

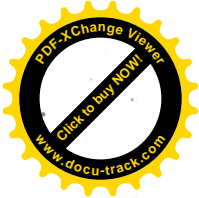
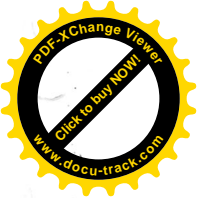
Engº Alfred Donschke
Engº Francisco Romeu Landi
Assistentes da Cadeira de Termodinâmica e Máquinas Térmicas
(Cadeira 14) da
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Tiago Stapassoli

□20

**MOTORES DE COMBUSTÃO
INTERNA DE ÊMBOLO**

□20



PREFÁCIO

Esta publicação contém o curso de Motores de Combustão Interna de Êmbolo ministrado pela Cadeira nº 14 aos alunos do Curso de Engenheiros Mecânicos de Projeto (9º e 10º semestres) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Foi elaborado pelos Assistentes, Engenheiros Alfred Domschke e Francisco Romeu Landi.

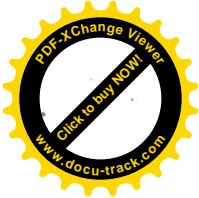
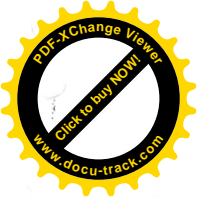
Colaboraram na sua execução:

Engenheiro Paolo Guglielmo Bellotti, na tomada de notas de aula;
Engenheiro Tomowo Kitamura, na parte dos desenhos e símbolos especiais;
Senhorita Dna. Elisabeth Clara Müller nos serviços de datilografia.

Sendo esta a primeira vez que este curso é editado pedimos desculpas pelas falhas que apresentar.

Escola Politécnica, Maio de 1960 .

Remé Benedito Silva
Prof. Catedrático Interino



CAPÍTULO I

Generalidades

Os motores térmicos dividem-se em dois grupos fundamentais: os de combustão externa (máquina a vapor, turbina a vapor) e os de combustão interna (motores a êmbolo, turbina a gás).

O nosso curso se destinará ao estudo dos motores de combustão interna.

O campo de emprêgo d'esses motores varia com as necessidades e o tipo do motor. Para veículos automotrizes, onde um fator importante é o peso, usam-se motores a gasolina e diesel; para locomotivas, diesel; para veículos marítimos, empregam-se, de acôrdo com a capacidade, turbinas a vapor, turbinas a gás e motores diesel; para aviões as turbinas a gás estão substituindo, com vantagens, os motores a gasolina.

1) Motores a pistão

Os motores de combustão interna podem ser de quatro e de dois tempos, e de combustão por faísca ou por compressão.

1.1) Motores de combustão por faísca

Os mais difundidos são os de quatro tempos. Recebem esse nome porque o ciclo desenvolvido pode ser dividido em quatro tempos:

- 1º tempo: admissão. O pistão desloca-se para baixo e abrindo-se a válvula de admissão, é aspirada uma mistura de ar + combustível.
- 2º tempo: compressão. O pistão se desloca para cima, comprimindo a mistura.
- 3º tempo: expansão. Entre os eletrodos de uma vela salta uma faísca que inicia a combustão, a qual se propaga por toda a mistura. A combustão é muito rápida.

