para expulsar os gases queimados, e também deve se fechar um pouco mais tarde. A baixas velocidades e em baixas rotações, operando em marcha lenta, por exemplo, o tempo real de um ciclo é maior e menos mistura é requerida. Ambas as válvulas, admissão e exaustão, podem abrir mais tarde e fechar mais cedo. A baixa velocidade a pressão no coletor é muito baixa e então o tempo em que ambas as válvulas ficam abertas (overlap) menor é desejável. Se o overlap for muito grande, acontece um grande refluxo de gases residuais para o coletor de admissão que substitui uma parcela da mistura ar-combustível admitida. Este é o motivo para que a baixas velocidades seja necessária uma mistura mais rica para uma boa combustão. A abertura da válvula de admissão pode ser reduzido a baixa rotação para que a velocidade do escoamento permaneça alta o suficiente para proporcionar um bom padrão de mistura (Pulkrabek, 2010).

Hoje há dois tipos principais de variação no comando das válvulas: a variação de fase e a variação de abertura. Na variação de abertura a ECU (Eletronic Central Unit - Central de Controle Eletrônico) seleciona um perfil de comando diferente baseado na carga e na velocidade do motor, enquanto a variação de fase um atuador gira o comando em seu próprio eixo, mudando o momento de abertura da válvula.

A variação de fase avança ou atrasa a abertura das válvulas ao rotacionar o comando, geralmente em uma faixa de 60 graus em relação ao ângulo do virabrequim. Se tomarmos como exemplo que uma válvula de admissão normalmente abre 5 graus antes do ponto morto superior do virabrequim e fecha 185 graus depois do ponto morto superior (ou 5 graus depois do ponto morto inferior). “Atrasar” o levantamento da válvula em 10 graus significa que a válvula se abrirá e fechará 10 graus mais tarde, isto é, ela abre 5 graus depois do ponto morto superior do virabrequim e fecha 195 graus depois do ponto morto superior. Ao atrasar o ponto de levantamento da válvula o motor consegue melhor torque em alta rotação, enquanto o avanço do ponto de levantamento da válvula de admissão melhora a potência em rotações baixas. Esse tipo de modificação pode ser feito manualmente em motores com comandos fixos convencionais, e é popularmente chamada de “cruzamento de comandos” ou “comando cruzado” (Contesini, 2014).

A variação no tempo de abertura das válvulas opera mudando os ressaltos da árvore de cames, e não apenas seu ângulo em relação ao virabrequim. A mudança do perfil do comando não afeta apenas o levantamento da válvula, mas também a duração da abertura. Em velocidades mais altas, muitos sistemas de variação mudam o comando para um perfil mais agressivo (válvula mais aberta, tempo de abertura maior). Alguns sistemas de levantamento variável mudam a árvore de cames axialmente, para que um ressalto de perfil mais alto acione o seguidor de cames, produzindo maior levantamento da válvula. Outros travam um balancim auxiliar aos balancins de baixa velocidade por meio de um pino de acionamento hidráulico, permitindo a entrada de mais ar no cilindro (Contesini 2014).

Os sistemas CVV (Comando Variável de Válvulas) mais modernos não têm eixo de cames e usam solenóides elétricos para abrir e fechar as válvulas diretamente, ou por meio de conexões eletromecânicas ou eletrohidráulicas, ao invés dos comandos de válvulas. Operando sem comando de válvulas, os atuadores abrem e fecham estas muito mais rapidamente, e apresentam fechamento mais suave, permitindo o uso de válvulas cerâmicas que podem tolerar temperaturas muito mais altas e, conseqüentemente, elevadas taxas de compressão. Um sistema típico usa um atuador hidráulico de dupla ação controlado eletronicamente para abrir e fechar as válvulas. Quando isto é feito, a temperatura, viscosidade e compressibilidade

do fluido hidráulico devem ser consideradas e controladas, pois sob altas temperaturas, a viscosidade do fluido diminui. Por meio de uma central eletrônica com capacidade de processamento elevada, estes sistemas têm um potencial quase infinito para a variabilidade do controle do timing, duração e levante, incluindo variações ciclo-a-ciclo e cilindro-a-cilindro. O obstáculo a estes sistemas, usando o sistema elétrico padrão de 12 volts dos automóveis, é o grande tamanho dos componentes necessários, o que torna impraticável para a maioria dos veículos. Este obstáculo desaparece quando se utiliza um sistema elétrico de 42 volts permitindo o uso de componentes muito menores. A eliminação do eixo de cames reduz o atrito no motor e aumenta sua eficiência mecânica. O controle de cada válvula separadamente em motores equipados com múltiplas válvulas de admissão pode proporcionar melhorias no consumo de combustível e controle de emissões (Pulkrabek, 2010).

Um exemplo deste tipo de sistema pode ser visto na Figura 22.

