

# **Seminários de Manutenção Automóvel**

# ***NEEM FEUP***

***Núcleo Académico de Engenharia  
Mecânica***

## **Módulo 1: Motores de Combustão**

Qualquer sugestão, melhoria ou correção às sugestões de resposta deste ou doutro documento disponibilizado pelo NEEM pode ser feita/o contactando o NEEM através de [neemfeup\\_pedagogico@fe.up.pt](mailto:neemfeup_pedagogico@fe.up.pt).



# Índice

## Conteúdo

1. Máquinas térmicas.....	1
2. Motores de combustão interna .....	1
2.1. Princípio de funcionamento de um motor de combustão interna .....	2
2.2. Distinção quanto ao tipo de ignição (motores a quatro tempos) .....	3
2.3. Motores a 2 tempos .....	5
2.4. Motores Rotativos Wankel.....	7
3. Componentes principais de um motor .....	9
3.1. Bloco do motor.....	9
3.2. Cabeça do motor/"Culassa" .....	9
3.3. Carter.....	9
3.4. Pistão.....	10
3.5. Cambota .....	10
3.6. Biela.....	11
3.7. Válvulas .....	11
3.8. Árvore de cames.....	12
3.9. Vela/Injetor .....	12
3.10. Volante de inércia .....	13
3.11. Correia/corrente de Distribuição .....	13
3.12. Componentes auxiliares .....	13
4. Referências.....	15

## 1. Máquinas térmicas

As máquinas térmicas são dispositivos compostos por um conjunto de equipamentos que operam segundo um ciclo termodinâmico, produzindo uma quantidade líquida de trabalho, ou seja, transformam energia térmica em energia mecânica útil.

Essa energia térmica provém da combustão duma mistura combustível-comburente, libertando-se deste modo a energia química do combustível.

Os motores térmicos podem ser de combustão interna ou externa.

Denominam-se de combustão externa quando o fluido motor não participa da combustão. O calor é transmitido ao através da parede de um permutador de calor.

Se a libertação de energia térmica que será posteriormente convertida em trabalho ocorre no interior do motor, a máquina denomina-se de combustão interna. Neste caso, geralmente, o fluido ativo é constituído por uma mistura de ar-combustível no seio da qual se desenrola uma reação de oxidação muito rápida, num local apropriado do ciclo (dentro do motor).

## 2. Motores de combustão interna

Os motores de combustão interna podem classificar-se segundo vários critérios:

- Tipo de ignição
  - Ignição comandada (por faísca);
  - Ignição não comandada (por compressão).
- Duração do ciclo operativo
  - Motor a dois tempos;
  - Motor a quatro tempos.
- Natureza do combustível utilizado
  - Gasolina;
  - Álcool;
  - Gasóleo;
  - Gás Natural;
  - Outros.
- Tipo de alimentação de ar
  - Aspirado;
  - Sobrealimentado;

- Turbocomprimido.
- Alimentação de combustível
  - Carburação;
  - Injeção indireta (na conduta de admissão);
  - Injeção direta (no interior do cilindro).
- Regulação da carga
  - Por variação da composição da mistura reagente;
  - Por regulação da quantidade de mistura introduzida no cilindro;
  - Ambas.
- Tipo de movimento do motor
  - Alternativo
  - Rotativo
  - Oscilante
- Tipo de sistema de arrefecimento
  - A ar;
  - A água;
  - Motor adiabático.

## 2.1. Princípio de funcionamento de um motor de combustão interna

O motor de combustão interna aproveita o aumento de pressão resultante da combustão da mistura ar-combustível para imprimir um movimento de rotação ao veio motor.

O motor é constituído por cilindros, dentro dos quais deslizam pistões ligados a uma manivela (veio motor/cambota) pelas bielas. O pistão submetido a elevadas pressões faz rodar a cambota (fig. 1).

O ponto mais alto a que o pistão pode chegar dentro do cilindro denomina-se ponto morto superior ou PMS. Ao ponto mais baixo chama-se ponto morto inferior ou PMI. A distância percorrida pelo pistão entre os dois pontos designa-se curso.