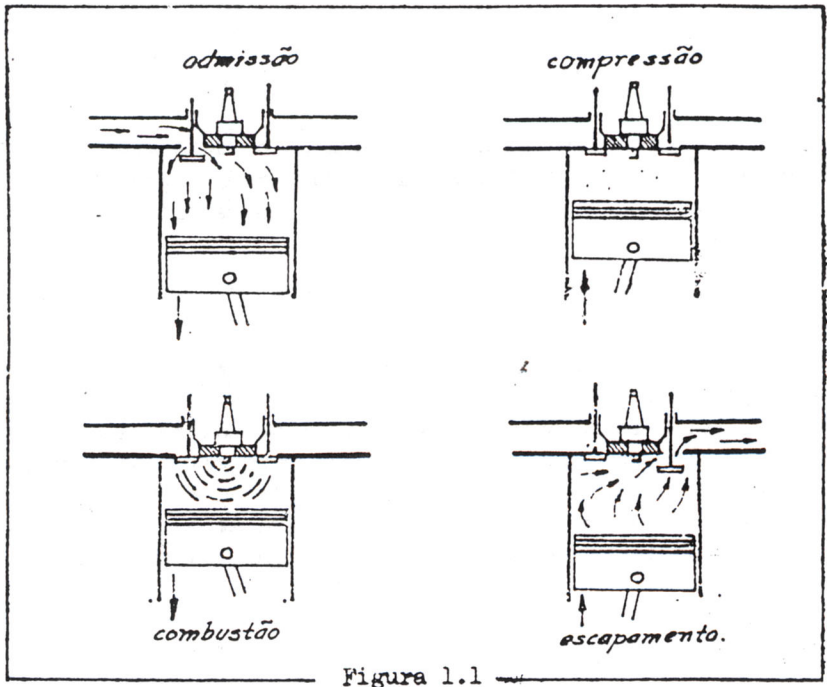
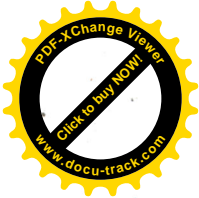
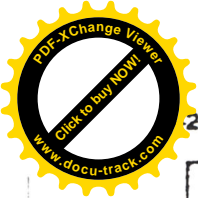


Figura 1.1

da e pode, em primeira aproximação, ser suposta a volume constante.

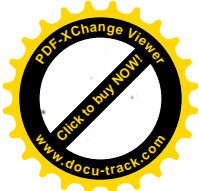
A combustão transforma a energia química da mistura em calor sensível, fornecendo aos gases alta temperatura e pressão. A pressão exercida sobre o êmbolo desloca-lo-á para baixo, desenvolvendo trabalho.

É este o único tempo motor.

4º tempo: escapamento. O pistão se desloca para cima e abre-se a válvula de escapamento. Pelo fato de os gases queimados se encontrarem em pressão maior que a atmosférica e pelo movimento do pistão, os gases são expulsos do cilindro.

A seguir repete-se o ciclo.

O ciclo acima foi imaginado por Beau de Rochas em 1862 e posto em execução por Otto em 1876 e daí receber o nome de "ciclo Otto".



O volume deslocado pelo pistão quando vai desde o mais alto até o mais baixo é denominado cilindrada (se o motor tiver z cilindros, chama-se cilindrada do motor a cilindrada de um cilindro multiplicada por z).

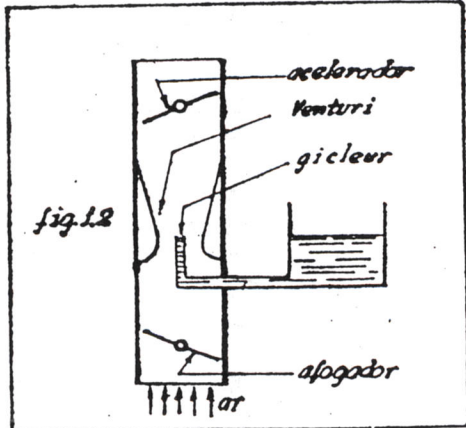
O volume do cilindro quando o pistão se encontram ponto morto inferior (PMI) dividido pelo volume do cilindro quando o pistão se encontra no ponto morto superior (PMS), recebe o nome de "relação de compressão (r_v)". Um valor médio de r_v é de 7 para 1.

1.2) Controla dos motores a explosão

Os motores de combustão por faísca, pelo fato de terem uma combustão bastante rápida, recebem o nome de motores a explosão.

A mistura de ar e combustível é feita nas ses motores num dispositi vo denominado "carbura—
dor".