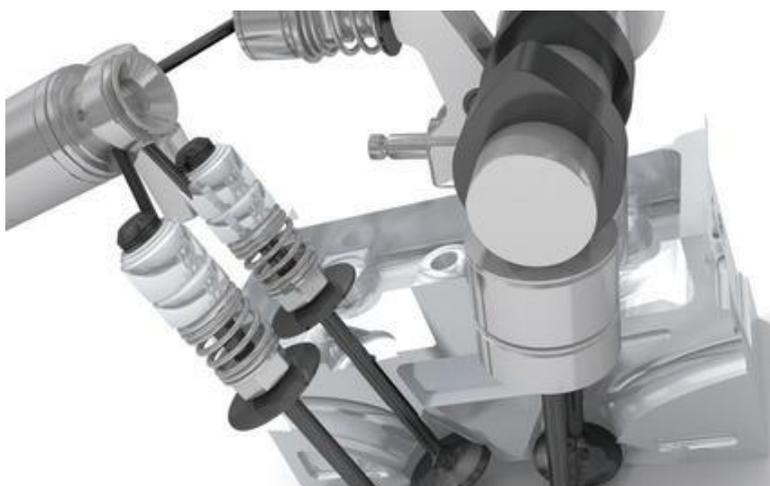


Figura 22 - Sistema MultiAir.
Fonte: Fiat Automobiles S.p.A.

3.5.4.8 Câmara de combustão

A câmara de combustão de um motor é o espaço em que ocorre a combustão da mistura ar - combustível. A maior parte dessa câmara é localizada no cabeçote.

A câmara de combustão tem como função principal servir de espaço para a queima da mistura bem como pressionar os gases oriundos da queima contra os pistões (Brunetti, 2012).

O desenvolvimento de motores de baixa cilindrada que utilizam o sistema de injeção direta de combustível tem se tornado maior com o passar dos anos e isso fez com que

houvesse uma busca por soluções que tornem os motores mais eficientes nos regimes transitórios e durante o processo de partida a frio, bem como a necessidade de abaixar os níveis de emissões de poluentes e melhorar a otimização da queima (Souza, 2004).

A câmara de combustão de um motor que pretende fazer uso de um sistema de injeção direta de combustível deve permitir a melhor localização e orientação do injetor de combustível relativamente à vela de ignição, pois na condição de carga estratificada o momento da injeção e sua duração devem manter um vínculo com o momento do disparo da centelha pela vela de ignição, podendo o diâmetro das válvulas de admissão e descarga virem a serem penalizados por tais necessidades (Souza, 2004).

3.6 Sobrealimentação

O termo sobrealimentação refere-se ao aumento da densidade do ar (ou mistura) pelo aumento da pressão anteriormente ao cilindro do motor (Pinto, Valente, 2012).

Três métodos básicos podem ser utilizados para realizar a sobrealimentação de um motor de ciclo Otto, sendo que a diferença entre estes está basicamente na forma de acionamento e princípios de funcionamento.

3.6.1 Sobrealimentação mecânica

A sobrealimentação mecânica, segundo Brunetti (1994) se dá por um compressor acionado mecanicamente por um conjunto de polias acoplado ao eixo virabrequim do motor em questão. Segundo o autor, este efeito parasita é a maior desvantagem desse método, podendo o consumo de potência do motor chegar a aproximadamente 15% da potência efetiva.

A grande vantagem deste tipo de equipamento é a rápida resposta à aceleração, uma vez que o mesmo encontra-se acoplado permanentemente ao eixo virabrequim, enviando ar sob pressão aos cilindros.

Também conhecido por nomes como blower, compressor volumétrico, supercharger, o compressor mecânico utilizado neste tipo de sobrealimentação podem ser do tipo de palhetas, de lóbulos (tipo Roots) ou Lysholm, tendo cada um suas peculiaridades.

3.6.1.1 Compressor de palhetas

Os compressores de palhetas são utilizados com o intuito de se obter mais potência em motores de combustão interna, sejam eles ciclo Otto ou Diesel. Independente da aplicação, os ganhos em potência e torque são garantidos.

Muito utilizados em adaptações automotivas, os compressores de palhetas, mostrado na Figura 23, se caracterizam por possuírem tamanho reduzido quando comparados com outros tipos de compressores. A pressão de trabalho do mesmo é determinada pelo diâmetro da polia que aciona o componente. Quanto menor a polia, maior será a sua rotação e, conseqüentemente, sua pressão. A maior desvantagem desse tipo de componente é a necessidade de uma lubrificação interna cujo óleo incorpora-se ao fluxo de ar, sendo queimado no motor (Brunetti, 2012).



Figura 23 - Compressor de palhetas.
Fonte: ProCharger

Este tipo de compressor é pouco utilizado em automóveis fabricados em série, justamente pelo fato de adicionar mais impurezas à mistura ar - combustível.

3.6.1.2 Compressor de lóbulos

Ilustrados na Figura 24, possuem rendimentos altos, de aproximadamente 90%. Entretanto, são muito grandes e onerosos, não sendo indicados para aplicações automotivas (Brunetti, 2012).