O ciclo operativo é a sucessão de operações que são realizadas no interior de cada cilindro e se repetem de uma forma periódica. A duração desse ciclo é medida pelo número de cursos que o êmbolo tem de efetuar para realizar o ciclo completo.

Quando o ciclo operativo completo se realiza em 4 cursos do êmbolo, diz-se que se trata de um ciclo a 4 tempos.

Quando o ciclo se realiza em 2 cursos do êmbolo, diz-se que se trata de um ciclo a 2 tempos.

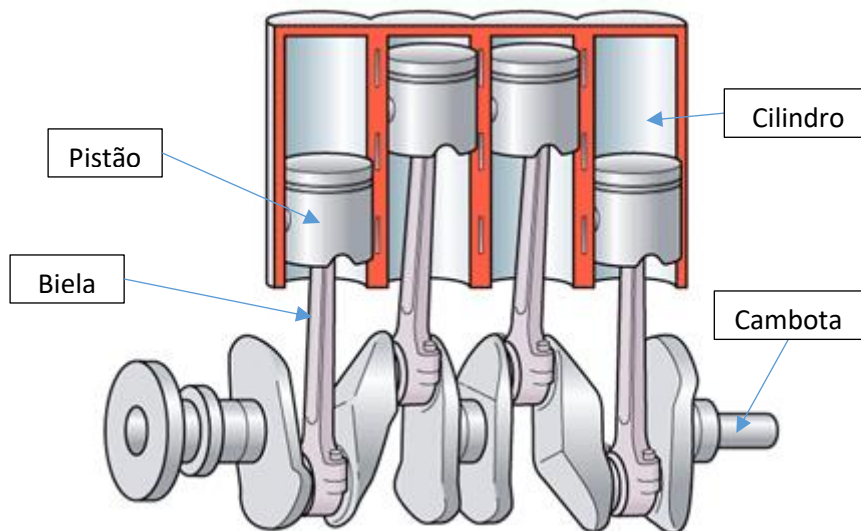


Fig. 1 Sistema biela-manivela do motor de combustão (<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfCvsAF/trabalho-motores-l1>)

## 2.2. Distinção quanto ao tipo de ignição (motores a quatro tempos)

### 2.2.1. Motor de ignição comandada

O motor a gasolina, denominado motor de ignição comandada ou de ignição por faísca, é um motor no qual a combustão se inicia por uma descarga elétrica de elevada tensão (faísca) dentro da câmara de combustão, onde existe uma mistura de ar-combustível.

O ciclo padrão para os motores de ignição comandada é o ciclo Otto. Ou ciclo de combustão a volume constante.

#### Descrição dos 4 tempos do motor de ignição comandada

- **Admissão** (*intake* na fig. 2)

O pistão, no seu movimento descendente, provoca uma depressão no interior do cilindro, o que introduz a mistura vinda do sistema de alimentação para dentro do cilindro.

Dá-se o enchimento do cilindro, enquanto o pistão se movimenta do PMS até ao PMI.

- **Compressão** (*compression* na fig. 2)

Com ambas as válvulas fechadas, o pistão sobe do PMI ao PMS, comprimindo os gases que foram admitidos durante a admissão. Esta compressão vai elevar a temperatura e a turbulência da mistura, vaporizando alguma gasolina ainda no estado líquido e homogeneizando a mistura. A temperatura no final da compressão deverá ficar abaixo da temperatura de autoignição da mistura.

- **Expansão ou tempo motor** (*power* na fig.2)

No final da compressão, é lançada uma faísca entre os eletrodos da vela, na câmara de combustão. A mistura queima rapidamente (explosão). A pressão obtida é muito elevada, o que faz com que o pistão seja empurrado violentamente até PMI. É esta descida do pistão que impulsiona o motor, sendo a única altura em que o motor fornece trabalho. Chama-se, por isso, tempo motor.

- **Escape** (exhaust na fig. 2)

No final do tempo motor, abre-se a válvula de escape e os gases de escape escoam-se por ela a grande velocidade. O pistão, no seu movimento ascendente, vai limpar o interior do cilindro dos gases queimados, sendo a válvula de escape fechada com a chegada do pistão ao topo do cilindro.

