



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
ENGENHARIA FLORESTAL  
Motores, Máquinas e Implementos Florestais (40219930)

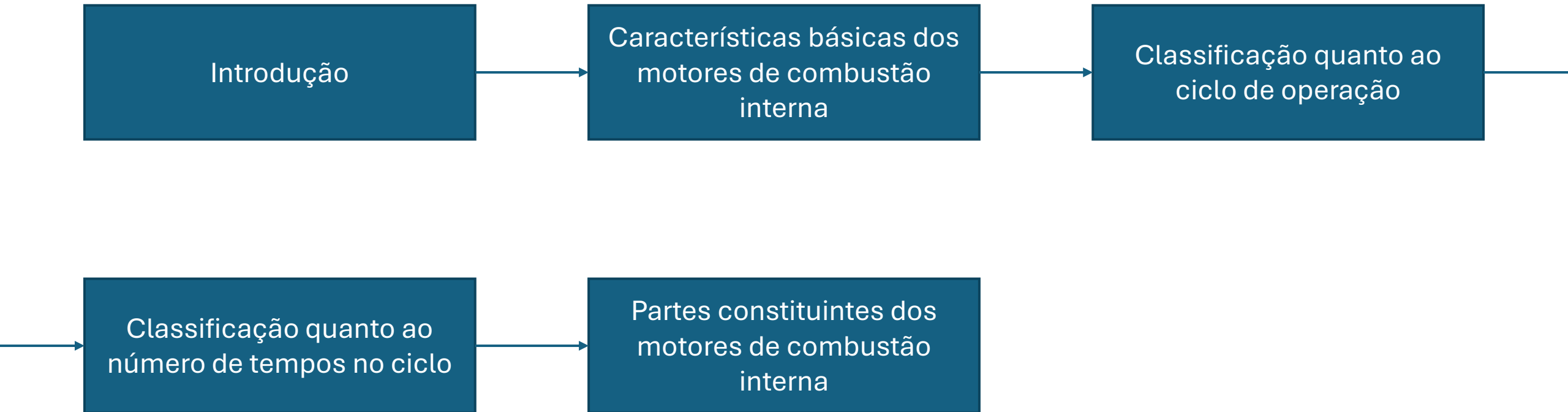
# Motores de Combustão Interna

Prof. Gabriel Agostini Orso  
gabrielorso16@gmail.com

# Recapitulando

- Tração animal
- Motores de combustão externa
- Motores de combustão interna
- Motores elétricos

# 1. Tópicos da Aula



## 2. Introdução

**Motores de combustão interna:** Máquinas térmicas que transformam o calor em trabalho mecânico;

### Histórico:

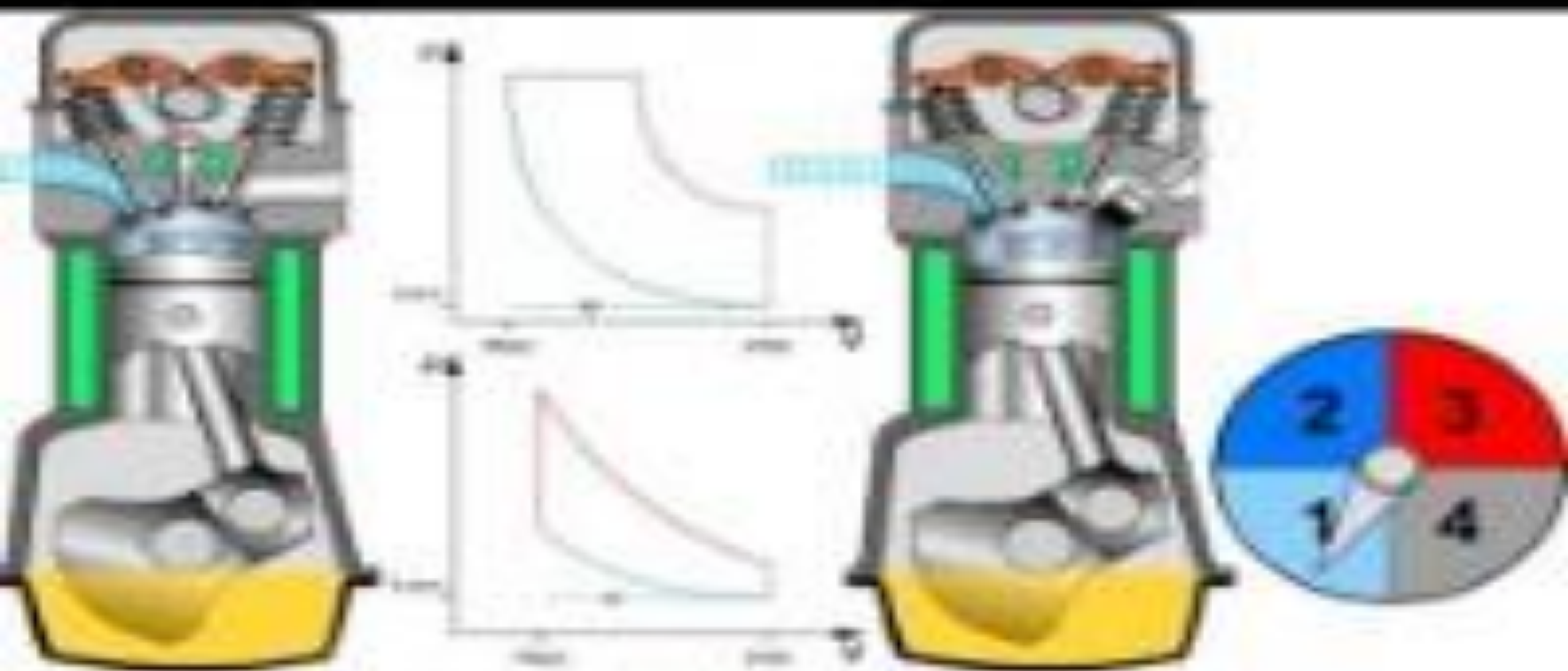
- ❖ Século XVIII – primeiros motores de combustão externa. Apenas máquinas estacionárias.
- ❖ Século XIX – primeiros motores de combustão interna. Mais versáteis e eficientes.
- ❖ 1860, primeiro motor de combustão interna construído pelo mecânico belga Lenoir.
- ❖ 1861, Otto e Langen aprimoraram o trabalho de Lenoir.
- ❖ 1862, o engenheiro francês Beau de Rochas publica um estudo teórico sobre princípios termodinâmicos baseado no trabalho de Otto e Langen.
- ❖ 1872, Otto aprimora seu motor baseado no trabalho de Beau de Rochas, e cria o motor de ciclo Otto.
- ❖ 1889, primeira aplicação do motor Otto em veículos.
- ❖ 1893, o engenheiro alemão Rudolf Diesel descreve um novo motor, o motor de ciclo Diesel.

## 2. Introdução

- ❖ Em 1898, apresenta-se o primeiro salão do automóvel, em Paris;
- ❖ Em 1904, tem-se o primeiro navio a diesel;
- ❖ Em 1909, surge o motor a diesel com injeção indireta, pronto para entrarem produção;
- ❖ Em 1912, tem-se a primeira locomotiva a Diesel;
- ❖ Em 1936, apresenta-se o primeiro veículo de passeio a diesel, o Mercedes 260D;
- ❖ Em 1954, surge o motor rotativo (Wankel);
- ❖ Em 1989, tem-se o primeiro veículo de passeio a diesel com injeção direta (Audi);
- ❖ Em 1997, apresenta-se o primeiro veículo a passeio com injeção direta a gasolina (Mitsubishi GDI).

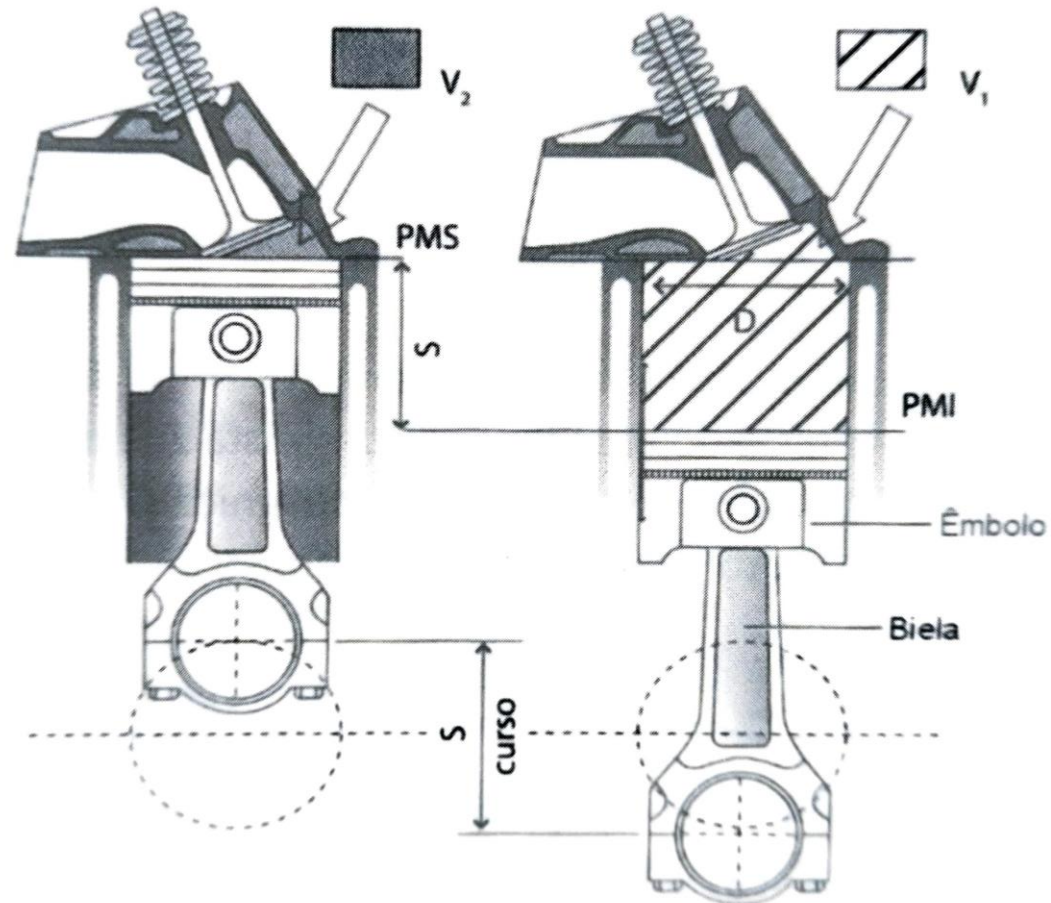
### 3. Características básicas dos motores de combustão interna

- ❖ Os componentes básico de motores de combustão interna são: **cilindro (fechado)**, **êmbolo (pistão)**, este acoplado em um **conjunto biela manivela**;
- ❖ O trabalho gerado, a partir dos componentes citados, é obtido pelo movimento vaivém de um **pistão**, resultando em rotação contínua pelo sistema **biela-manivela**;
- ❖ Sendo assim, a partir de algumas características operacionais básicas, é possível se avaliar, de forma aproximada, quais são as aptidões do motor;



# 3. Características básicas dos motores de combustão interna

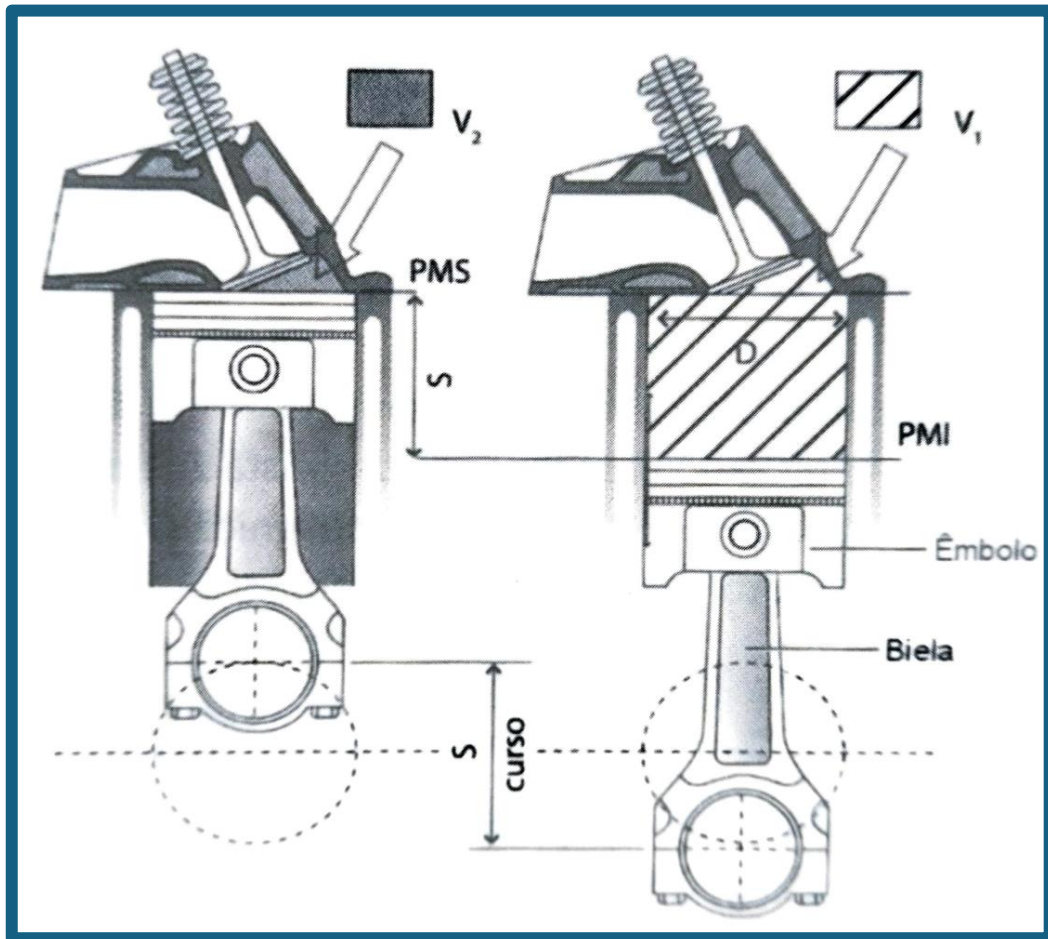
Posições fundamentais do êmbolo em motores de combustão interna