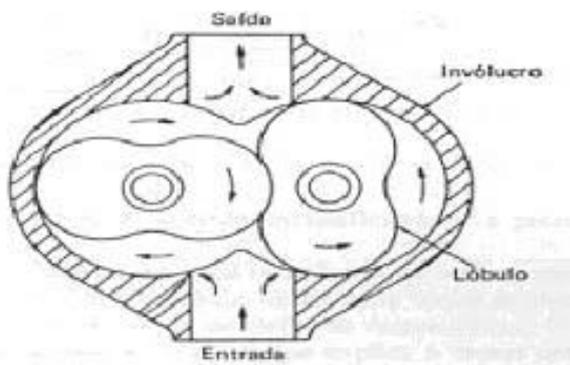


Figura 24 - Compressor de lóbulos.
Fonte: Augusto Leda

3.6.1.3 Compressor Lysholm

Os compressores tipo Lysholm, mostrado na Figura 25 e conhecidos também por compressores tipo roots, apresentam rendimentos baixos, às vezes menores que 50%, pois precisam retirar do motor em que estão instalados muita potência para seu acionamento. Este tipo de componente é mais utilizado em motores que possuem seu bloco em forma de “V”, sendo instalados entre as bancadas de cilindros (Brunetti, 2012).

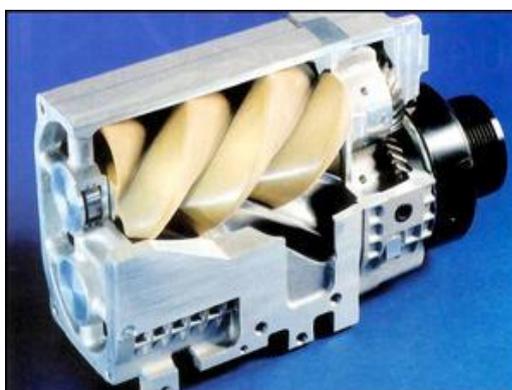


Figura 25 - Compressor Lysholm.
Fonte: Vortech

A pressão de trabalho deste tipo de componente também é determinada de acordo com o tamanho das polias de acionamento do compressor.

3.6.2 Turbocompressor

Neste tipo de aplicação, o compressor é movido por uma turbina que é acionada pelos gases de escape do motor. Desta forma, a utilização dos gases oriundos da queima altera o balanço energético do motor, possibilitando um aumento de sua eficiência térmica (Brunetti, 2012).

Em motores sobrealimentados, sabe-se que o torque de um motor está diretamente relacionado à massa de ar que o mesmo consegue aspirar por ciclo de admissão, uma vez que quanto maior a massa de ar admitida pelos cilindros, maior será o aproveitamento da mistura. O papel do turbocompressor se resume à comprimir o ar antes dele ser admitido pelo motor. Assim, dado um mesmo volume de ar, têm-se muito mais massa de ar devido à compressão do mesmo (Brunetti, 2012).

Fisicamente, um turbocompressor pode ser dividido em duas partes: a turbina (também conhecida como parte quente ou caixa quente) e o compressor (parte fria ou caixa fria), cujos nomes se dão devido à diferença de temperatura das duas partes que pode exceder centenas de graus durante o trabalho. A caixa quente é a responsável por receber os gases oriundos da queima da mistura ar - combustível que, em alta temperatura, aquecem o componente. A caixa fria, por sua vez, é responsável por admitir ar ambiente e enviar em direção ao coletor de admissão, já sob alta pressão (Nice, 2014).

A posição de cada parte do componente pode ser vista na Figura 26.

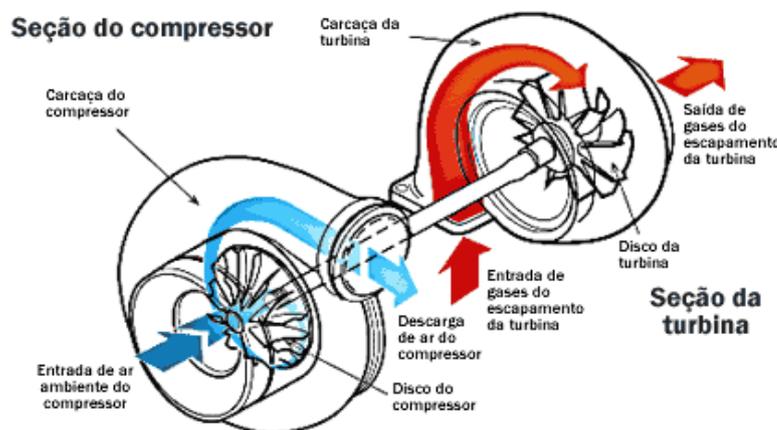


Figura 26 - Turbocompressor.