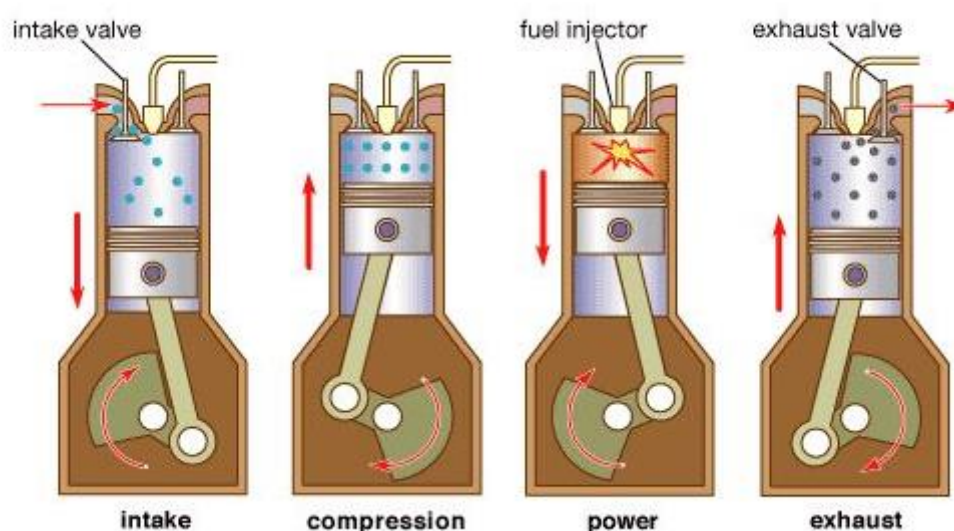


Fig. 2 Ciclo do motor de ignição comandada ([http://images.slideplayer.com.br/7/1848278/slides/slide\\_37.jpg](http://images.slideplayer.com.br/7/1848278/slides/slide_37.jpg))

### 2.2.2. Motor de ignição por compressão

No motor de ignição comandada o combustível é geralmente misturado com ar no exterior do cilindro e toda essa massa se inflama na câmara de combustão, por meio de uma faísca. O motor de ignição por compressão, por seu lado, não tem sistema de preparação da mistura exterior nem sistema de ignição. Aspira ar puro que, submetido à elevada pressão atingida no final da compressão, atinge uma temperatura e pressão suficiente para garantir a inflamação do combustível – gasóleo – à medida que é injetado no seio do ar quente.

Como o ar se encontra a elevada pressão no momento da injeção do combustível, é necessário que este seja portanto introduzido a uma pressão ainda superior, tornando indispensável o uso de um sistema de injeção a alta pressão.

### Descrição dos 4 tempos do motor de ignição por compressão (Diesel)

- **Admissão** (número 1 na fig. 3)

O pistão vai do PMS ao PMI. A válvula de admissão encontra-se aberta durante este período, admitindo ar puro dentro do cilindro, enchendo-o.

- **Compressão** (número 2 na fig. 3)

Com ambas as válvulas fechadas, o pistão sobe até ao PMS, comprimindo o ar puro encerrado no cilindro, elevando-lhe significativamente a temperatura.

- **Combustão-Expansão** (número 3 na fig. 3)

Começando no PMS ou antes, o combustível é injetado no seio do ar quente, inflamando-se espontaneamente no contacto com este. A injeção (e a combustão) continua durante parte da descida do pistão, sendo este o tempo motor.

- **Escape** (número 4 na fig. 3)

Quando o pistão chega ao PMI a válvula de escape abre-se, permitindo que os gases queimados sejam descarregados para a atmosfera, através do sistema de escape, durante a subida do pistão.