### 3. Características básicas dos motores de combustão interna

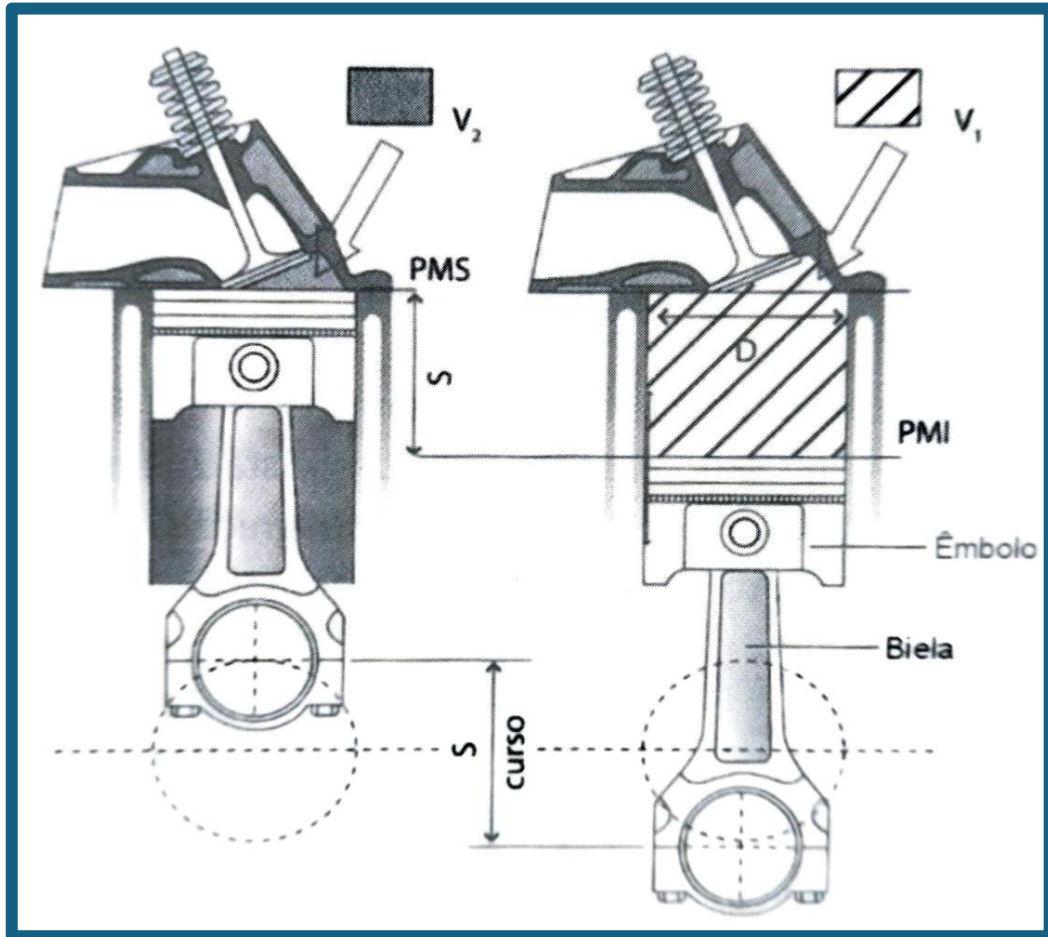
De acordo com a figura pode se verificar as seguintes situações:



- ❖ A cada meio giro da árvore de manivelas o êmbolo/pistão percorre um certo espaço entre duas posições extremas dentro do cilindro, sendo elas o **ponto morto inferior (PMI)** e o **ponto morto superior (PMS)**;
- ❖ O percurso linear entre essas duas posições, é chamado de **curso do êmbolo (S)**, e o **volume deslocado** nesse percurso cilindrada;
- ❖ O **volume compreendido** entre a **cabeça do êmbolo** e o **cabeçote** (tampa do cilindro), quando o êmbolo está no PMI, é chamado de **volume total ( $V_1$ )**;
- ❖ O **volume compreendido** entre o **êmbolo** e o **cabeçote** quando o êmbolo está no PMS, é chamado de **câmara de compressão** ou **câmara de combustão ( $V_2$ )**;
- ❖ Outra característica dimensional é o **diâmetro do cilindro (D)**, que permite obter a área da superfície deslocada pela pressão de expansão dos gases durante o tempo do motor;

### 3. Características básicas dos motores de combustão interna

De acordo com a figura pode se verificar as seguintes situações:



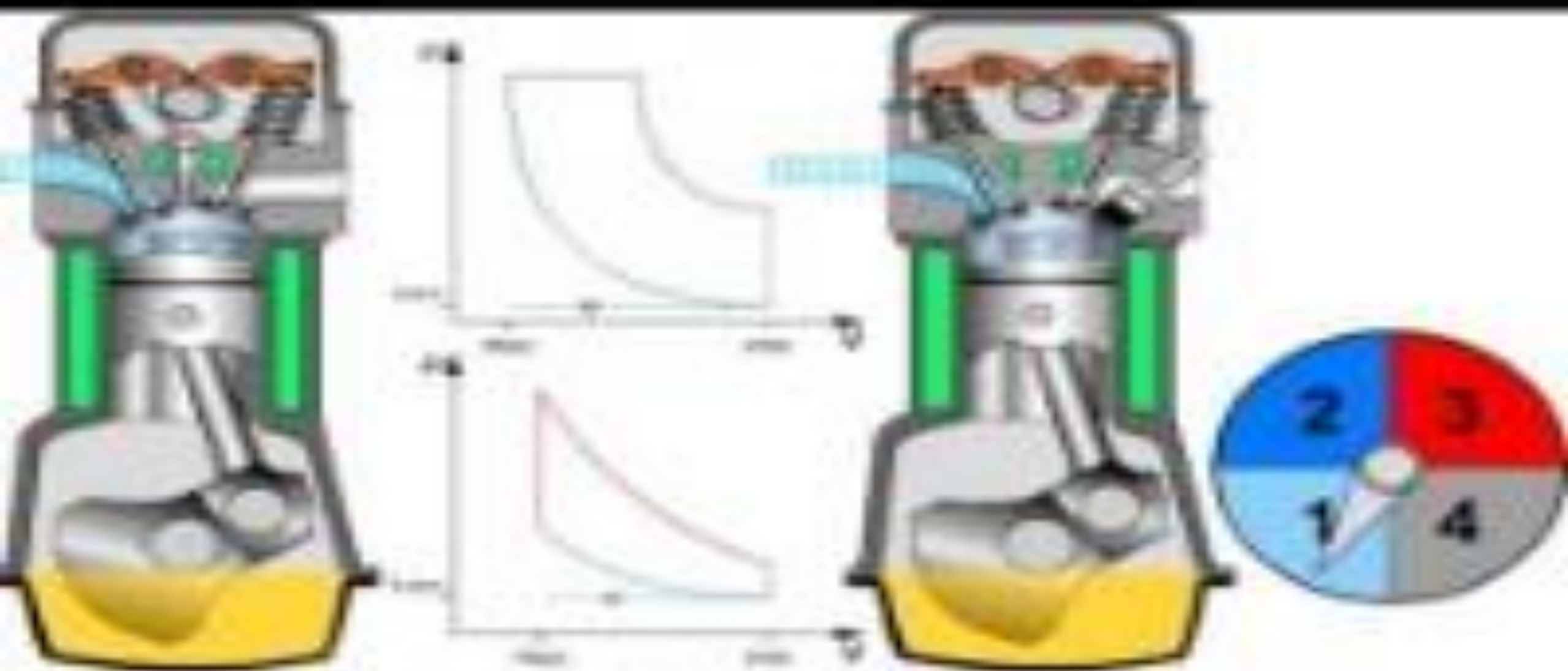
- ❖ A cilindrada pode ser unitária ( $V_{du}$ ), também conhecida como volume deslocado útil ou deslocamento volumétrico, quando refere-se ao volume deslocado pelo êmbolo em um cilindro;
- ❖ Considerando o número de cilindros do motor, tem-se a cilindrada total ( $V_d$ ), que é o deslocamento volumétrico do motor.

### 3. Características básicas dos motores de combustão interna

- A relação entre  $V_1$ , e  $V_2$ , é chamada de relação volumétrica ou taxa de compressão (R), e representa em quantas vezes  $V_1$ , é reduzido;
- A cada meio giro da árvore de manivelas também ocorrem determinadas condições de pressão e volume na câmara do cilindro, denominado tempo do motor, que corresponde ao curso do êmbolo;
- Não se deve confundir tempo com processo, pois, ao longo de um tempo, poderão acontecer diversos processos;
- Dessa forma, os motores podem ser classificados em motores de quatro tempos (4T) e dois tempos (2T), de acordo com o número de tempos para completar um ciclo de operação, que é a sequência de processos sofridos pelo combustível para obtenção de trabalho útil.

## 4. Classificação quanto ao ciclo de operação

- Os motores de combustão podem ser classificados quanto ao ciclo de operação como: **Ciclo Otto e Ciclo Diesel**;
- **Ciclo Otto:** Nos motores de ciclo Otto a mistura combustível + ar é admitida para o interior do cilindro e o início do processo de combustão se dá por uma faísca elétrica, que ocorre entre os eletrodos da vela de ignição;
- **Ciclo Diesel:** Nesses motores, o pistão comprime somente o ar, até que o mesmo atinja uma temperatura superior à temperatura de ignição do combustível. Esse processo ocorre quando o pistão se aproxima do PMS, desta forma o combustível é injetado no interior do cilindro, e o início do processo de combustão se dá por ignição espontânea.





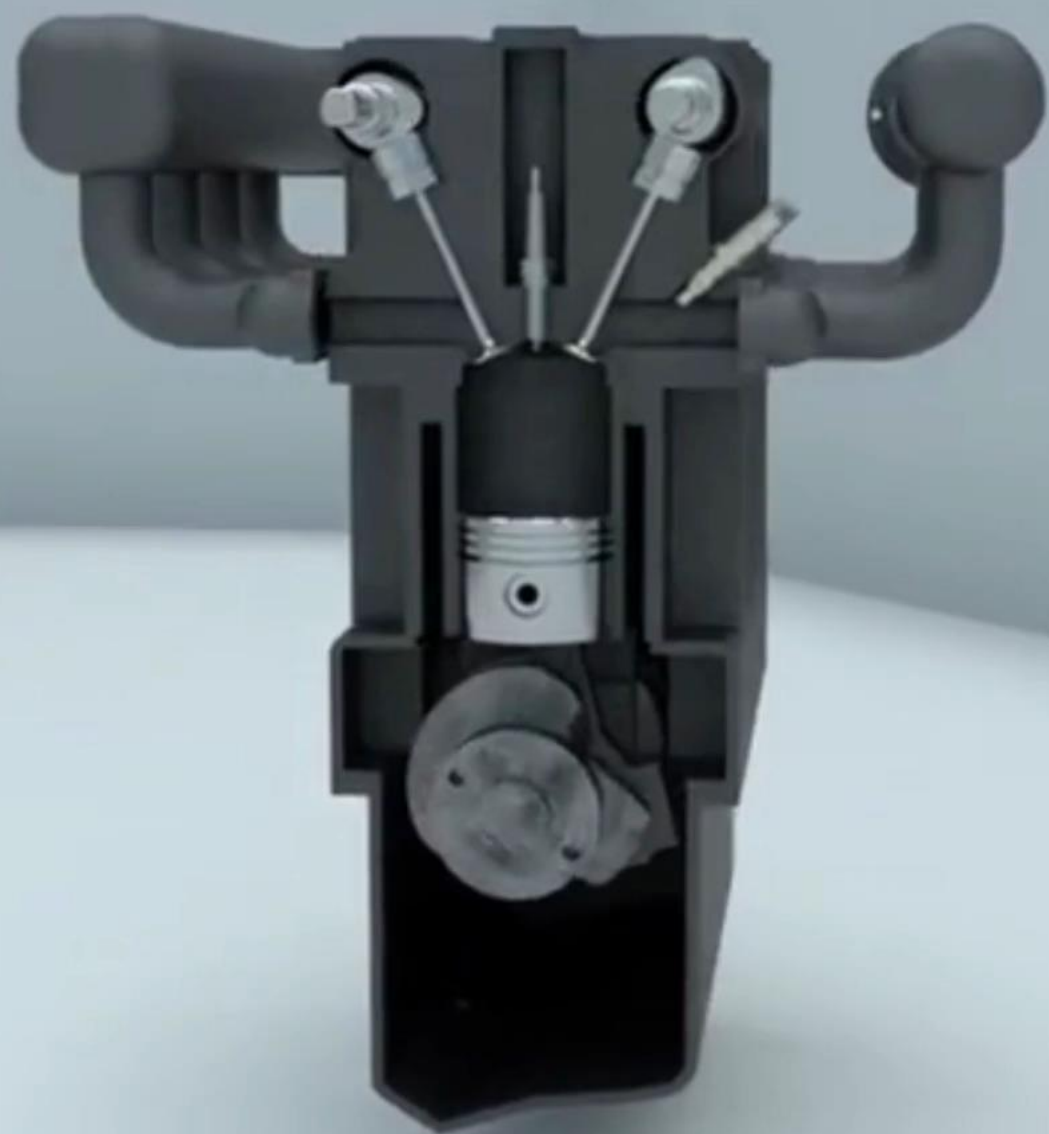
# 5. Classificação quanto ao número de tempos do ciclo

Motores quatro tempos (4T):

Neste caso, o êmbolo percorre **quatro cursos**, correspondendo a **duas voltas da manivela do motor**, para que seja completado **um ciclo de operação**;

Os tempos:

- **1º tempo (Admissão):** O pistão desloca-se do PMS ao PMI. Neste movimento o pistão dá origem uma sucção que causa um fluxo de gases através da válvula de admissão, que se encontra aberta. O cilindro é preenchido com uma mistura **combustível + ar**, nos motores de **ciclo Otto**, ou por **apenas ar**, nos motores de **ciclo Diesel**;
- **2º tempo (Compressão):** Fecha-se a válvula de admissão e o pistão se desloca do **PMI ao PMS**, comprimindo a mistura ou **apenas ar**, dependendo do tipo de ciclo;
- **3º tempo (Expansão):** No motor de ciclo Otto, nas proximidades do PMS, ocorre a **faísca que provoca a ignição da mistura**. Já no motor do ciclo Diesel é **injetado o combustível no ar quente**, dando início à combustão espontânea. **A partir da combustão, a pressão no interior do cilindro aumenta expandindo os gases, o que permite empurrar o êmbolo para o PMI**;
- **4º tempo (Escape):** Com a **válvula de escape aberta**, o pistão desloca-se do **PMI ao PMS**, "empurrando" os gases queimados para fora do cilindro. A partir de então o ciclo reinicia.



# 5. Classificação quanto ao número de tempos do ciclo

## Motores dois tempos (2T):

Nesses motores o ciclo completa-se com apenas **dois cursos do êmbolo**, com **uma única volta do eixo de manivelas**

Os mesmos processos que ocorrem nos motores 4T ocorrem nos motores 2T, mas com **sobreposição de processos** em um mesmo curso

## Os tempos:

- **1º tempo (compressão e admissão):** Durante o movimento ascendente do êmbolo, do PMI ao PMS, o canal de admissão e as janelas de admissão escape permanecem fechados, devido posição dos mesmos em relação ao êmbolo. Nessa situação, origina-se um vácuo parcial na parte inferior do motor e, ao mesmo tempo, a compressão da mistura ou do ar, na câmara de compressão. Próximo ao PMS, a posição do êmbolo permite que a janela de admissão seja aberta e o vácuo formado succiona a mistura ou somente o ar para a parte inferior do motor;
- **2º tempo (Expansão e escape):** Quando o êmbolo aproxima-se do PMS, ocorre uma centelha elétrica na vela, no caso do ciclo Otto, ou a pulverização do combustível, para o ciclo Diesel, dando início a ignição e consequente combustão dos gases comprimidos. A pressão dos gases resultantes da combustão "empurra" o êmbolo em direção ao PMI. Durante o curso descendente do êmbolo, o canal e a janela de admissão permanecem fechados. Próximo ao PMI, o canal de admissão e a janela de escape são abertos, permitindo que os gases da combustão sejam expelidos, ao mesmo tempo em que a nova mistura, ou somente ar, entram na câmara do cilindro. A partir de então o ciclo reinicia.