Fonte: Karim Nice

A vantagem deste tipo de equipamento é não possuir ligação mecânica com o motor e, desta forma, não consumindo potência do mesmo. Assim, diz-se que o turbocompressor é apenas “termodinamicamente” acoplado ao motor, possuindo como desvantagem, o fato de que tanto o compressor quanto a turbina possuírem uma faixa de operação. O tamanho da caixa quente do turbocompressor determina a faixa de rotação em que a maior pressão de funcionamento é alcançada. Quanto menor a parte quente, mais rapidamente ela é preenchida pelos gases. Da mesma forma, quanto maior a parte quente, mais lentamente ela é preenchida pelos gases. O turbocompressor opera de maneira mais efetiva em médias e altas rotações e cargas do motor, momentos em que ocorre uma grande queima de mistura ar- combustível. Mesmo assim, a turboalimentação é o método mais usual para se obter um aumento de potência torque em motores que operam no ciclo Otto (Brunetti, 2012).

A sobrealimentação de um motor Otto pode aumentar em até 20% a sua potência, sem a necessidade de reprojeta-lo. Desta forma, a adoção de um turbocompressor em motores de baixa cilindrada podem trazer ganhos significativos se comparados a números de motores de maior cilindrada, fazendo com que um veículo turboalimentado tenha desempenho equivalente a um veículo equipado com motor naturalmente aspirado de cilindrada maior, só que com consumo de combustível menor (Brunetti, 2012).

3.7 Veículos híbridos

A busca constante por uma maior economia de combustível, redução dos níveis de emissões de poluentes, sem que haja um sacrifício no desempenho, segurança, confiabilidade e manutenção dos demais componentes dos veículos convencionais, tem tornado, atualmente, a aplicação da tecnologia híbrida um dos maiores desafios da indústria automobilística (Brunetti, 2012).

No ramo automobilístico, híbridos podem ser considerados como qualquer veículo que combine duas ou mais fontes de energia que possa proporcionar potência de propulsão, direta ou indiretamente, sendo que a maior parte dos veículos atuais disponíveis comercialmente utiliza eletricidade e algum combustível de origem fóssil (Layton; Nice, 2014).

Este tipo de híbrido, que combina um motor de combustão interna (MCI) e um motor elétrico (ME), possui também baterias capazes de armazenar a energia que será utilizada para a locomoção, podendo esta energia ser produzida pelo MCI ou fornecida pela rede elétrica

convencional. Essa forma de operação permite que o MCI seja mais eficiente, use menos combustível e assim produza menos gases poluentes (Brunetti, 2012).

3.7.1 Classificação dos sistemas híbridos

Os sistemas híbridos são classificados de acordo com suas formas de operação.

3.7.1.1 Híbridos em série

Em sistemas em série, somente o motor elétrico (ME) é utilizado para a movimentação do veículo, enquanto que o motor de combustão interna (MCI) é utilizado, exclusivamente, para a geração da energia elétrica que será armazenada nas baterias ou utilizada diretamente nos motores elétricos. Isso é possível, pois o MCI não é acoplado diretamente às rodas, o que torna possível seu controle, independente das condições de dirigibilidade do veículo (Brunetti, 2012).

A posição de cada sistema pode ser analisada na Figura 27.



Figura 27 - Sistema híbrido em série.

Fonte: Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE)

O sistema em série possui como vantagem o fato de o MCI ser operado virtualmente em modo estacionário, na maior parte do tempo na faixa de melhor eficiência térmica, e, como o MCI não necessita estar acoplado ao ME, existe a possibilidade da instalação dos dois motores separadamente em locais diferentes. As desvantagens seriam que as perdas de

rendimento, dos ME e MCI, são associadas, além da necessidade de múltiplas conversões de energia (ABVE, 2010).

3.7.1.2 Híbrido em paralelo

Os sistemas em paralelo, ambos os componentes, ME e MCI, são capazes de fornecerem torque para as rodas. Nesse tipo de configuração, o MCI é mecanicamente acoplado às rodas do veículo podendo assim suprir uma demanda emergencial de torque. O ME, por sua vez, é instalado paralelamente ao MCI de forma que possa ocorrer a associação da força de ambos. Em baixas velocidades e solicitações, somente o ME opera sendo que, quando solicitado uma quantidade maior de força ou velocidade, o MCI entra em operação ficando assim, os dois propulsores em funcionamento. Nesse sistema, o MCI não é responsável por gerar energia para ser armazenada nas baterias (Brunetti, 2012).

A posição de cada sistema pode ser analisada na Figura 28.