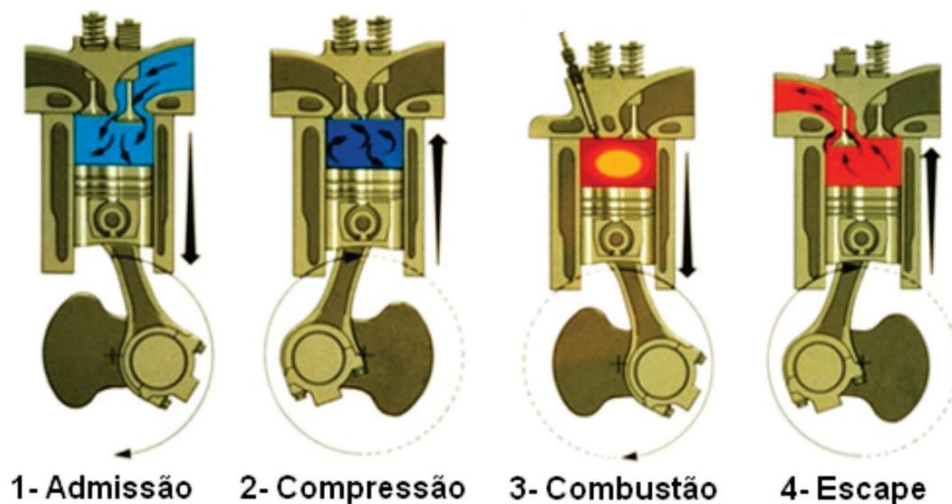


Fig. 3 Ciclo do motor de ignição por compressão (<http://2.bp.blogspot.com/-OT94GMRncR8/ULAvBiAjBTI/AAAAAAAAA10/Yoy9jEBF9Hc/s1600/1+motor+Diesel+4t.jpg>)

### 2.3. Motores a 2 tempos

Um motor a funcionar segundo um ciclo a 4 tempos possui apenas um tempo motor em cada quatro, o que traz alguns inconvenientes, como sejam uma certa irregularidade de funcionamento (que se atenua agrupando vários cilindros à mesma cambota) e a necessidade do uso de um volante de inércia. Outro inconveniente é apresentar baixa potência específica (potência por unidade de massa ou de volume).



Para encurtar a parte do ciclo não motora eliminam-se os cursos de admissão e escape, realizando estas operações simultaneamente quando o pistão se encontra perto do PMI. Temos assim um ciclo com quatro fases (admissão, compressão, expansão e escape) realizadas somente em 2 tempos (cursos do pistão).

Outra vantagem dos motores a dois tempos é a possibilidade da supressão do sistema de distribuição por válvulas utilizadas no motor a 4 tempos. Em sua substituição, a mistura fresca e os gases queimados entram e saem no cilindro através de aberturas feitas nas paredes do cilindro, chamadas janelas, que são fechadas e abertas pelo pistão no seu movimento de vaivém.

Na prática estes motores apresentam consumos mais elevados e dá-se a emissão de gases poluentes (hidrocarbonetos não queimados) pelo escape, dado que os gases queimados e frescos se misturam, parte da carga fresca sai diretamente do cilindro pelo escape, e alguns gases queimados permanecem no cilindro.

#### Descrição dos tempos do motor a dois tempos

- **Primeiro tempo**

Depois de a mistura ter sido comprimida, a vela fornece uma faísca que provoca a sua combustão com o conseqüente aumento de temperatura e pressão. O pistão é impulsionado do PMS para baixo, fornecendo a energia da massa gasosa à cambota. Antes do fim do curso, o pistão descobre a janela de escape, por onde os gases queimados se escoam, por estarem a uma pressão superior à atmosfera. Na descida do pistão dá-se a compressão da mistura que se encontra sob o pistão (cárter). Em seguida, o pistão descobre a janela de transferência, permitindo que os gases frescos pré-comprimidos no cárter entrem no cilindro, deslocando os restantes gases queimados para o exterior. Esta fase denomina-se lavagem. Finalmente, o pistão chega a PMI.

- **Segundo tempo**

O pistão, vindo do PMI, sobe e fecha a janela de transferência e, depois, a de escape. Na continuação do seu curso, o pistão vai comprimir a mistura ar-gasolina que permaneceu no cilindro.

Simultaneamente, o pistão vai descobrir a janela de admissão (ao cárter), e a pré-mistura vai ser admitida ao cárter. O segundo tempo termina com a chegada do pistão ao PMS.

A pré-compressão consegue-se utilizando o cárter do motor como compressor volumétrico. Quando o pistão sobe, o cárter aumenta de volume, induzindo os gases a nele entrarem. Com a descida do pistão, esses gases são comprimidos e seguidamente transferidos para o cilindro.