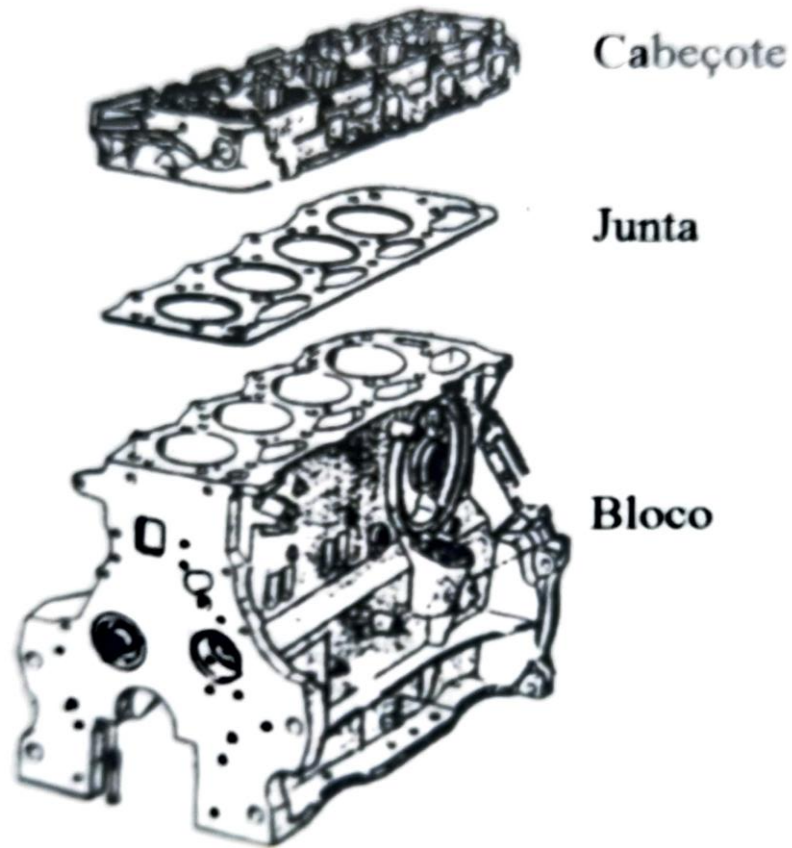


## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna

O **motores são constituídos** principalmente pelos seguintes componentes:

- ❖ Bloco motor;
- ❖ camisa do motor;
- ❖ Cabeçote;
- ❖ Cárter;
- ❖ Êmbolo;
- ❖ anéis de segmento;
- ❖ pino do êmbolo;
- ❖ biela, casquilhos;
- ❖ Árvore de manivelas;
- ❖ Volante do motor.

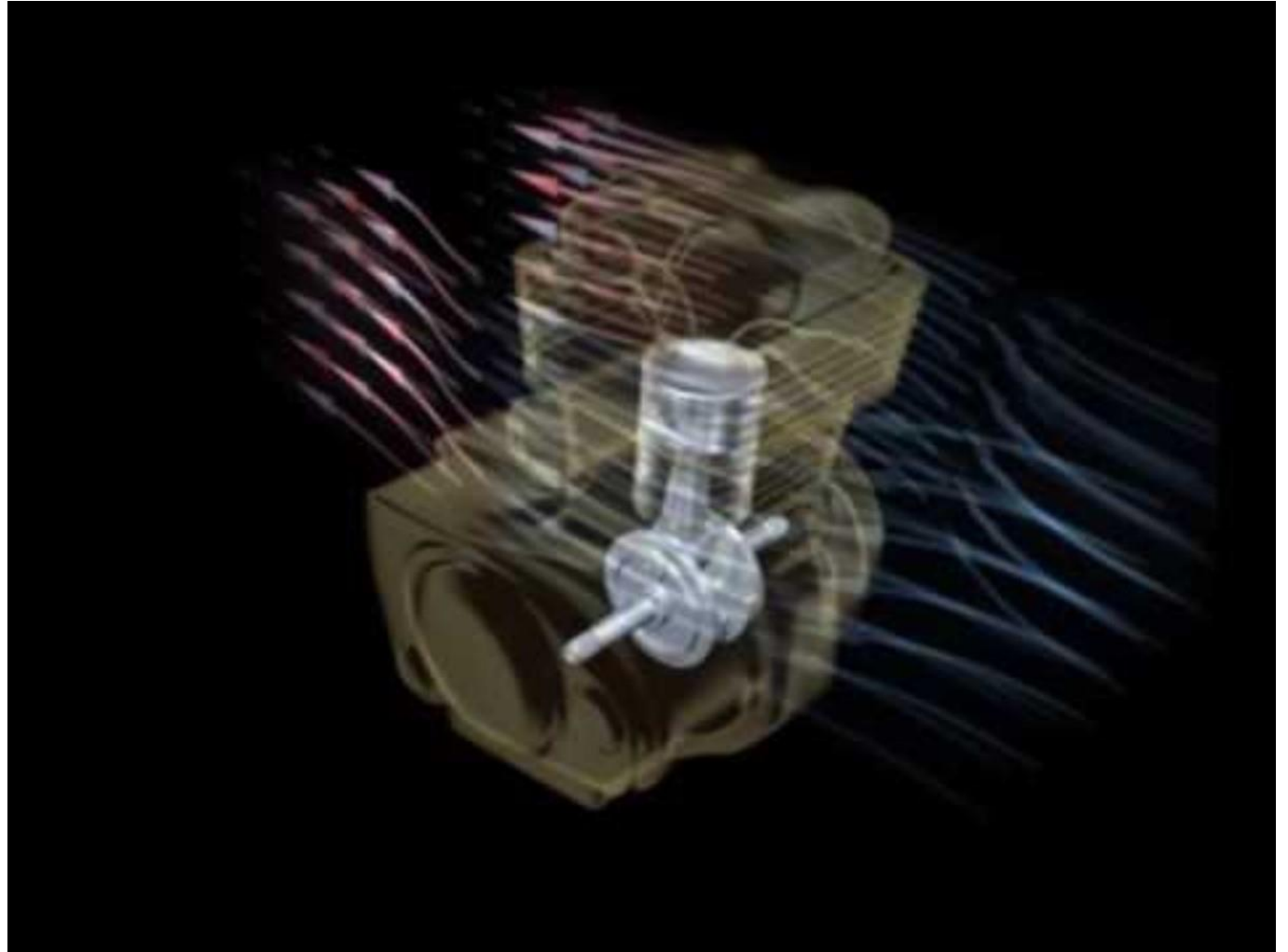
## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



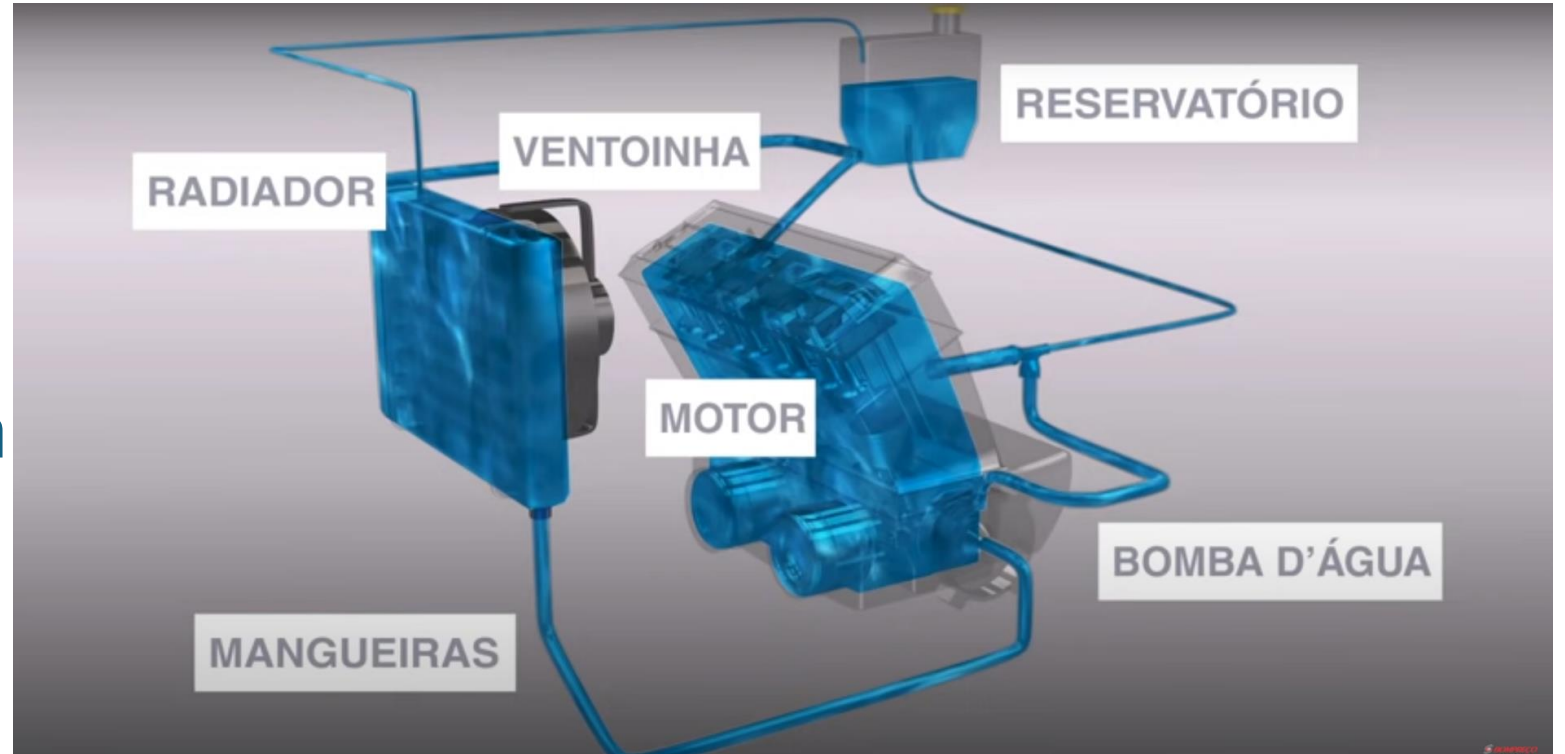
### Bloco do motor:

- ❖ Constituí a maior parte do motor e dá suporte aos demais componentes;
- ❖ Normalmente são construídos de ferro fundido;
- ❖ Os blocos se diferem de acordo com o tipo de sistema arrefecimento, sendo classificados como:
  - Bloco de cilindros externos (caso de motores com arrefecimento a ar);
  - Bloco de cilindros internos (motores arrefecidos a água).