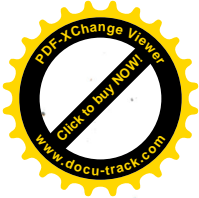
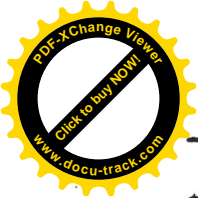
Quando o pistão se desloca para baixo e se abre a válvula de admis—
são, a depressão criada dentro do cilindro aspira ar do exterior. Esse ar passa pelo carburador, o qual é dotado de um Ventu—
ri que aumenta a velocidade do ar ao mesmo tempo que diminue a sua pressão a um valor tal que seja capaz de aspirar com—
bustível através de um orifício, denominado "gicleur". Faz—
se assim a mistura do ar com o combustível, que é vaporizado.



O carburador é provido ainda de duas borboletas ; uma depois do Venturi, que é o acelerador, e outra antes, de nominada afogador. O acelerador tem a finalidade de regular a quantidade de mistura que entra no motor e o afogador é utilizado em certos casos para fornecer ao motor maior quanti—
dade de combustível.

1.3) Motores de combustão por compressão

Em 1892 Rudolph Diesel imaginou um novo tipo de mo



tor capaz de queimar carvão em pó. Hoje em dia é, com algumas modificações, um tipo de motor bastante utilizado.

Um motor de combustão por compressão, também chama do motor diesel de quatro tempos, funciona da seguinte maneira:

- 1º tempo: admissão. O cilindro admite ar puro.
- 2º tempo: compressão. A compressão do ar fez com que este atingisse uma temperatura bastante elevada. É feita então a injeção de combustível (com pressão maior que a do ar), que entra em combustão por ignição espontânea aumentando então a pressão e a temperatura.
- 3º tempo: expansão. Este é o único tempo motor.
- 4º tempo: escapamento. O pistão e a pressão dos gases queimados fazem com que estes sejam expulsos.

No motor imaginado por Diesel, o combustível era injetado por meio de ar comprimido. Inicialmente usava pó de carvão como combustível, passando-se mais tarde a utilizar óleo Diesel. A combustão obtida, dessa maneira, era praticamente a pressão constante.

1.4) Controle dos motores de combustão por compressão

O método moderno de injetar o combustível em alta pressão (150 a 2.000 atm), para atomizar o combustível, é denominado de "injeção sólida ou mecânica".

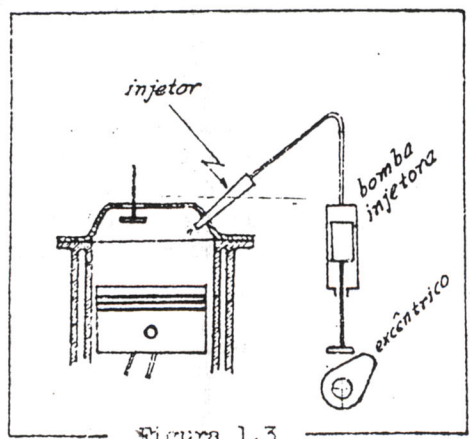
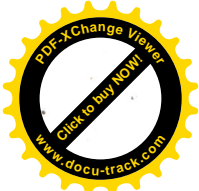


Figura 1.3

A injeção é feita por meio de uma bomba injetora dotada de um pistão, acionado por um excêntrico, que comprime o combustível até um valor desejado e o manda para o injetor.

O injetor abre para dentro da câmara de combustão onde pulveriza o combustível.



O excêntrico que aciona a bomba injetora é por sua vez impulsionado pelo girabrequim por meio de uma engrenagem com redução de 2:1, para que o combustível seja injetado somente no instante certo.

Enquanto que no motor a gasolina a mistura já é doada no carburador, no diesel a quantidade de ar é constante para uma dada rotação e o que varia é a quantidade de combustível.

No motor diesel, a relação ar/combustível (AC) varia conforme a potência solicitada e o máximo de potência se obtém para uma AC próxima da estequiométrica. Se injetarmos mais combustível do que o permitido pelo ar, há formação de fumaça (combustão incompleta), limitando assim a potência do motor.