O funcionamento do motor a dois tempos pode ser visualizado na fig. 4.

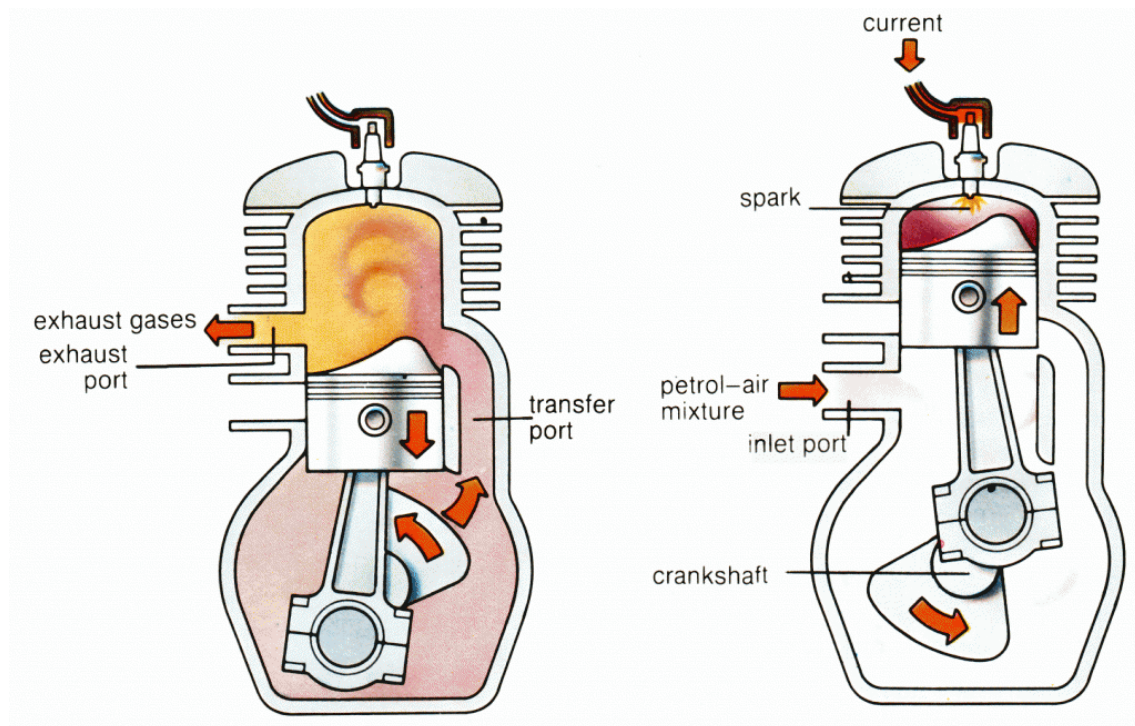


Fig. 4 Ciclo do motor a dois tempos (<http://2.bp.blogspot.com/-MoksVLivQ20/Ulctq6ONJ5I/AAAAAAAAAKII/f0D71driLG0/s1600/2-stroke-engine-1024x655.gif>)

#### 2.4. Motores Rotativos Wankel

O motor Wankel é um motor rotativo que não utiliza o sistema biela-manivela. Atualmente nenhum construtor o usa, mas a Mazda usou-o até recentemente em carros desportivos (RX-8), e prepara para 2020 a saída do RX-9 apostando novamente nesta tecnologia.

O motor Wankel é constituído por um rotor e um estator (carcaça) em forma de “epitrocoide”. O rotor tem 3 lóbulos, cada um com uma câmara de combustão que limitam 3 espaços entre este e o estator. Existem 2 janelas na face (ou na periferia), uma de admissão e outra de escape na zona de lavagem. Do outro lado é a zona de combustão, onde se encontram velas.

O rotor tem uma cavidade circular internamente dentada que roda sobre uma roda dentada, fixa à carcaça, enquanto o veio de saída apresenta uma excentricidade de modo a que o movimento do rotor lhe seja transmitido. A geometria é tal que o rotor está sempre engrenado na roda dentada e os seus 3 vértices estão sempre sobre a carcaça.

O ciclo de funcionamento deste motor pode ser visto na fig. 5.