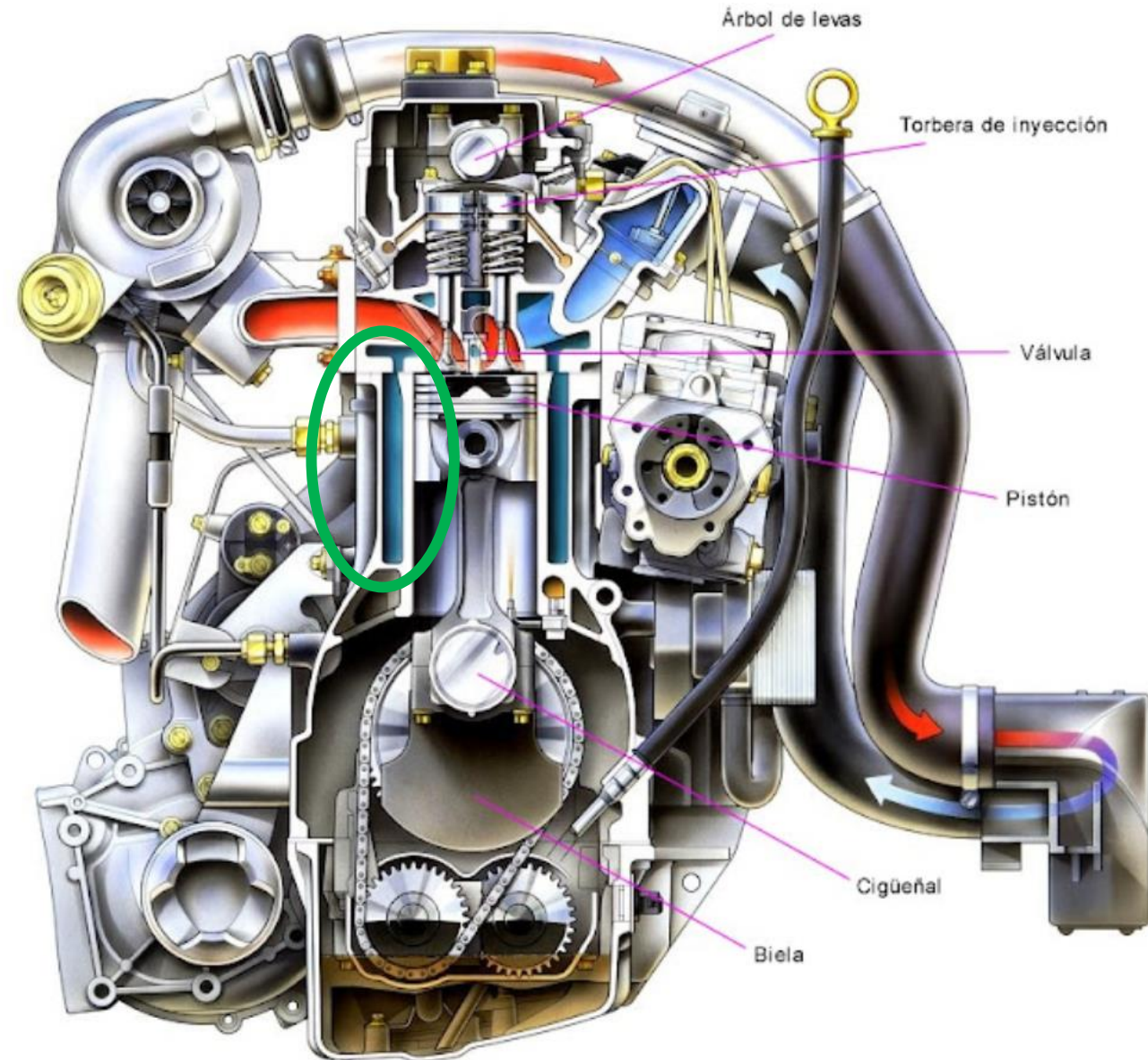
## Sistema de arrefecimento a ar



# Sistema de arrefecimento a água



## Sistema de arrefecimento a água

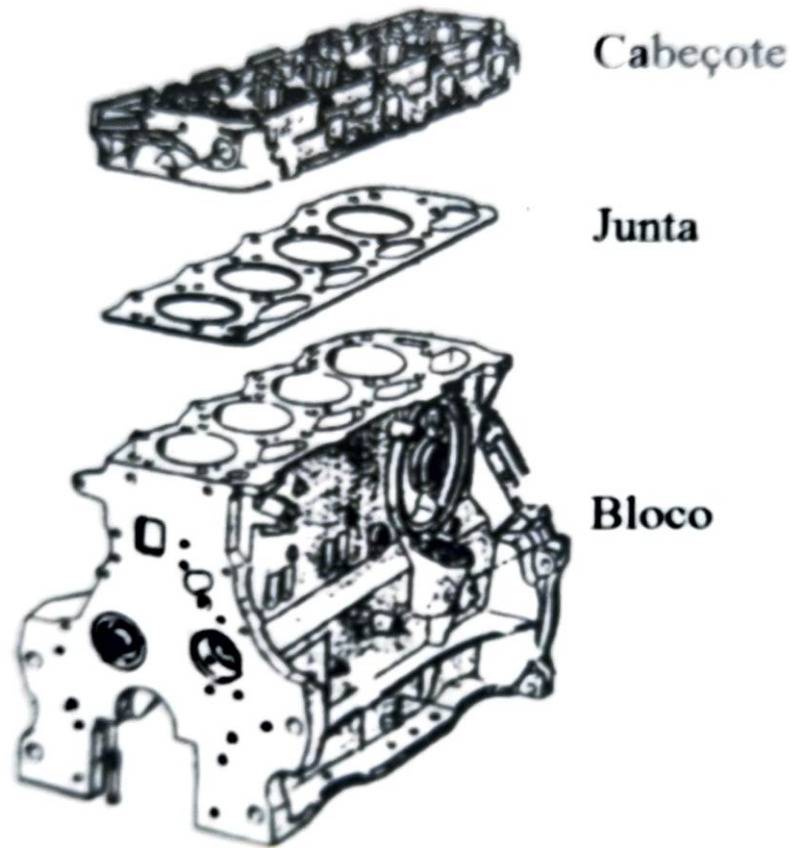




## Sistema de arrefecimento a água



## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



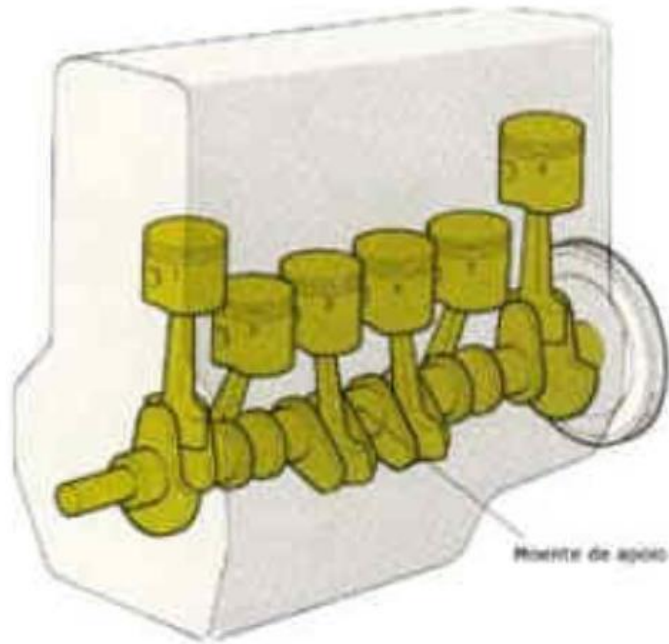
De acordo com o número e arranjo dos cilindros, desta forma podem ser classificados como:

- ❖ Cilindros horizontais;
- ❖ Com um cilindro;
- ❖ Dois cilindros horizontais em paralelo;
- ❖ Dois ou quatro cilindros horizontais opostos;
- ❖ De cilindros múltiplos em linha;
- ❖ De cilindros múltiplos em “V”.



## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna

### Cilindro em linha

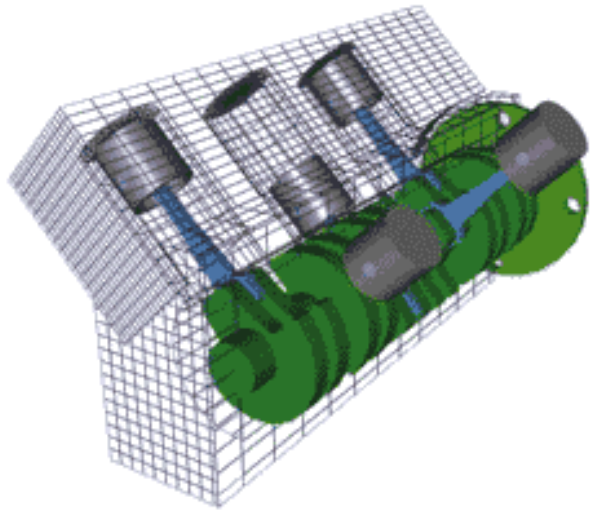


**Vantagens:** Engenharia simples, menor custo de produção e manutenção.

**Desvantagens:** Refrigeração deficitária pois os cilindros ficam no centro do motor. Aumenta muito a dimensão do motor conforme aumenta o número de cilindros

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna

### Cilindros em V

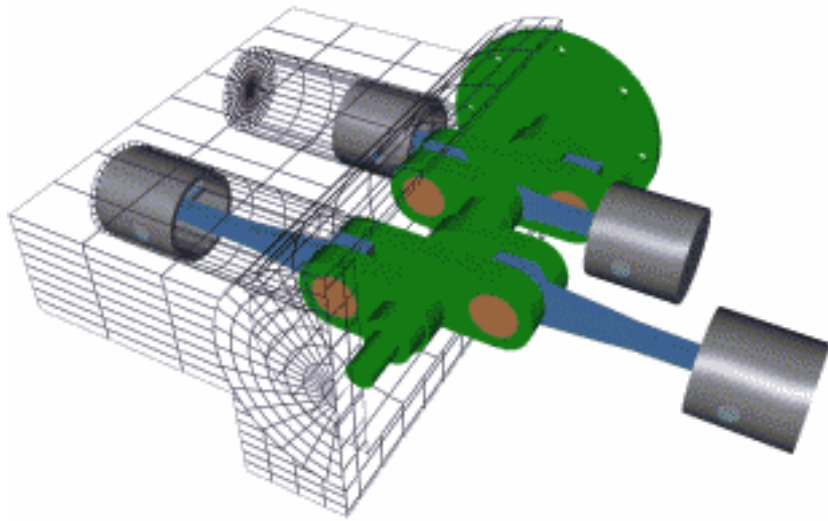


**Vantagens:** Não aumenta tanto o tamanho do motor com aumento de cilindros. Cilindros distribuídos favorecem o resfriamento. Maior rendimento mecânico.

**Desvantagens:** Maior vibração, engenharia mais complexa. Maior ruído (para quem não gosta).

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna

### Horizontais opostos (Motor Boxer)

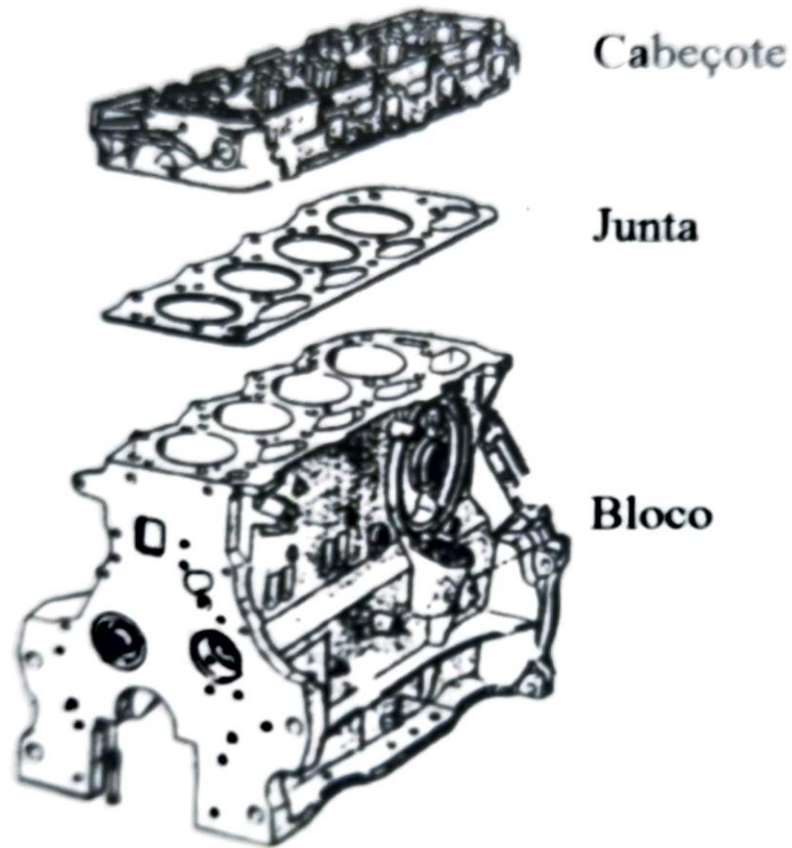


**Vantagens:** Baixo centro de gravidade, garante estabilidade. Menor nível de vibrações. Conhecidos pelo som característico.

**Desvantagens:** Quase nulas, mas a manutenção é difícil e muito especializada.

Subaru e Porsche utilizam esse tipo de motor.

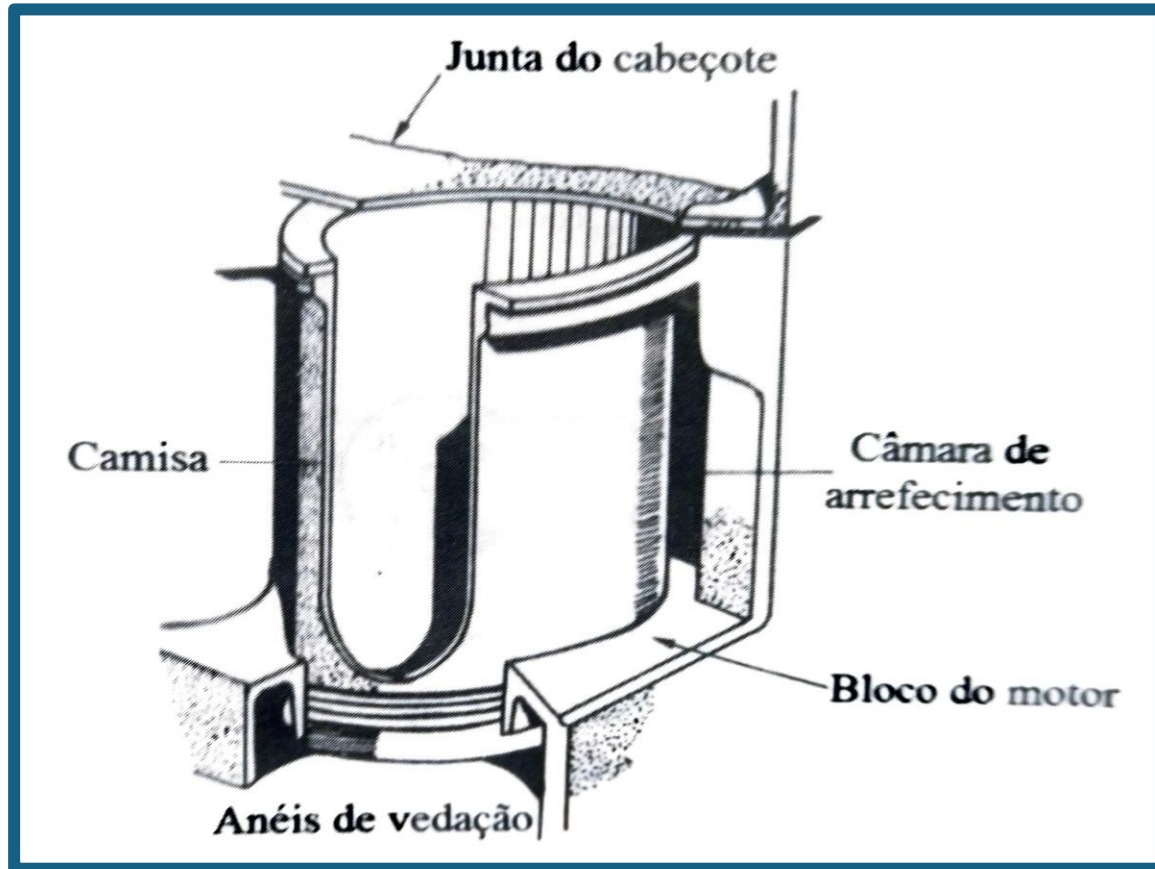
## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



### Cabeçote:

- ❖ É uma espécie de tampa do motor, sendo o órgão que fecha o bloco e os cilindros na sua parte superior;
- ❖ No cabeçote que são fixadas estruturas como velas e varetas;
- ❖ Fabricado geralmente com o mesmo material do motor;
- ❖ Para união do cabeçote com o bloco é colocado uma peça, que é denominada junta, que é feita de amianto revestida por metal, geralmente cobre.