1.5) Motor a dois tempos

Seu funcionamento é o seguinte:

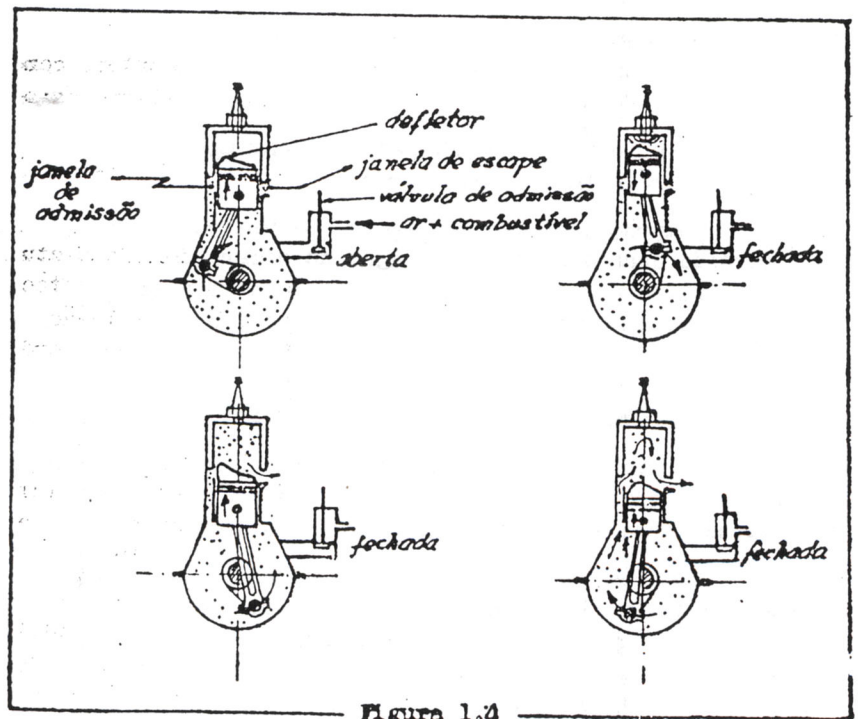
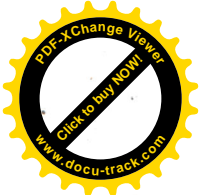
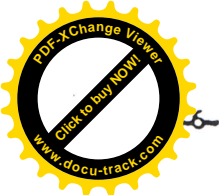


Figura 1.4



No motor de dois tempos há um curso motor para cada volta do girabrequim.

Quando se dá a combustão que empurra o pistão para baixo ao mesmo tempo que este fornece trabalho para ser utilizado fora do motor, se comprime também (no carter) a mistura que vai ser injetada na câmara no ciclo seguinte.

Descendo mais um pouco o pistão, abrem-se janelas de escapamento por onde escoam os gases queimados.

Logo a seguir, continuando o pistão sua descida, abre-se a janela de admissão por onde entra a mistura que já tinha sido comprimida no carter. Ao mesmo tempo que penetra na câmara de combustão para ser queimada, promove uma lavagem desta, ajudando a empurrar para fora os gases queimados do ciclo anterior.

A mistura é então comprimida, queimada, etc. e repete-se o ciclo.

A mistura pode ser comprimida ou pelo carter, como é o caso da figura, ou então por um compressor externo acionado pelo próprio motor.

Esse fenômeno de lavagem (scavenging) é muito importante e será estudado mais tarde.

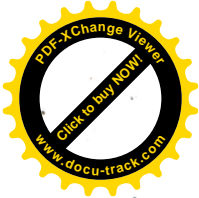
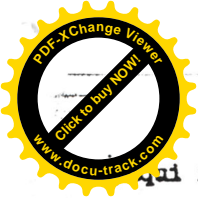
Cumpra, porém, dizer agora que uma parte da mistura é perdida quando se faz a lavagem da câmara de combustão. É esse um fator que depõe contra o motor de 2T a explosão, mas não é tão importante num diesel 2T, pois o que se perde é o ar.