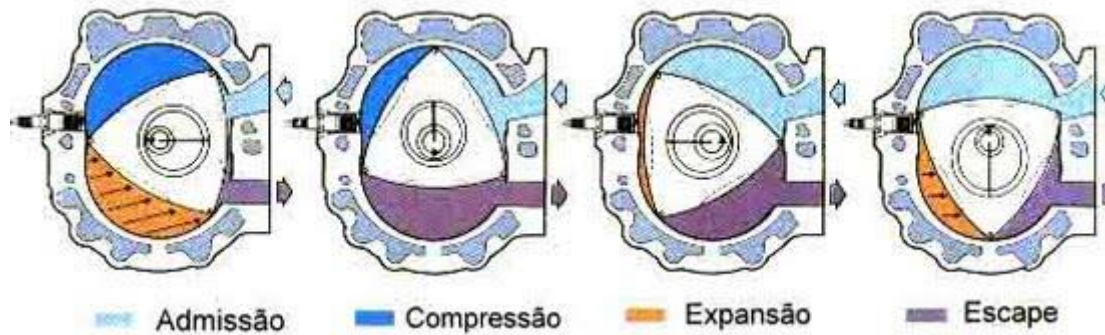


Fig. 5 Funcionamento do motor rotativo

([http://3.bp.blogspot.com/\\_jFiztOI1aVk/TEOG\\_DX5Lzl/AAAAAAAAABgE/CzY8qUPG19M/s1600/motor-rotativo-3.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_jFiztOI1aVk/TEOG_DX5Lzl/AAAAAAAAABgE/CzY8qUPG19M/s1600/motor-rotativo-3.jpg))

Todos os lóbulos realizam as 4 fases do ciclo, desfasadas, pelo que por rotação do motor se obtém 3 fases motoras.

O motor Wankel é muito suave e isento de vibrações. Possui elevada potência (duplicando a dos motores convencionais com a mesma cilindrada), elevada velocidade máxima de funcionamento e baixo volume e peso.

Tem, no entanto, vários inconvenientes, como:

- As elevadas perdas por atrito devido ao elevado número de segmentos;
- A difícil vedação da câmara de combustão;
- A câmara de combustão não é compacta o que leva a problemas de combustão e a elevadas perdas de calor, o que reduz o rendimento;
- A reparação destes motores é difícil;
- Embora a potência seja elevada, o binário é relativamente modesto.

### 3. Componentes principais de um motor

#### 3.1. Bloco do motor

É o elemento base do motor de combustão interna, sendo responsável por assegurar o suporte e alinhamento de todos os restantes componentes. No Bloco é onde se dá a combustão que permite gerar potência e movimento útil, sendo designados por cilindros os espaços onde se dá a mesma.



Fig. 6 Bloco do Motor LS7, Motor que equipa o Chevrolet Corvette (2006). [lsenginediy.com](http://lsenginediy.com)

Um bom bloco deve ser rígido o suficiente para aguentar os esforços gerados durante o funcionamento do motor, mas também deve conseguir dissipar o calor gerado durante a combustão para garantir o funcionamento do motor. Caso o bloco não consiga dissipar o calor gerado é muito provável que outros componentes sofram danos.

Para cumprir estes requisitos os blocos de motor são fabricados tanto em ferro fundido (ganhando em rigidez e capacidade de amortecimento de vibrações), como em alumínio (diminuindo a massa do motor e ganhando em condutibilidade térmica).

#### 3.2. Cabeça do motor/"Culassa"

O componente diretamente acima do bloco do motor, este é responsável por garantir o guiamento e o suporte das válvulas e das velas/injetores. É através desta que as condutas de admissão e escape fazem a circulação de gases no motor.



Fig. 7 Uma das cabeças de motor do motor LS7. [lingenfelter.com](http://lingenfelter.com)

#### 3.3. Carter

Geralmente encontrado em baixo do bloco, a função do cárter é a de servir como depósito do óleo de lubrificação do motor, sendo neste encontrado o bujão de saída do óleo (para as trocas de óleo).