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



### Camisa do motor:

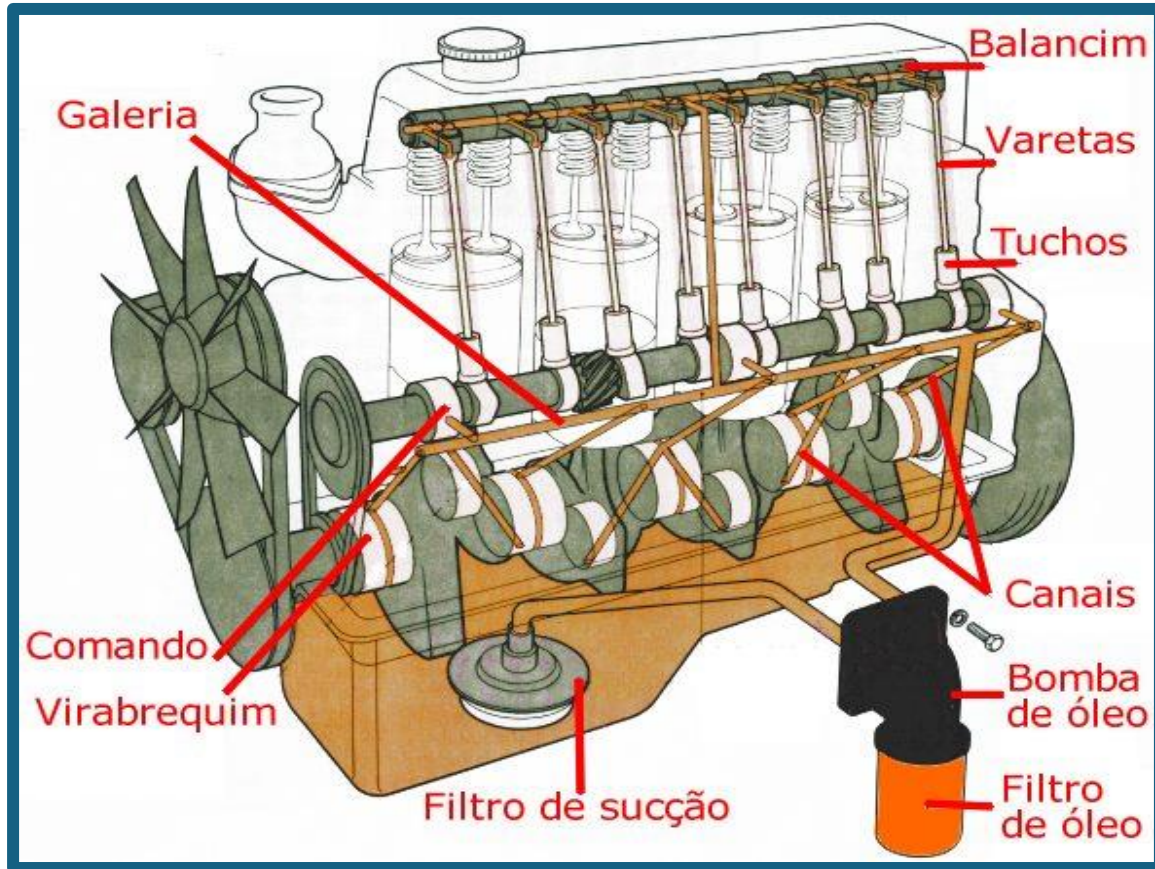
- ❖ Alguns blocos, como por exemplo os dos tratores, possuem um revestimento do cilindro, que tem por finalidade limitar a temperatura de funcionamento do motor, dissipando assim o seu calor;
- ❖ As camisas se caracterizam por tubos removíveis, construídas a partir material fundido centrífugo ou de aço de liga especial;
- ❖ É no seu interior que ocorre a combustão;
- ❖ Para realizar o arrefecimento, as camisas são resfriadas externamente por água ou ar;

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna





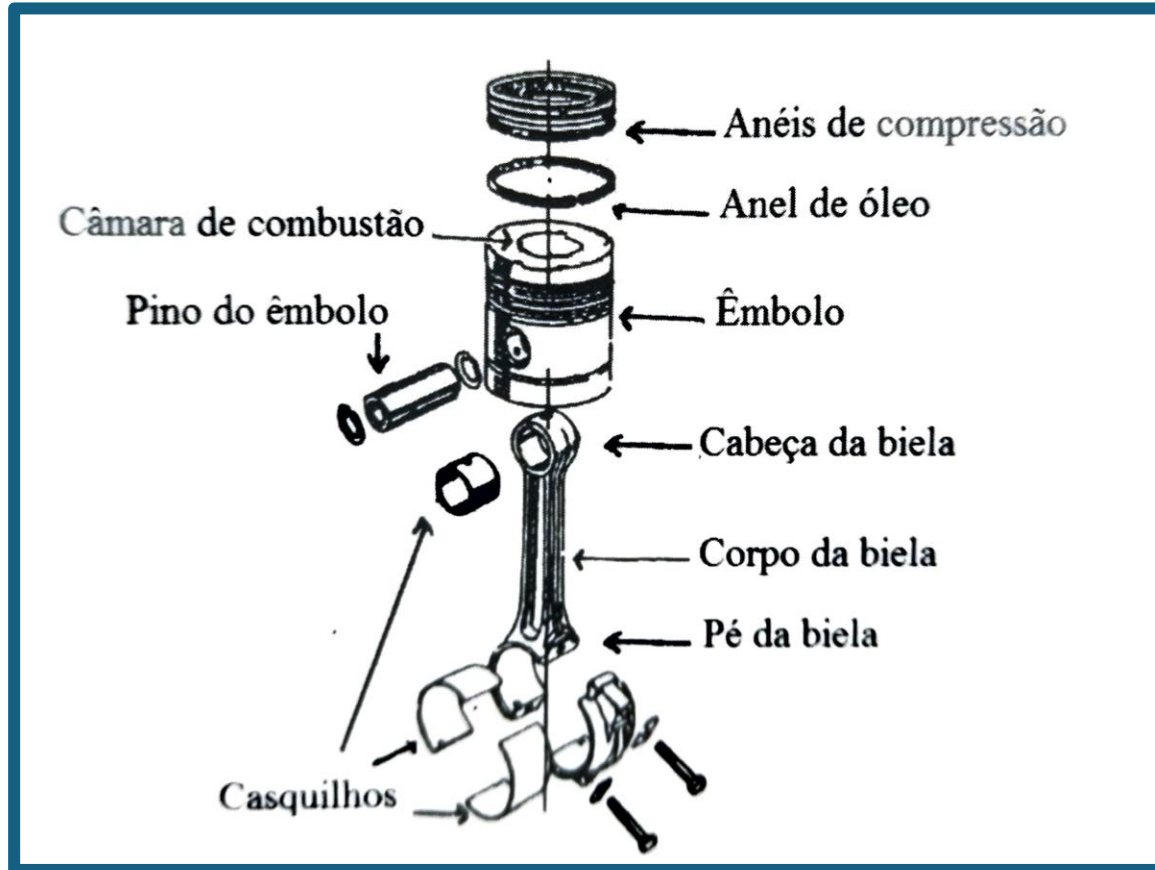
## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



### Carter:

- ❖ É o órgão que fecha a parte inferior do bloco, protege as partes inferiores do motor, e funciona como depósito de óleo lubrificante;
- ❖ É nesse órgão onde estão que geralmente se localizam a árvore de manivelas e a bomba de óleo lubrificante ou seu dispositivo captador;
- ❖ Na sua parte inferior localiza-se um orifício com rosca, que aloja o bujão de escoamento.

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna

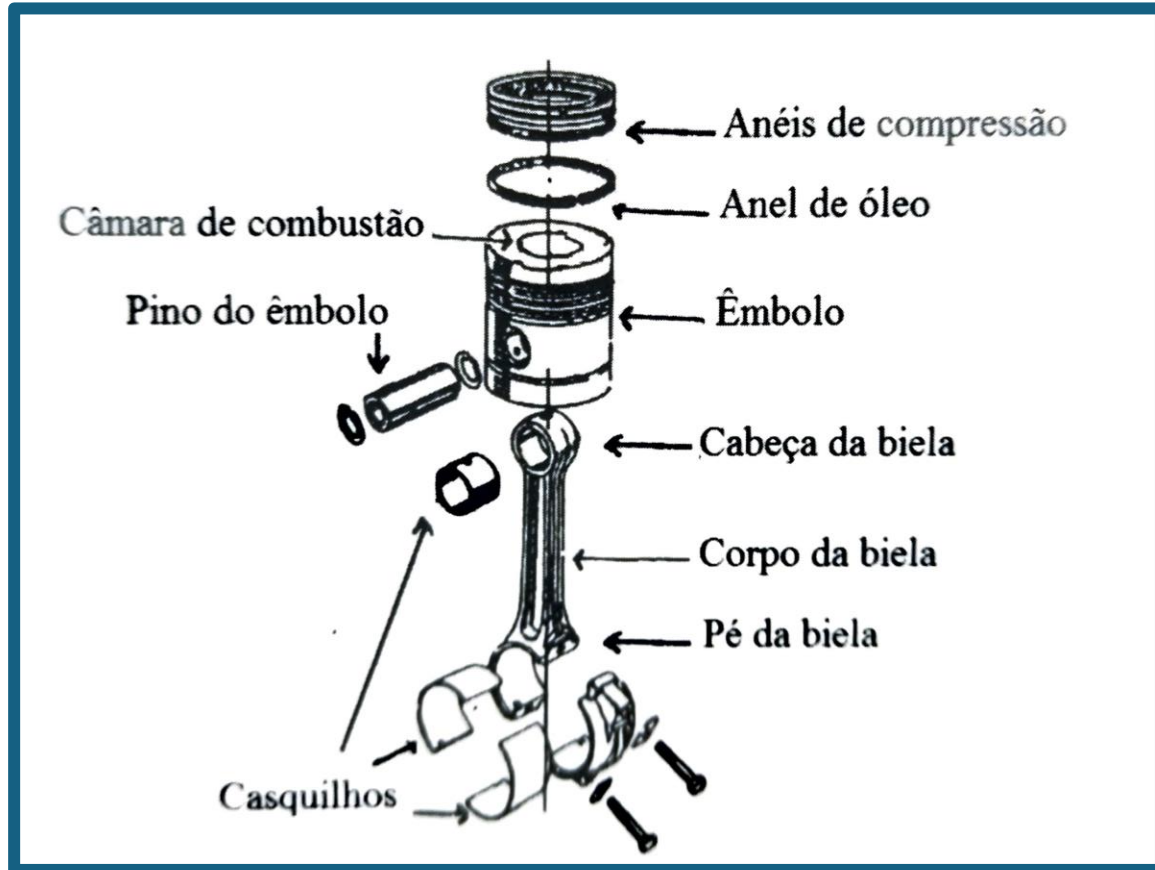


### Êmbolo:

- ❖ Também denominado pistão;
- ❖ É a primeira peça do motor a se movimentar devido a expansão dos gases após a combustão;
- ❖ A força gerada pela combustão é transferida do pistão para biela, através de um pino de aço (pino do êmbolo), que acaba convertendo o movimento retilíneo em circular contínuo;

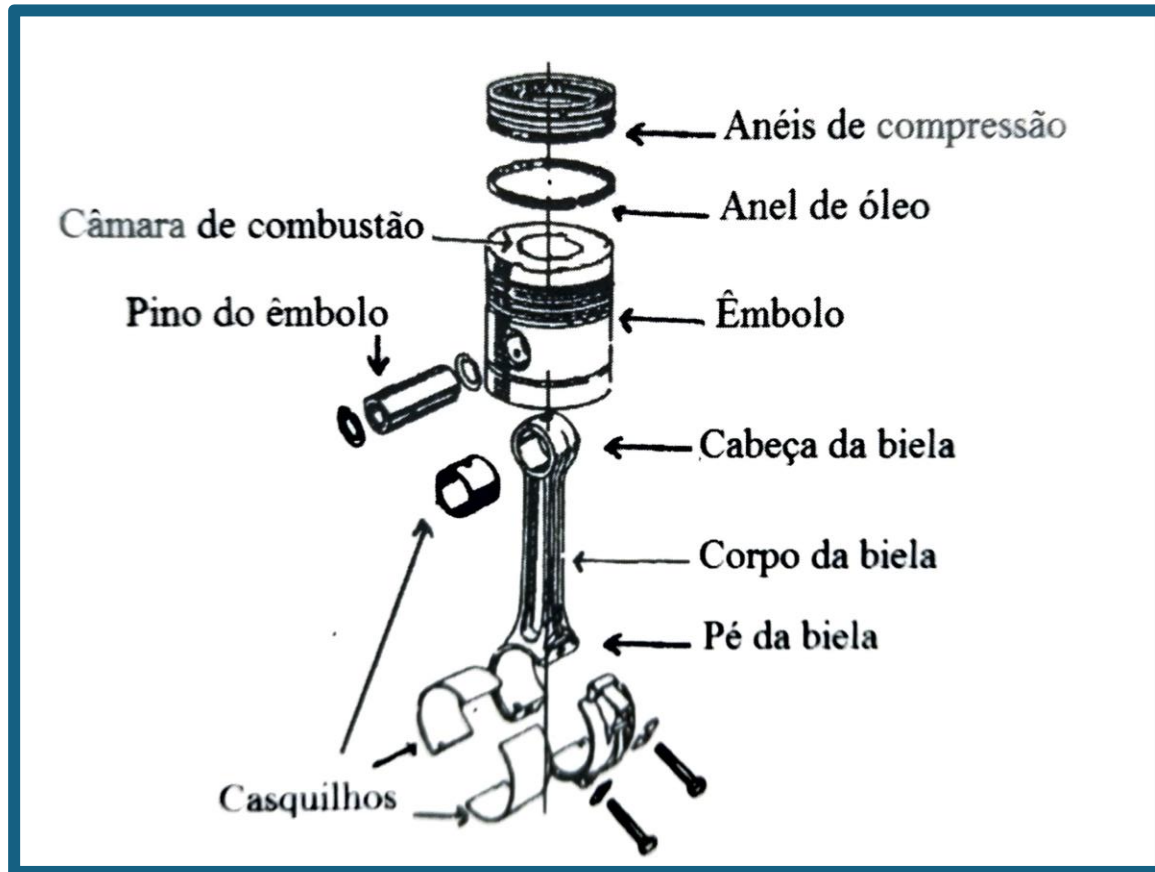


## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



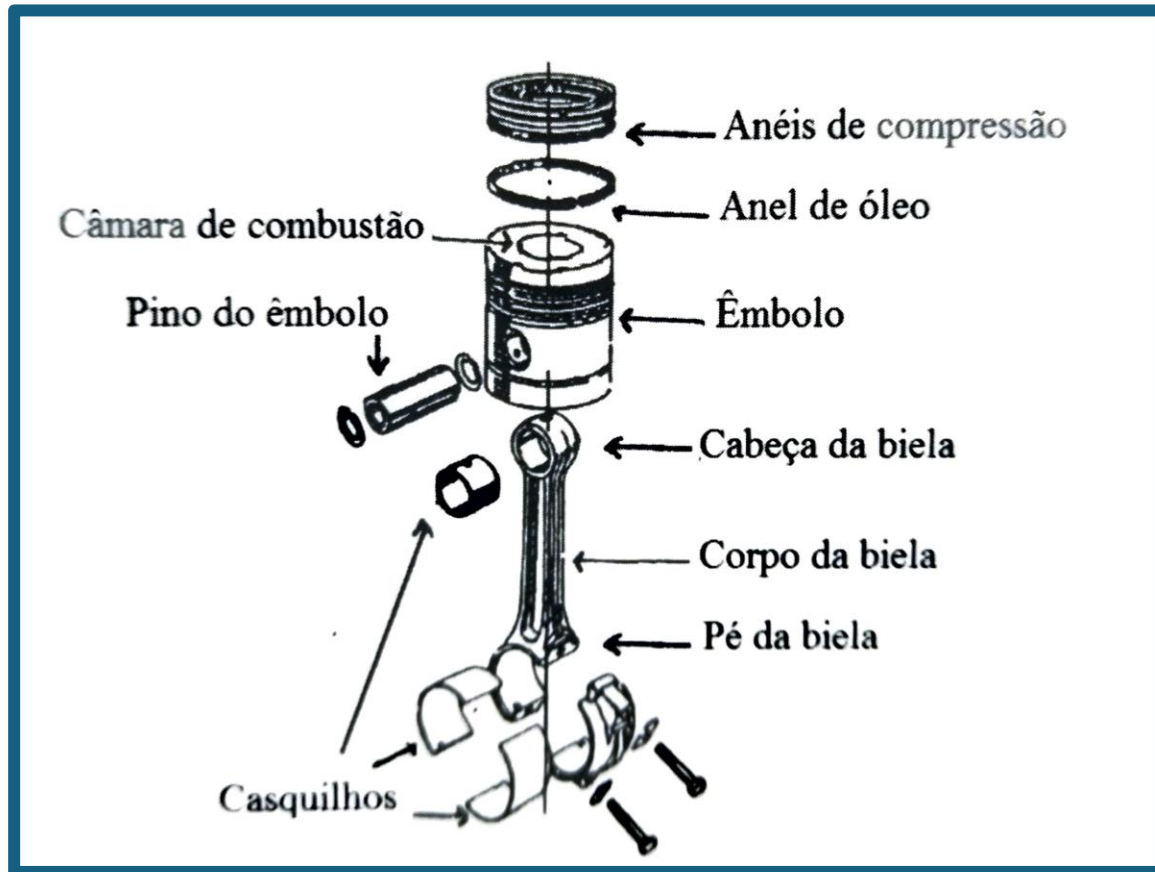
- ❖ Os êmbolos possuem formato cilíndrico, fechado em uma das extremidades e aberto na outra, para possibilitar a conexão com a biela;
- ❖ Possuem como constituição:
- ❖ Topo: Parte superior que pode ser levemente côncava ou plana;
- ❖ Cabeça: Onde estão localizadas as ranhuras para os anéis de segmentos;
- ❖ Saia: Referente à parte localizada abaixo do orifício do pino do êmbolo.