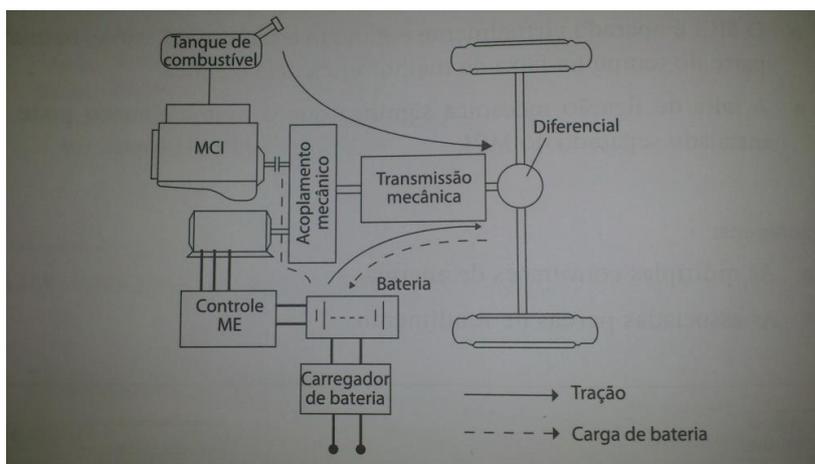


Figura 28 - Sistema híbrido em paralelo.

Fonte: Brunetti, 2012, vol. 2, p. 467.

As desvantagens deste sistema é o fato do MCI não poder fornecer energia para ser armazenada nas baterias.

3.7.1.3 - Combinado série - paralelo

Sendo o mais utilizado comercialmente em automóveis, o sistema combinado faz com que o MCI atue não como complemento de força ao ME, mas como gerador de energia ao fim da carga das bateria (ABVE, 2010).

A potência mecânica do MCI é dividida através de uma engrenagem planetária entre o MCI e o gerador e entre o MCI e as rodas.

A posição de cada sistema pode ser analisada na Figura 29.

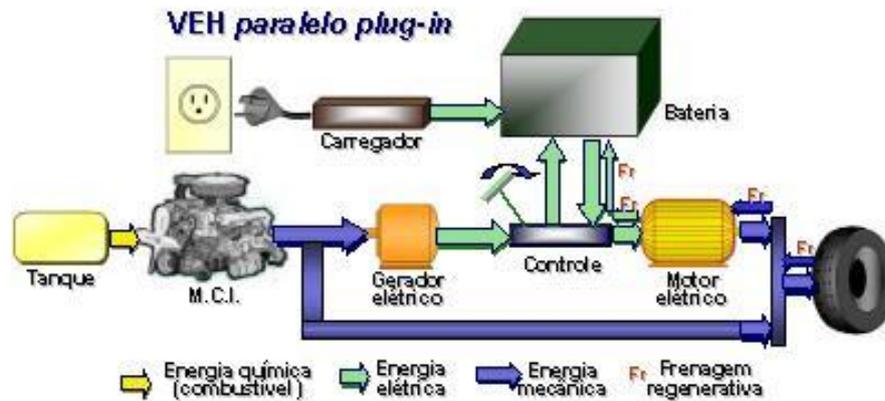


Figura 29 - Sistema híbrido combinado paralelo.

Fonte: Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE)

As vantagens do sistema combinado é justamente o fato do MCI possuir condição de gerar energia para recarga das baterias, além de fornecer torque para as rodas em situações emergenciais ou quando solicitado.

3.7.2 Tendências

No Brasil, a utilização massiva dos biocombustíveis, produtos ambientalmente corretos, contribui ainda mais com a redução nos índices de emissões dos veículos híbridos mas, mesmo assim, este tipo de tecnologia ainda sofre com a concorrência como as células de combustíveis, que já são uma realidade, mesmo longe de serem aplicadas em grande escala.

3.8 Células de combustível

Células de combustível são transdutores eletroquímicos de operação contínua que convertem energia química em energia elétrica ao combinar um átomo de oxigênio a dois átomos de hidrogênio. O resultado dessa combinação é a produção de água, energia térmica e energia elétrica. Sua operação produz um baixo impacto ambiental, pois não gera ruídos, poluição e nem resíduos (Stefanelli, 2014).

Um esquema básico sobre o funcionamento do componente pode ser analisado na Figura 30.

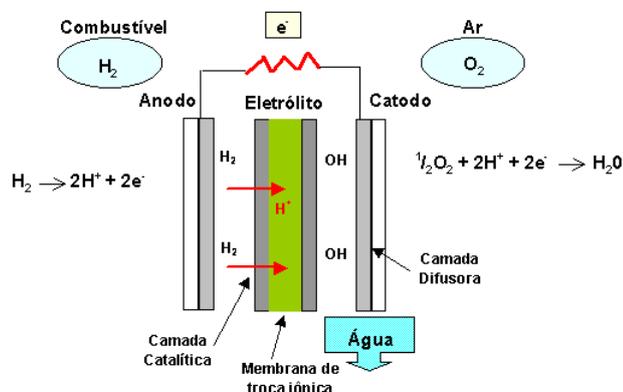


Figura 30 - Esquema de uma célula de combustível.
Fonte: Enedis

Este tipo de equipamento não é descartável, como as baterias, pois os elementos químicos fluem constantemente para a célula. Desde que existam elementos químicos afluindo, a eletricidade emanará da célula a combustível. Atualmente, a maioria das células a combustível utiliza o hidrogênio e o oxigênio (Nice, 2013).