Fig. 8 Carter do motor LS7. [corvettebrasil.blogspot.pt](http://corvettebrasil.blogspot.pt)

### 3.4. Pistão

É este órgão que recebe diretamente o impulso resultante da combustão no cilindro. Tem a função de transformar essa expansão de gás num movimento alternativo, sendo que para isso tem de contactar com o cilindro usando segmentos, que não são mais do que anéis metálicos que garantem a estanquicidade do cilindro durante o movimento do pistão.

Os pistões eram tradicionalmente feitos de ferro fundido, mas para melhorar a eficiência do motor estes foram gradualmente substituídos por pistões de alumínio, mais leves.



Fig. 9 Esq: Conjunto pistão+segmentos (dir.indiamart.com). Centro: Montagem de segmentos no Pistão (enginebasics.com). Dir: Montagem de pistão no Bloco (wikimedia.org).

### 3.5. Cambota

A cambota tem a função de transformar o movimento alternativo do pistão num movimento de rotação, este mais fácil de transformar em movimento útil. A forma da cambota permite o posicionamento e programação do movimento dos pistões.



Fig. 10 Cambota. joficina.com

É ainda responsável por fornecer potência aos componentes do motor e à caixa de velocidades do veículo (que será depois transmitido às rodas).





Fig. 11 Conjunto cambota-bielas-pistões. [motociclismo.pt](http://motociclismo.pt)

### 3.6. Biela

A biela é o órgão de ligação entre o pistão e a cambota. Tem a função de aguentar as forças geradas durante o funcionamento, sendo dimensionadas para esse propósito.



Fig. 12 Biela. [retificavilamaria.com.br](http://retificavilamaria.com.br)

### 3.7. Válvulas

As válvulas têm a função de comandar a entrada de ar e saída dos gases de combustão no cilindro. Apesar de já terem existido várias configurações, a que é mais utilizada é a válvula em tulipa pelo facto de garantir uma boa estanquicidade dos cilindros.



Fig. 13 Válvulas de tulipa. [racinacast.com](http://racinacast.com)

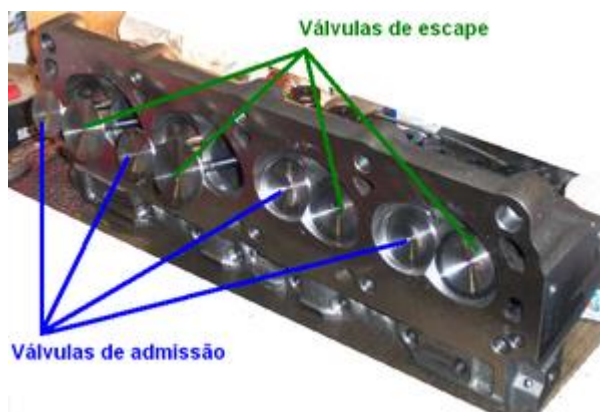


Fig. 14 Posição das válvulas na cabeça do motor. [wikimedia.org](http://wikimedia.org)

### 3.8. Árvore de cames

Para a abertura e fecho das válvulas, a solução encontrada na maior parte dos motores é a de atuar a abertura da vela usando uma came, que a cada rotação permite uma atuação da válvula, e garantir o fecho com uma mola. As árvores de cames são veios que contêm as cames necessárias para a atuação de todas as válvulas do motor, sendo encontradas geralmente junto das mesmas nos motores atuais.



Fig. 15 Árvore de cames.  
onallcylinders.com



Fig. 16 Conjunto válvulas+pistões+cambota. 123rf.com

### 3.9. Vela/Injetor

Nos motores Otto é necessária uma faísca para que se dê a ignição da mistura ar-combustível, a solução encontrada para a geração dessa faísca foi a vela, que passa uma corrente elétrica entre dois eletrodos de níquel para esse mesmo fim. Esta encontra-se normalmente à cabeça do motor e é feita de uma parte cerâmica para isolar eletricamente e termicamente o circuito elétrico usado para produzir a faísca (alumina, normalmente é o cerâmico utilizado). Quando uma vela falha o motor produz um barulho muito característico devido a estar a produzir menos potência e não ter o seu funcionamento equilibrado.