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



- ❖ Na construção dos êmbolos deve-se obter características como: Dissipação do calor, baixo índice de dilatação térmica, pouca suscetibilidade ao desgaste, densidade relativa baixa, além de boas propriedades mecânicas a elevadas temperaturas.

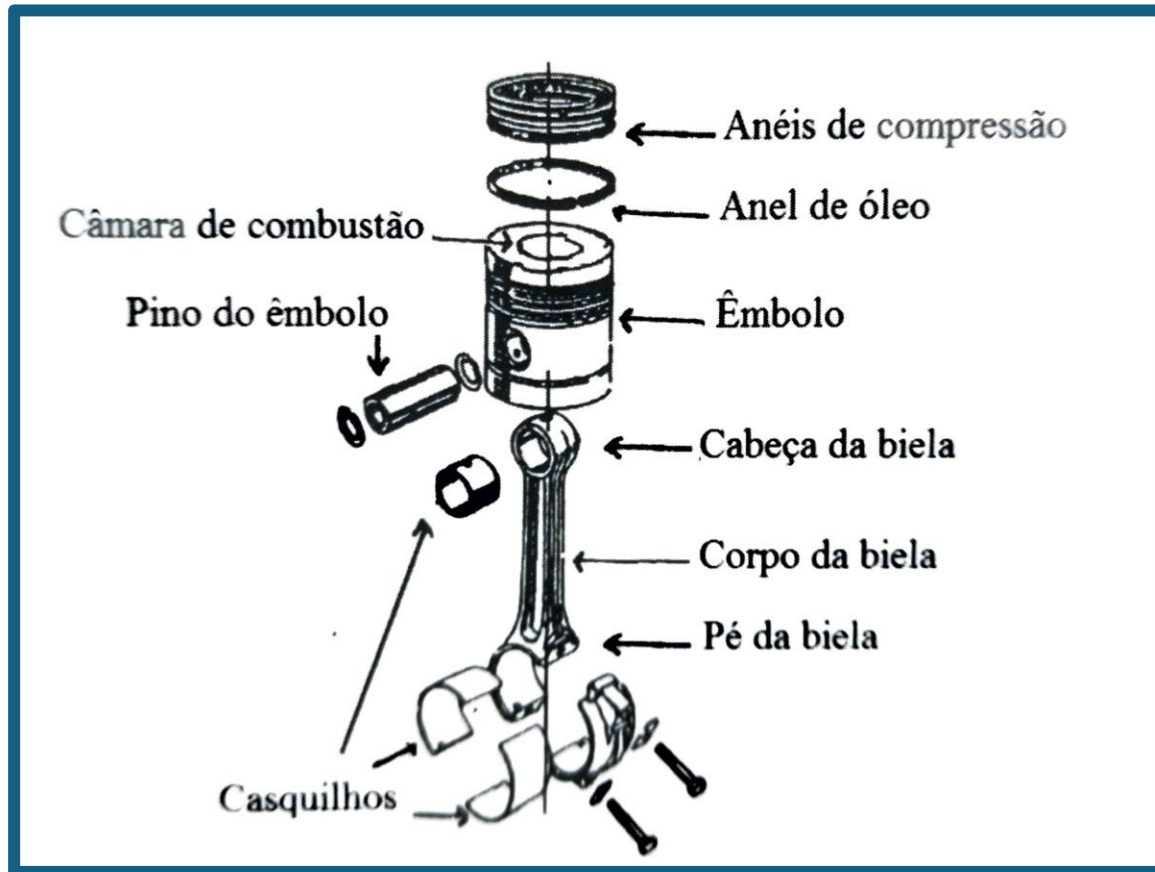
## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



### Pino do êmbolo:

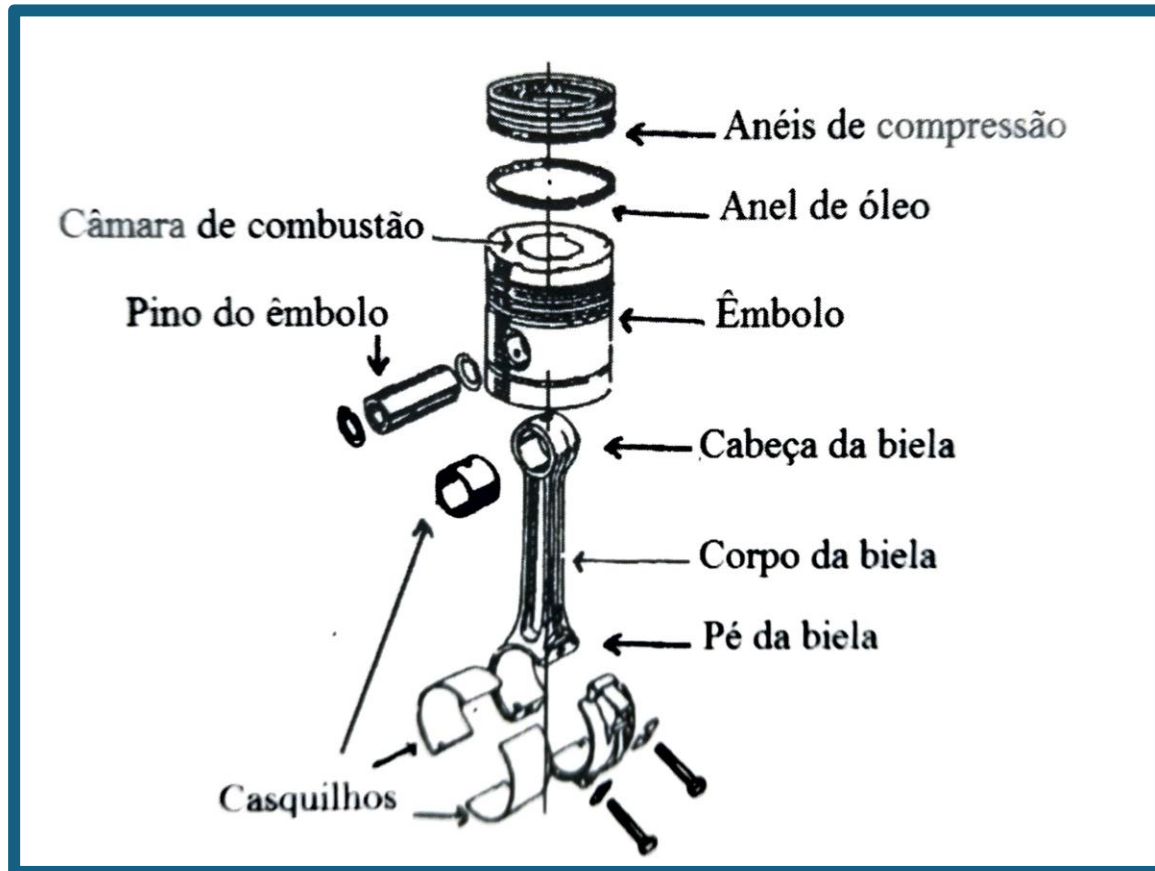
- ❖ Tem por função ligar o êmbolo a biela, de forma articulada. Possui forma oca e é fabricado em aço cimentado, características que lhe garante menor peso e alta resistência a flexão;
- ❖ Posiciona-se diametralmente no êmbolo, em orifícios com bordas reforçadas. A montagem do pino pode ser feita a quente, completando-se a montagem com arruelas de trava para melhor fixação.

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



- ❖ O pino pode ser fixado em sua posição de trabalho de três maneiras distintas:
- ❖ Pino fixo: quando o pino é fixado ao êmbolo e a cabeça da biela funciona como um mancal;
- ❖ Pino semiflutuante: é preso à biela por parafusos de fixação, e o pino flutua no êmbolo;
- ❖ Pino flutuante: É imobilizado apenas diametralmente, e o pino flutua tanto no êmbolo como na biela.

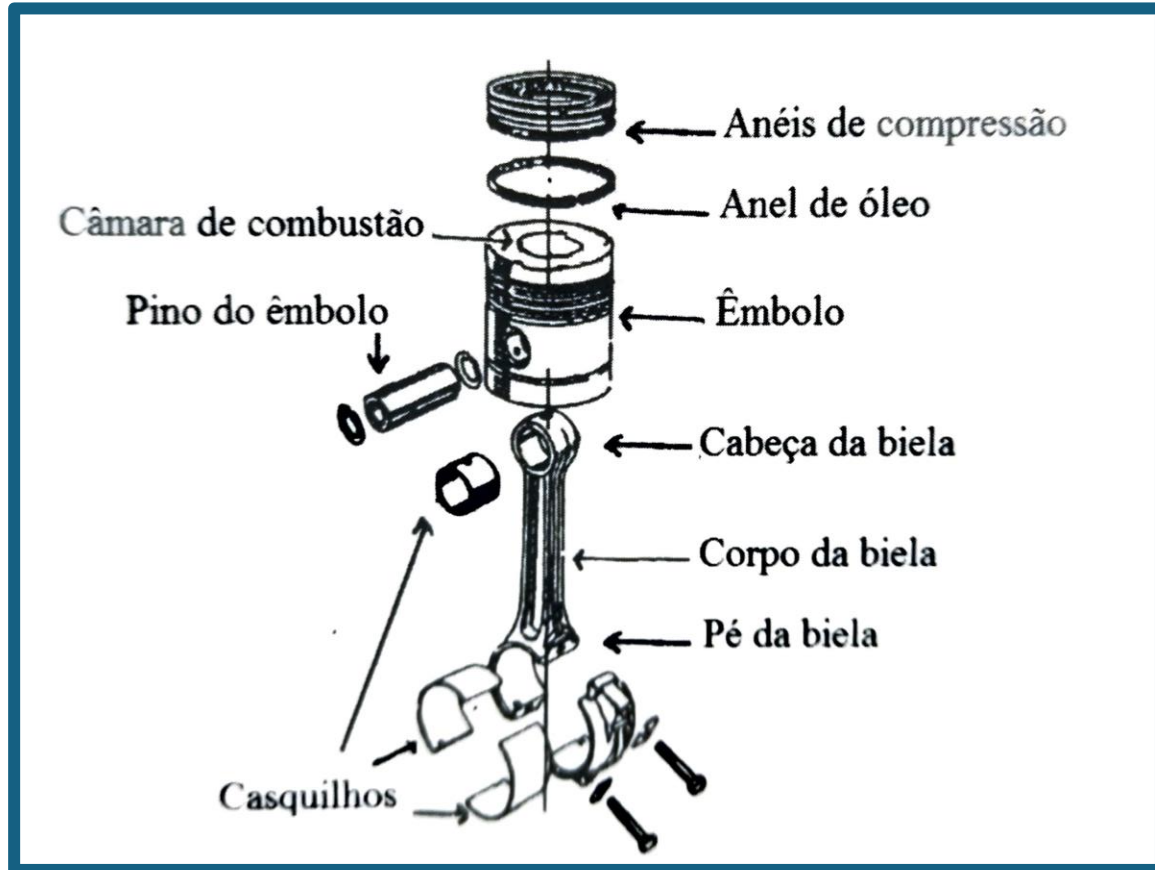
## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



### Biela:

- ❖ É o órgão que conecta o êmbolo ao eixo de manivelas;
- ❖ É um dos responsáveis por transformar o movimento retilíneo alternado do êmbolo em movimento circular contínuo no volante do motor;
- ❖ É fabricado em aço forjado e possui três partes: cabeça (parte que se prende ao êmbolo), pé (parte que se acopla à árvore de manivelas) e corpo (parte localizada entre a cabeça e o pé e que lhe confere comprimento).

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna

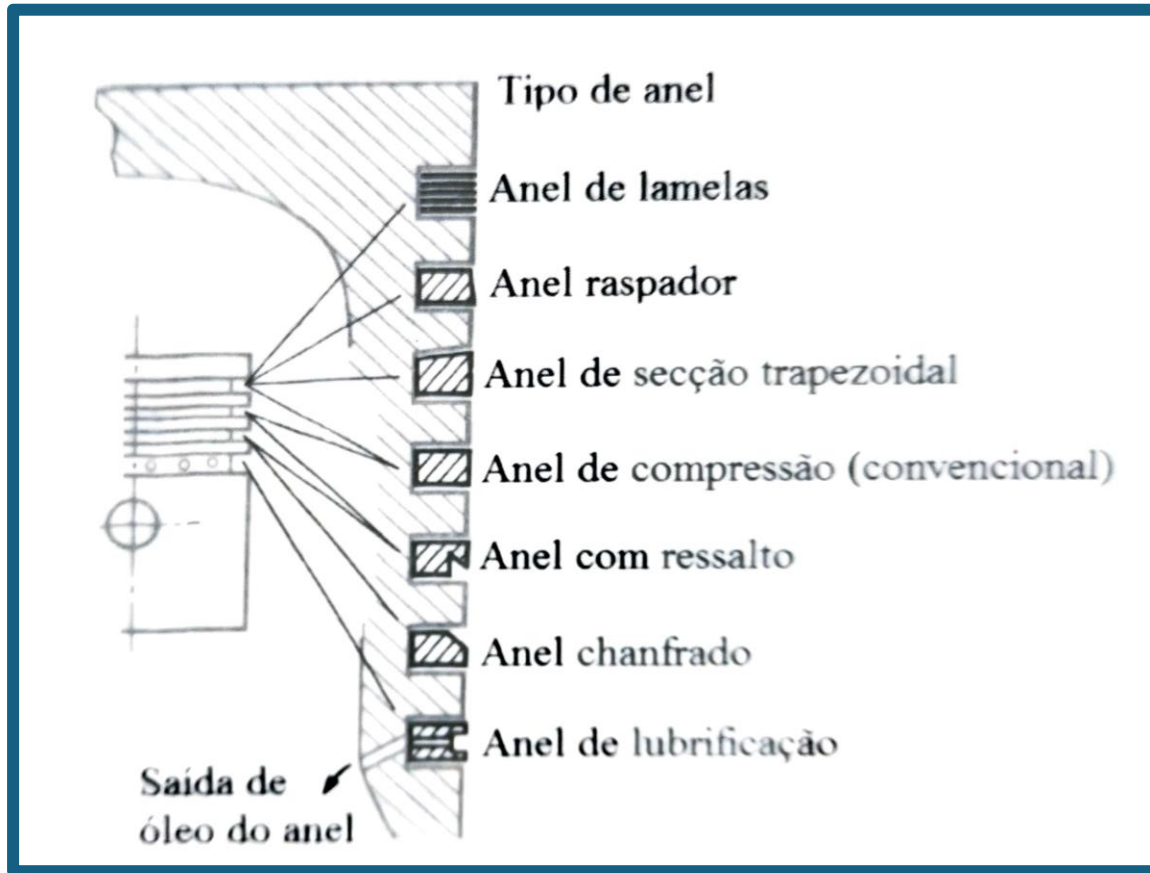


### Casquilho:

- ❖ Conhecida pelo nome de bronzina, são os elementos que estabelecem contato entre a cabeça da biela e o êmbolo, e entre o pé da biela e a árvore de manivelas;
- ❖ Consiste de duas cápsulas semicilíndricas, Ou seja, buchas bipartidas, geralmente fabricadas em aço-cobre-estanho, liga denominada genericamente liga anti-fricção.
- ❖ Sua função é reduzir o atrito entre as partes móveis do motor. Eles absorvem as forças de torção, evitando que a vibração passe para o resto do veículo.