A célula a combustível fornece tensão em corrente contínua que pode ser empregada para energizar motores, lâmpadas e outros aparelhos elétricos. Existem muitos tipos de células a combustível, cada qual com um processo químico responsável pelo seu funcionamento. Elas geralmente são classificadas pelo tipo de eletrólito que usam. Alguns tipos de células a combustível trabalham bem na geração estacionária de energia elétrica. Outras podem ser úteis em pequenas aplicações portáteis ou para energizar automóveis (Nice, 2013).

Os veículos que utilizam células de combustível são, geralmente, totalmente elétricos ou híbridos combinados, possuindo um motor elétrico e um motor de combustão interna. A energia gerada pela célula fica armazenada em baterias, servindo de depósito para um uso futuro (Neto, 2014).

Os principais objetivos deste tipo de tecnologia é a redução na emissão de gases nocivos ao meio ambiente. Como a célula a combustível é energizada com oxigênio puro, potencialmente, ela poderia ter uma eficiência de 80%. Isto é, poderia converter 80% da energia contida no hidrogênio em energia elétrica. Porém, não é fácil estocar hidrogênio no automóvel, pois o mesmo necessita ser armazenado sob alta pressão. Neste caso, utilização das baterias para a armazenagem da energia produzida se faz necessária (Nice, 2013)

A conversão da energia elétrica em trabalho mecânico é feita pelo motor elétrico e pelo inversor. Uma eficiência razoável para o motor/inversor gira em torno de 80% (Brunetti, 2012).

Apesar das grandes e comprovadas vantagens no uso de células de combustível, a complexidade do sistema ainda é uma barreira para que a tecnologia esteja disponível comercialmente em larga escala (Vasco, 2003).

4 CONCLUSÃO

Com base no levantamento de informações realizado à respeito do melhoramentos dos motores de combustão interna, pôde-se constatar que houve uma evolução enorme em sistemas fundamentais dos motores. Sistemas de admissão e alimentação de combustível, bem como o uso da sobrealimentação estão sendo amplamente utilizados com a finalidade de reduzir a emissão de poluentes e aumentar a potência e o torque dos motores de baixa cilindrada.

Na medida que os sistemas de gerenciamento de combustível foram evoluindo, as dificuldades e deficiências de projeto dos motores ciclo Otto foram sendo contornadas por meio de sistemas periféricos auxiliares.

Atualmente o uso de sistemas de injeção direta aliada ao uso da sobrealimentação, fazem com que esses tipos de motores apresentem um grande ganho de potência e torque, reduzindo o consumo de combustível.

O downsizing ainda é pouco conhecido no Brasil. Por se tratar de novas tendências e tecnologias, os veículos equipados com propulsores mais sofisticados, mesmo que sendo de baixa cilindrada, são na maioria, importados e ainda possuem um alto custo de compra.

Por outro lado, os antigos motores, que ainda fazem uso de carburador e aspiração natural, podem ser modificados com a adição de injeção eletrônica e turbocompressores, para projetos mais complexos que exijam uma quantidade maior de força.

4.1 Propostas para trabalhos futuros

Um comparativo, utilizando dados de um propulsor desprovido de tecnologia e, posteriormente, passando pela adaptação de um sistema de injeção eletrônica de combustível e uma das formas de sobrealimentação, poderia comprovar que a utilização destes sistemas contribui, na prática, com a redução na emissão de poluentes, além de passarem a fornecer uma quantidade maior de torque.

A elaboração de uma bancada de testes, com sistema de arrefecimento, exaustão e transmissão, poderia fazer com que os testes fossem executados de forma mais segura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABVE. **O que é um veículo híbrido?** 2010. Disponível em: <http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0003>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

ABVE. **O que é veículo elétrico híbrido plug-in?** 2010. Disponível em: <http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0008>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

ADRIANO, Gustavo. **Mecânica: como funciona a injeção direta de combustível?** 2014. Disponível em: <http://www.papoecarro.com.br/noticias/mecanica-como-funciona-a-injecao-direta-de-combustivel/>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

ARAÚJO, Daniel S. de. **Potência, Potência disponível e torque: buscando a compreensão desses conceitos.** 2012. Disponível em: <http://autoentusiastas.blogspot.com.br/2012/04/torque-ou-potencia-qual-interessa-mais.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna: volume 1.** São Paulo: Blucher, 2012. 553p.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna: volume 2.** São Paulo: Blucher, 2012. 485p.

CALIENDO, Teço. (2009). **Ponto de equilíbrio.** Revista Fullpower. São Paulo, n. 88, p. 146-147, 2009.