O injetor tem a função de vaporizar combustível, seja no cilindro (injeção direta) ou na conduta de admissão (injeção indireta). No caso dos



Fig. 17 Vela.  
boschautoparts.com



Fig. 18 Injetor.  
neweraperformanceparts.com

motores diesel, o injetor encontra-se onde normalmente se encontraria uma vela, para os motores de ciclo Otto.

### 3.10. Volante de inércia

O volante de inércia é um disco metálico que tem a função de armazenar alguma energia mecânica produzida pelo motor, para equilibrar o seu funcionamento e aguentar algumas quebras de funcionamento.

### 3.11. Correia/corrente de Distribuição

A correia/corrente de distribuição é a ligação entre a cambota e a árvore de cames, permitindo assim que estes componentes trabalhem em sincronia. A substituição periódica deste componente é muitas vezes negligenciada, porém caso a mesma rebente é muito provável que o motor seja danificado (geralmente devido aos pistões baterem contra as válvulas, causando a destruição de ambos).



Fig. 19 Identificação no motor da correia de distribuição (myauto.pt). Configuração esquemática da correia de distribuição (whitstablescene.co.uk)

### 3.12. Componentes auxiliares

Existem ainda alguns componentes que, pela sua função e presença em grande parte dos motores merecem uma menção.

#### a. Bomba de óleo

Tem a função de bombear o óleo de lubrificação do motor.

#### b. Bomba de água

Tem a função de bombear a água do sistema de arrefecimento do motor.



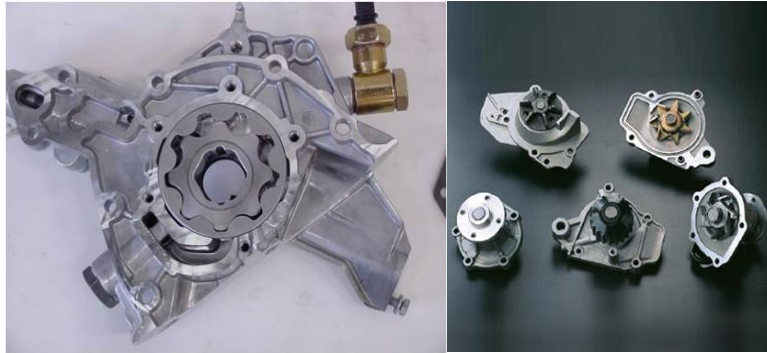


Fig. 20 Esq. Bomba de óleo (infomotor.com.br). Dir. Bomba de água (actualidadmotor.com)

### c. Alternador

Aproveita o movimento de rotação do motor para gerar energia elétrica, esta será armazenada na bateria para depois ser utilizada.

#### Alternador

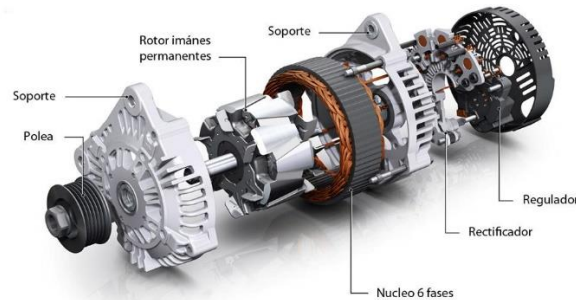


Fig. 21 Alternador, esquemático. tgcentroautomotivo.com.br

### d. Turbo/Compressor

O turbo e o compressor aumentam a pressão do ar de admissão no motor de forma a admitir uma massa maior de ar em cada ciclo, dando-se a esse efeito o nome de sobrealimentação. A diferença reside no facto de o turbo usar a energia dos gases de escape para esse efeito, e o compressor usar o movimento de rotação do motor, por esse facto podem-se esperar rendimentos superiores na utilização de um turbo.



Fig. 22 Esq. Turbo (bp.blogspot.com). Dir. Compressor (roushperformance.com)

## 4. Referências

Afonso, Clito. *Termodinâmica para Engenharia*. Porto: FEUP edições, 2012.

CEPRA. *Características e Funcionamento dos Motores*. Lisboa, 2000.

Martins, Jorge. *Motores de Combustão Interna*. Guimarães: ENGEBOOK, 2016.

Pinho, Carlos. *Sebenta de Sistemas Térmicos*. Porto, 2015.