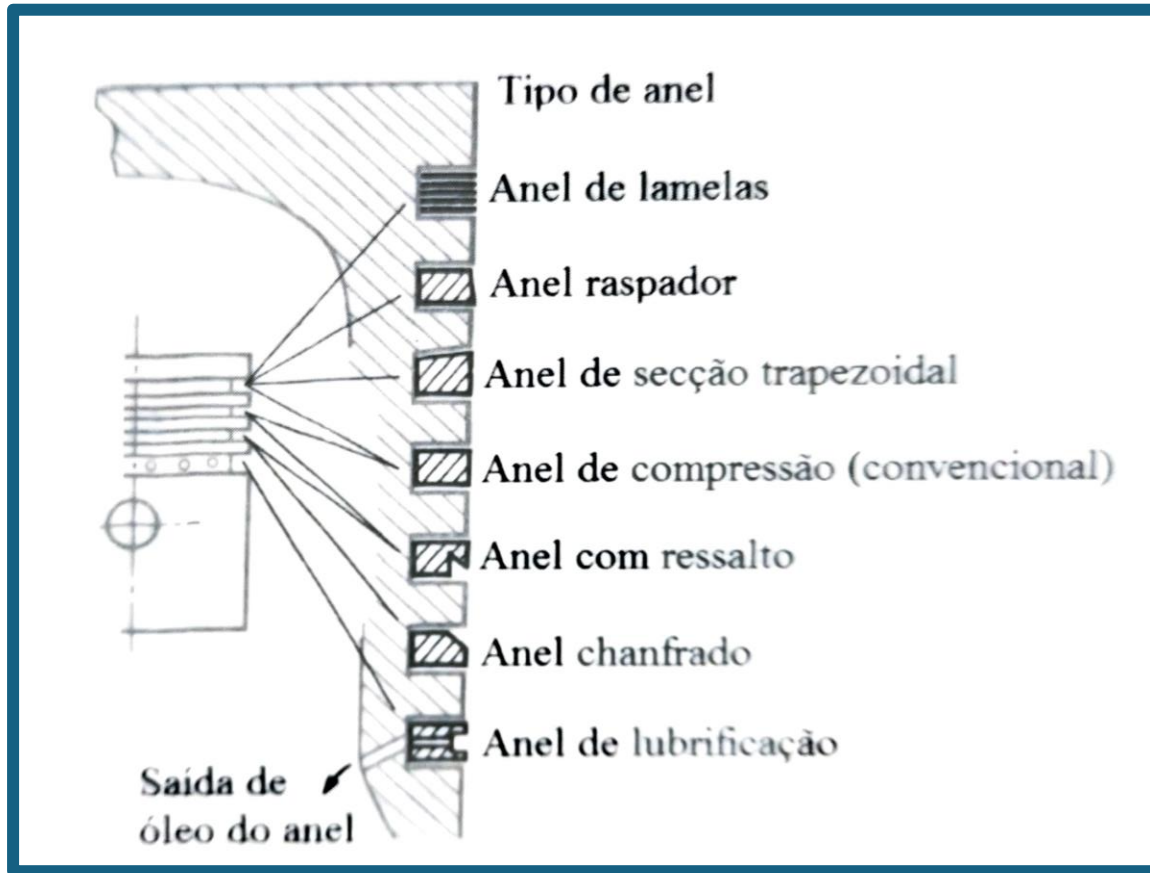
## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



### Anéis de segmentos:

- ❖ São anéis localizados no interior das ranhuras ou canaletas circulares, na cabeça do êmbolo e, em alguns casos, na saia;
- ❖ Tem como principais finalidades: Vedação da câmara do cilindro, controlar fluxos de óleo nas paredes do cilindro e dissipar o calor do êmbolo na parede do cilindro;

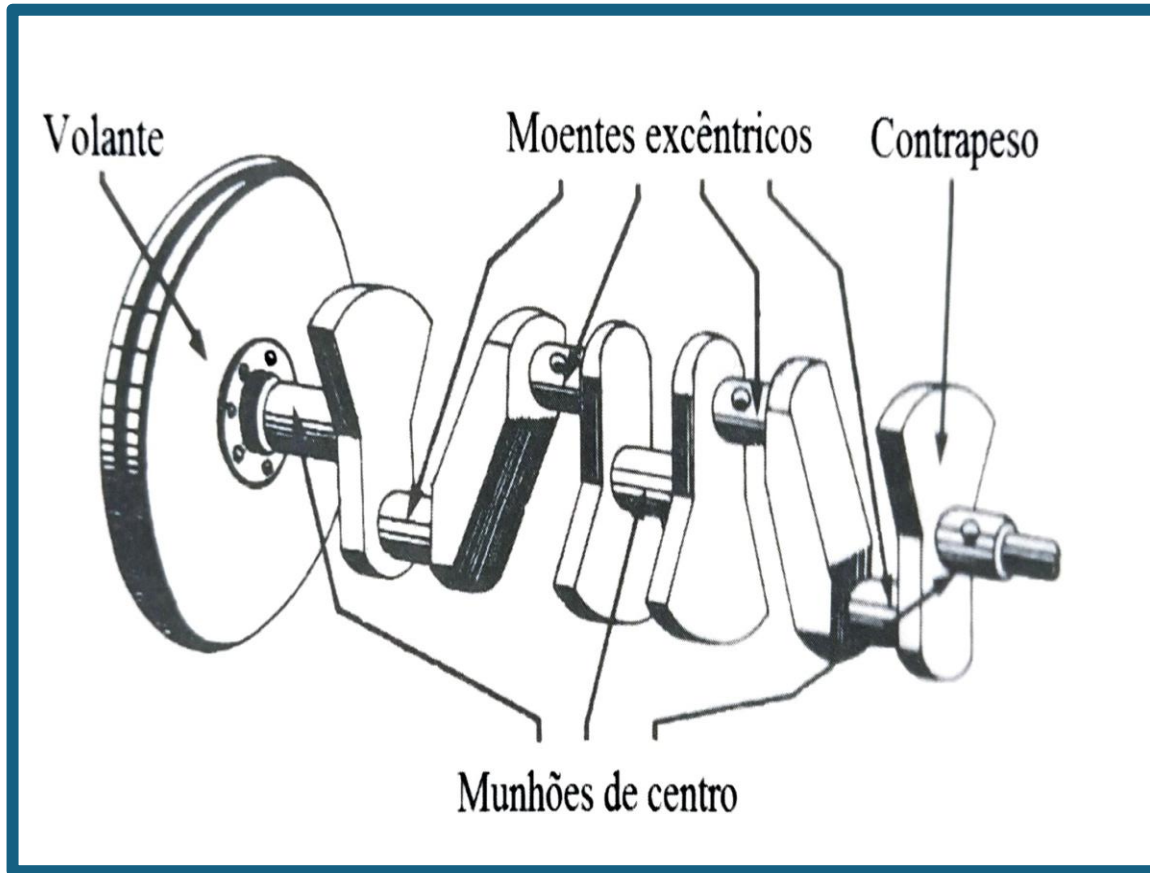
## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



- ❖ São geralmente fabricados em ferro fundido, pois o ferro apresenta características desejáveis como: Boa elasticidade, boa resistência ao desgaste, baixo custo e boas características contra o agarramento;
- ❖ Os anéis podem ser de dois tipos fundamentais:
  - De compressão: Que vedam a câmara do cilindro, e sempre estão localizados próximos a cabeça do êmbolo;
  - De lubrificação: Que controla a quantidade de óleo entre as paredes do êmbolo do cilindro.



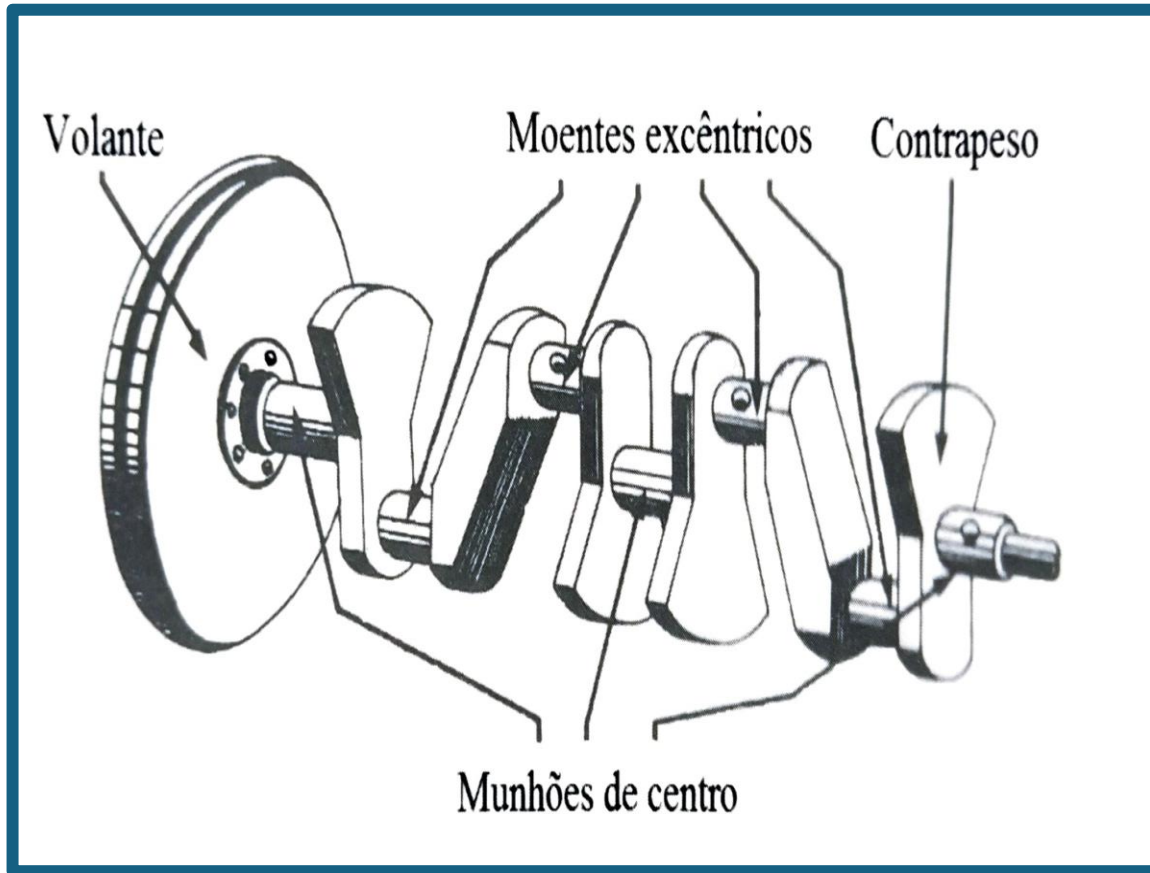
## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



### Árvore de manivelas (virabrequim):

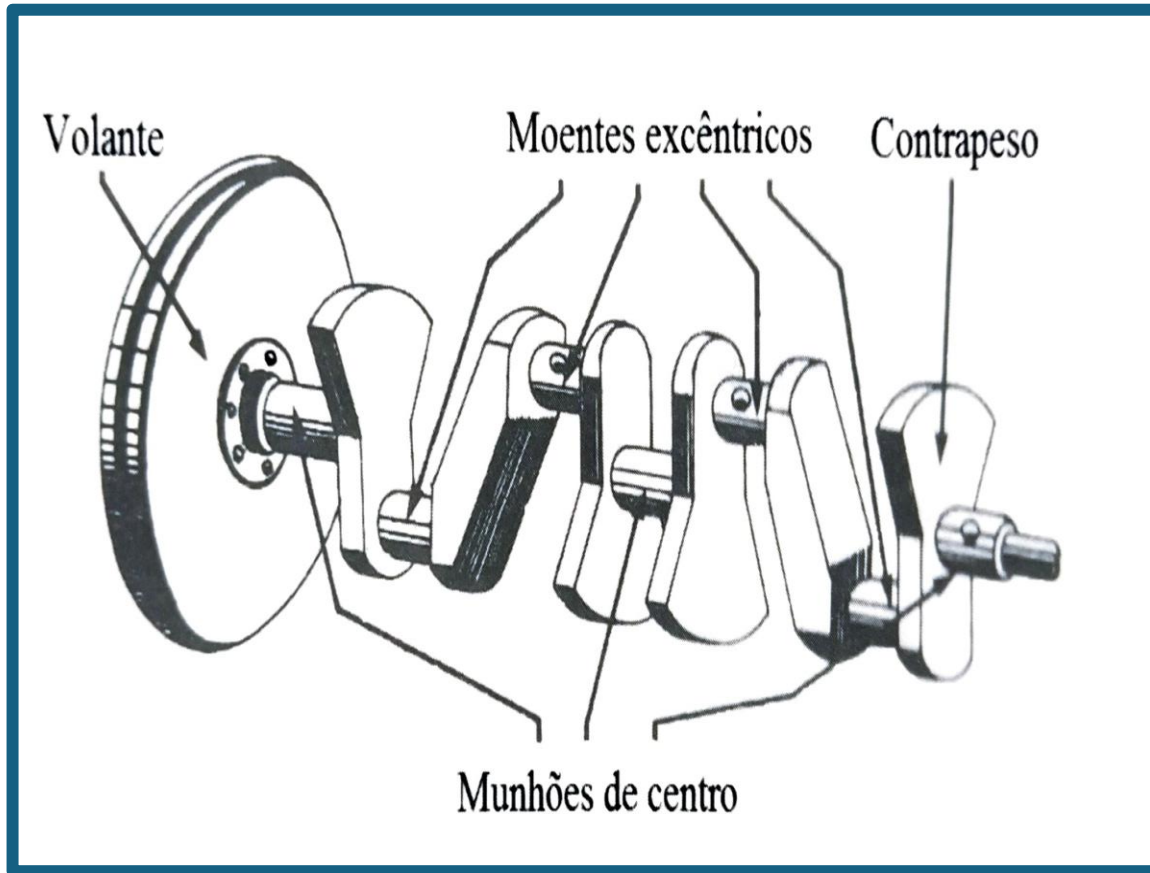
- ❖ Também chamado de eixo de manivelas ou eixo virabrequim, é considerado o eixo motor propriamente dito, acionando direta e indiretamente todos os outros órgãos envolvidos no funcionamento do motor;
- ❖ Possui tantas manivelas quantos forem os cilindros do motor e são fabricados em aço forjado ou fundido;
- ❖ A linha de eixo é formada por um conjunto de munhões, que apoiam a árvore de manivelas nos mancais do bloco.