CALIXTO, Marcio. **Até onde chegará o downsizing**. Notícias Automotivas. 2013. Disponível em: <http://www.noticiasautomotivas.com.br/ate-onde-chegara-o-downsizing/>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

CALMON, Fernando. **Entenda o conceito de downsizing nos motores**. 2009. Disponível em: <http://carpress.uol.com.br/reportagem/item27139.shl>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

CALMON, Fernando. **Tal como a eletrônica, mecânica também avança**. 2008. Disponível em: <http://carpress.uol.com.br/reportagem/item23369.shl>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

CERQUEIRA, Pedro; CABRAL, Julio. **Downsizing no Brasil** - a volta dos motores pequenos com alta tecnologia e baixo consumo. 2011. Disponível em: http://www.vrum.com.br/app/301,19/2011/08/19/interna_noticias,44342/downsizing-no-brasil-a-volta-dos-motores-pequenos-com-alta-tecnologia-e-baixo-consumo.shtml. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

COUTO, Ricardo ; QUIMARÃES, Carlos. **Downsizing**: motor fica cada vez menor e eficiente. 2011. Disponível em: <http://carsale.uol.com.br/editorial/noticia/7582-downsizing:-motor-fica-cada-vez-menor-e-eficiente>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

ÇENGEL, Y. A. **Transferência de calor e massa**: uma abordagem pratica. 3ª ed. São Paulo: McGraw-hill, 2009. 902p.

CONTESINI, Leonardo. **Como funciona o comando variável de válvulas?** 2014. Disponível em: <http://www.flatout.com.br/como-funciona-o-comando-variavel-de-valvulas/>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

FAGGI, Rodrigo. **Formação de mistura ar combustível em motores de ignição por faísca a quatro tempos**. 2010. 60f. Monografia de Pós-Graduação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia.

FARJOUN, Carlos Mauricio. **Motores grandes e econômicos: isso é possível?** 2011. Disponível em: <http://autoentusiastas.blogspot.com.br/2011/10/motores-grandes-e-economicos-isso-e.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

FERREIRA, Pedro Henrique Ribeiro. **Projeto e otimização de arvores de manivelas.** 2008, 138f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FIGUEIREDO, Leonardo Soutto Mayor de. **Estudo do aprimoramento de performance de um motor com a instalação de um turbocompressor.** 2013. 72f. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

HURTADO, Diego K. ; SOUZA, Alfeu de A. **A evolução do sistema de injeção de combustível em motores ciclo Otto: uma análise crítica desde suas implicações no meio ambiente à regulamentação legal no sistema normativo pátrio.** 2012. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/revistadireito/article/viewFile/8527/5175>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

IKEDA, Toshiaki. **Segurança veicular: dispositivos de segurança passiva - descrição e recomendações.** 2012. 72f. Monografia de Pós - Graduação (Bacharelado em Engenharia Automotiva) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2012.

IWU, Fraunhofer. **Usinagem dinâmica em motores gera redução no consumo de óleo lubrificante e combustível.** 2013. Disponível em: <http://www.oficinabrasil.com.br/materia-exclusiva/2477-usinagem-dinamica-em-motores-gera-reducao-no-consumo-de-lubrificante-e-de-combustivel>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

LAYTON, Julia ; NICE, Karim. **Como funcionam os carros híbridos.** 2014. Disponível em: <http://carros.hsw.uol.com.br/carros-hibridos.htm>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

MAFRA, Alan ; ARAGÃO, Analu M. ; BRYN, Miguel. **Produção de etanol**. 2009. Disponível em: www.eng.ufsc.br/labs/probio/disc_eng../etanol_apresentacao.ppt. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

MARTELLI, André I. ; SILVA, Verílton da S. **Avaliação das perdas por atrito em um motor monocilíndrico 4 tempos de 35cc através de um modelo computacional**. 2010. Disponível em: <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/3350/3269>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

MARUM, Denis. **Econômico, motor de 3 cilindros é a ‘bola da vez’ para carros**. 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/carros/oficina-do-g1/noticia/2014/02/economico-motor-de-3-cilindros-e-bola-da-vez-para-carros.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

MURTA, Márcio. (2011). **Menor pode ser melhor**. Revista Fullpower. São Paulo, n. 113, p. 148-152, 2011.

NETO, Emílio H. G. **Célula de combustível no Brasil**. 2013. Disponível em: http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/celula_combustivel/celula_a_combustivel_no_brasil.html. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

NICE, Karim. **Como funciona a célula de combustível**. 2013. Disponível em: <http://carros.hsw.uol.com.br/celula-combustivel.htm>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

NICE, Karim. **Como funcionam os turbocompressores**. 2014. Disponível em: <http://carros.hsw.uol.com.br/turbocompressores.htm>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

NOGUEIRA, Nuno. **O que é downsizing?**. 2014. Disponível em: <http://www.portal-gestao.com/gestao/item/6319-o-que-%C3%A9-o-downsizing.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

PINTO, Adriano B ; VALENTE, Steven da C. **Sobrealimentação automóvel**. 2012. Disponível em: http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos%202011-12/SIAUT_2011-12_Sobrealimentacao.pdf. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

PULKRABEK, Willard W ; HALL, Pearson Prentice. **Engineering fundamentals of the internal combustion engines**. 2010. Disponível em: <http://eduloureiro.dominiotemporario.com/doc/SistAdmissao.pdf>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

SELIM, André Baroni. **Influência das forças de inércia e do balanceador de massas na dinâmica do motor de combustão interna**. 2010. 106f. Dissertação de Mestrado (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SILVA, Flávio Teodoro Alves da. **Funcionamento do motor a combustão interna**. 2012. 47f. Monografia de Graduação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Rio verde, Rio Verde, 2012.