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



- ❖ Os moentes localizam-se na extremidade de cada manivela, e são as partes onde se apoiam as bielas;
- ❖ Em uma das extremidades do eixo virabrequim há um flange, onde se acopla o volante do motor, e na outra extremidade, a roda denteada de acionamento do comando de válvulas. O interior do eixo de manivelas contém dutos onde circulam o óleo lubrificante dos munhões e moentes;

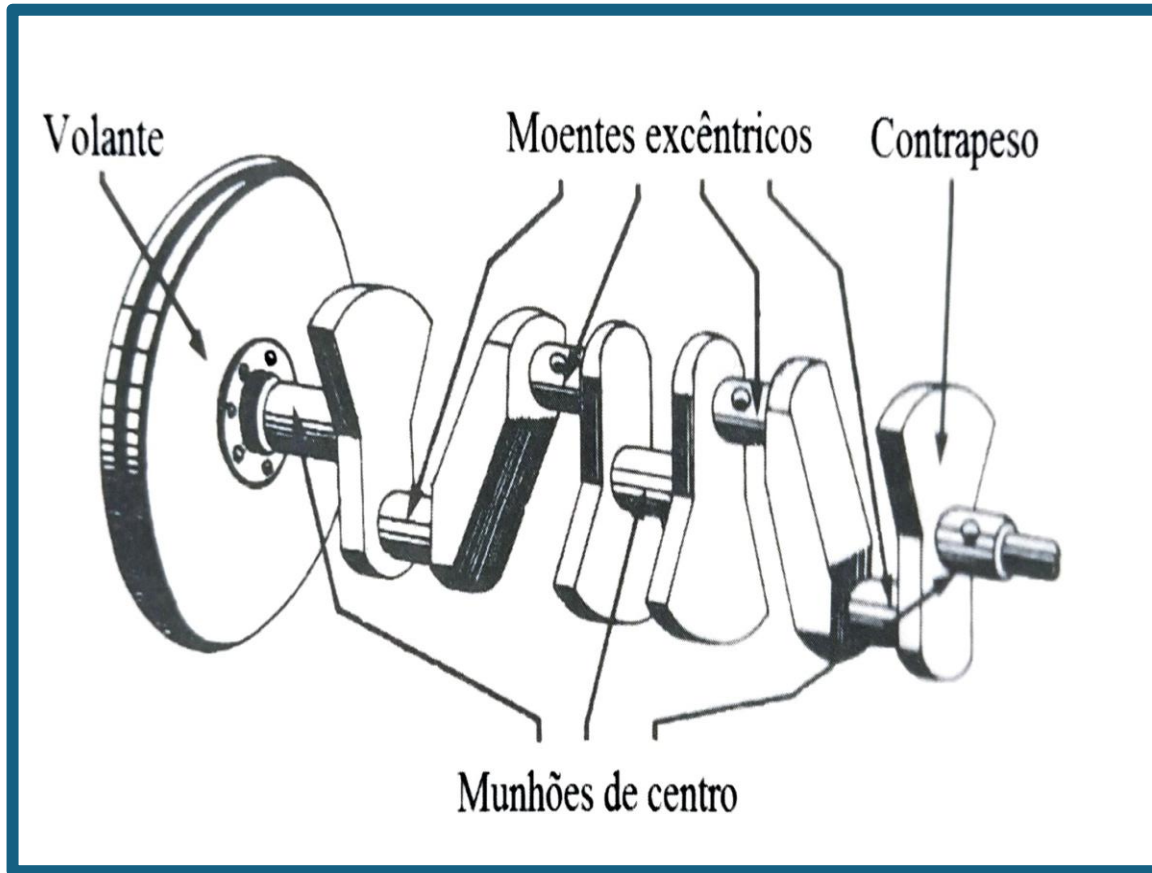
## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



### Volante do motor:

- ❖ Este órgão fica acoplado ao eixo virabrequim com a função de manter uniforme a velocidade angular deste;
- ❖ Ele absorve energia nos tempos de explosão e a restitui em outros tempos, além disso, pode fornecer energia extra, superior a produzida instantaneamente nos cilindros, durante sobrecargas momentâneas;
- ❖ É constituído por uma massa de ferro fundido e seu peso está diretamente relacionado à rotação e torque do motor;

## 6. Partes constituintes dos motores de combustão interna



Volante do motor:

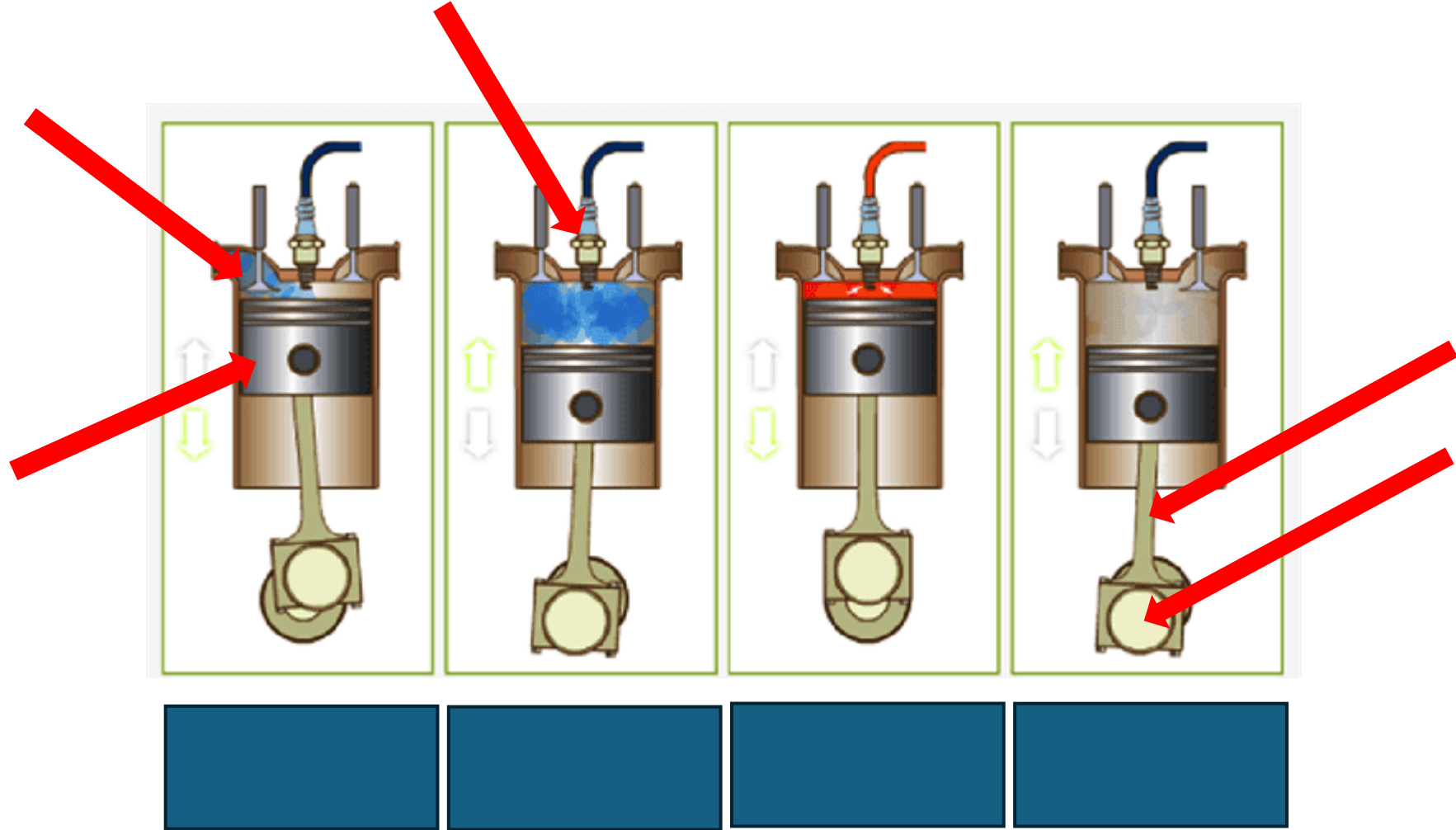
- ❖ No perímetro externo do volante localiza-se uma coroa dentada, denominada cremalheira, na qual se engrena o pinhão do motor de partida.



# MOTOR 4 TEMPOS



**Mac**  
**Aliga**

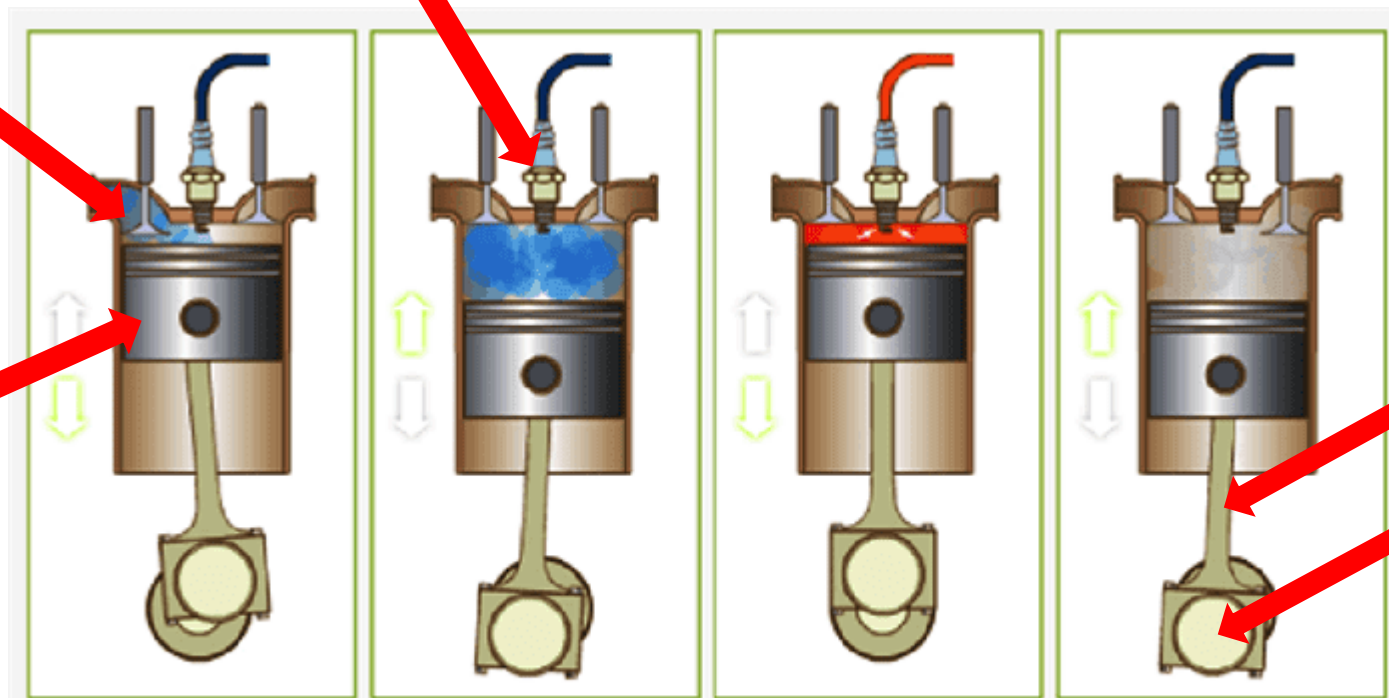




Válvula de  
admissão

Bico injetor

Êmbolo



Biela

Virabrequim

Admissão

Compressão

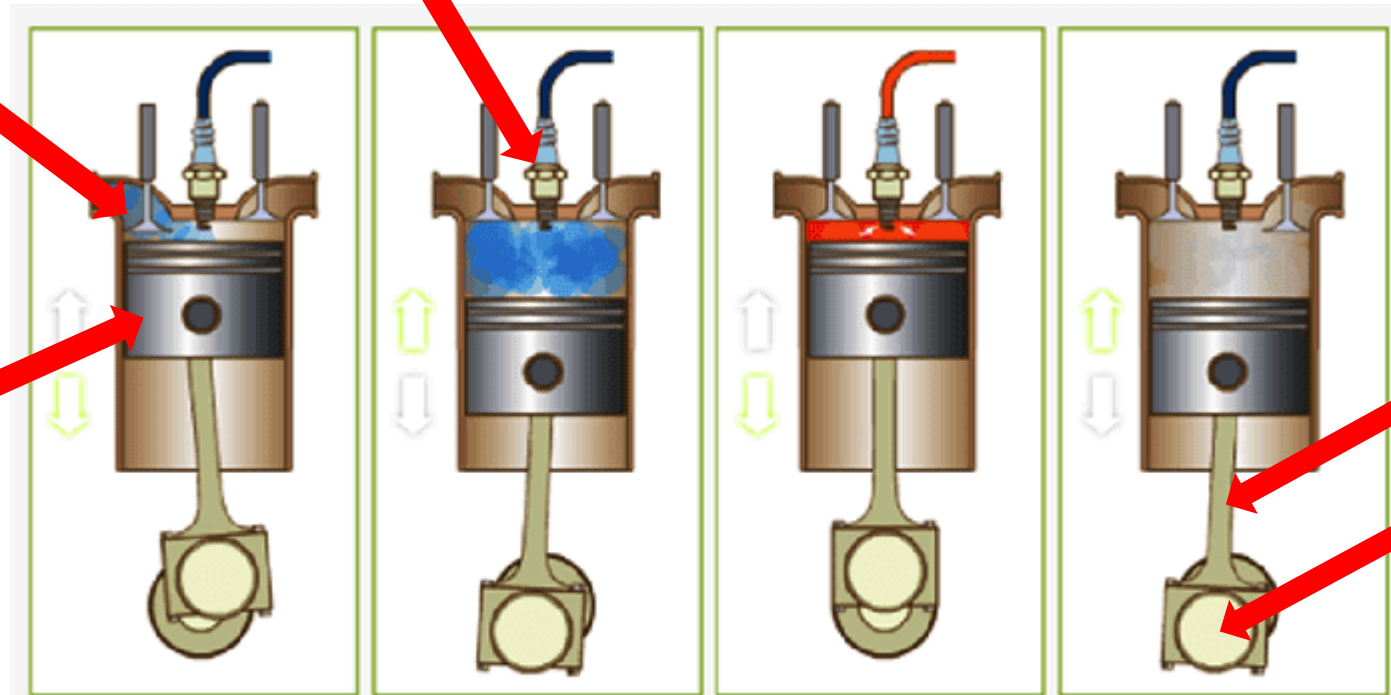
Explosão

Escape

Válvula de  
admissão

Bico injetor

Êmbolo



Admissão

Compressão

Explosão

Escape

Biela

Virabrequim

**Ciclo Otto ou ciclo Diesel?**