SILVA, Vasco. **Vantagens e desvantagens** - células de combustível. 2003. Disponível em: <http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/vantagens.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

SOUZA, Gustavo R. **Estudo experimental e numérico do sistema de admissão de um motor de combustão interna**. 2010. 113f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Escola de Engenharia de São Carlos.

SOUZA, Sandro Guimarães. **Um estudo sobre a evolução das câmaras de combustão dos motores do ciclo Otto à gasolina e sua aplicação ao etanol hidratado como combustível alternativo**. 2004. 119f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Escola de Engenharia de São Carlos.

SOUSA, Paulo José de. **As vantagens do cilindro revestido**. 2011. Disponível em: <http://www.oficinabrasil.com.br/duas-rodas/1812-as-vantagens-do-cilindro-revestido>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

STEFANELLI, Eduardo J. **Célula a combustível - energia elétrica a partir do hidrogênio**. Disponível em: <http://www.stefanelli.eng.br/webpage/celula-combustivel/celula-a-combustivel.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

VARELLA, Carlos Alberto A. **Constituição dos motores**. 2010. Disponível em: http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/constituicao_dos_motores.pdf. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

VAN WYLEN, G.J.; SONNTAG. R. E.; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. São Paulo: Blucher, 1995.

FIGURAS

Figura 1. Disponível em: <http://www.ciaar.com.br/EM%20FOCO/2006/av-2/av2-alcool.html>. Acesso em 26 de Maio de 2014.

Figura 2. Disponível em: <http://www.clubedodiesel.com.br/?p=741>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 3. Disponível em: <http://autoentusiastas.blogspot.com.br/2012/06/motor-fiasa-uma-historia-recheada-de.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 4. Disponível em: <http://autoentusiastas.blogspot.com.br/2012/06/motor-fiasa-uma-historia-recheada-de.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 5. Disponível em: <http://www.coletordeadmissao.com.br/produtos.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 6. Disponível em: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-562082308-coletor-plastico-de-admissao-jac3-13-_JM. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 7. Disponível em: <http://forum.monzeiros.com/viewtopic.php?f=4&t=19636>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 8. Disponível em: <http://forum.monzeiros.com/viewtopic.php?f=4&t=19636>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 9. Disponível em: http://dc148.4shared.com/doc/Q_FOYAtN/preview.html. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 10. Disponível em: <http://www.performancev8.com.br/catalogos/receitas/balanceamento.pdf>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 11. Disponível em: <http://www.performancev8.com.br/catalogos/receitas/balanceamento.pdf>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 12. Disponível em: <http://www.gurgel800.com.br/adaptacoes/ae1600/index.php?imprimir=sim>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 13. Disponível em: <http://www.kadetteiros.com/forum/viewtopic.php?f=3&t=17373>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 14. Disponível em: <http://www.encontracarros.com/ford-lancara-motor-1-0-ecoboost-de-3-cilindros/>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 15. Disponível em: <http://www.papoecarro.com.br/noticias/mecanica-como-funciona-a-injecao-direta-de-combustivel/>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 16. Disponível em: <http://www.car.blog.br/2013/07/volkswagen-detalha-as-novidades-do.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 17. Disponível em: http://www.loimar.com.br/index.php?route=product/product&product_id=171. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 18. Disponível em: http://www.filtrosdearkn.com/replacement_air_filters.htm. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 19. Disponível em: <http://www.knfilters.com/filtercharger.htm>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 20. Disponível em: <http://www.autopecasvrs.com.br/mangueira-filtro-de-ar-sem-bocal-p-sensor-corsa-celta-todos-n-original-93-396-087.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 21. Disponível em: <http://www.motorpasion.com.br/tecnologia/8v-ou-16v-qual-o-melhor-para-voce-e-para-seu-carro>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 22. Disponível em: <http://www.caranddriver.com/features/fiats-multi-air-valve-lift-system-explained>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 23. Disponível em: <http://kennedysdynotune.com/procharger-superchargers/>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 24. Disponível em: <http://engmecatonico.blogspot.com.br/2009/10/augusto.html>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 25. Disponível em: <http://www.autospeed.com/cms/article.html?&A=111227>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 26. Disponível em: <http://carros.hsw.uol.com.br/turbocompressores.htm>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 27. Disponível em: <http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0003>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 28. Disponível em: BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**: volume 2. 2012. p. 467.

Figura 29. Disponível em: <http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0003>. Acesso em: 26 de Maio de 2014.

Figura 30. Disponível em: http://www.enedis.com.ar/GenDisProdSer/Detail/0,2378,ai_IdnAssoc_10953_ai_IdnLanguage_203,00.html. Acesso em: 26 de Maio de 2014.