1.6) Diagramas (p,v) e (T,S) dos ciclos motores

Nos motores de combustão interna não existe ciclo propriamente dito, pois, entre outros motivos, se aspira ar e se expelle para a atmosfera gases em alta temperatura.

Todavia, para o estudo termodinâmico se admite a existência de um ciclo realizado por um gás perfeito. Admite-se, ainda, para todas as transformações, a reversibilidade perfeita e que o gás perfeito tenha c_p e c_v constantes em todo o campo de variação da temperatura.

No decorrer do curso, se eliminarão as suposições



quei introduzidas.

Um ciclo fundamental para o estudo dos motores é o ciclo Otto representado nas figs. 1.5 e 1.6.

1-2 - compressão: trabalho realizado =

$$= \int_1^2 p dv$$

2-3 - aquecimento do ar a volume constante (teóricamente): calor fornecido = Q

3-4 - expansão: trabalho

$$= \int_3^4 p dv$$

4-1 - escapamento: calor cedido = Q₀

1-2 e 3-4 são adiabáticas.

2-3 e 4-1 são isocóricas.

Trabalho obtido L = área 12341.

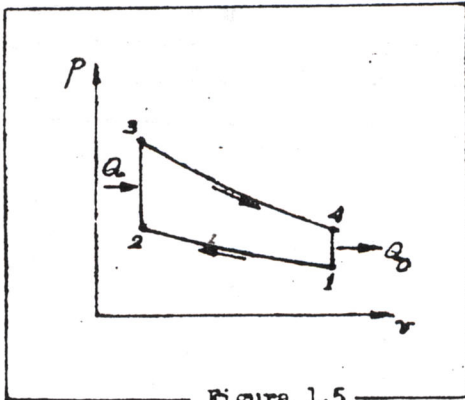


Figura 1.5

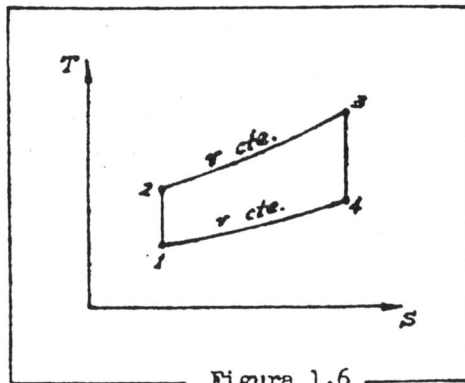


Figura 1.6

A área dentro do ciclo no diagrama TS é o calor transformado em trabalho pelo motor.

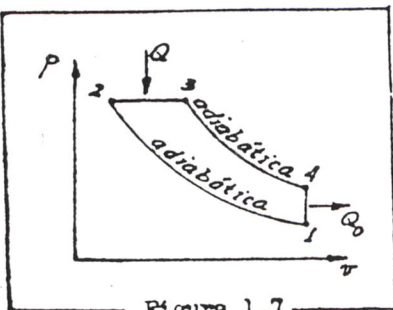


Figura 1.7

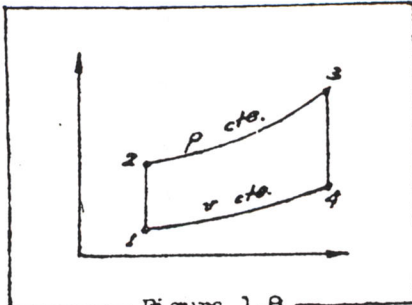
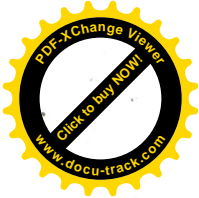
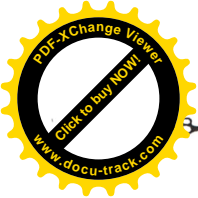


Figura 1.8



Os diagramas $p-v$ e $T-S$ de um motor diesel, tal como foi imaginado pelo inventor, isto é, com combustão a pressão constante estão representados nas figuras 1.7 e 1.8.

Atualmente, na verdade, o motor diesel tem uma combustão que se dá parte a volume constante e parte a pressão constantes (figs. 1.9 e 1.10).

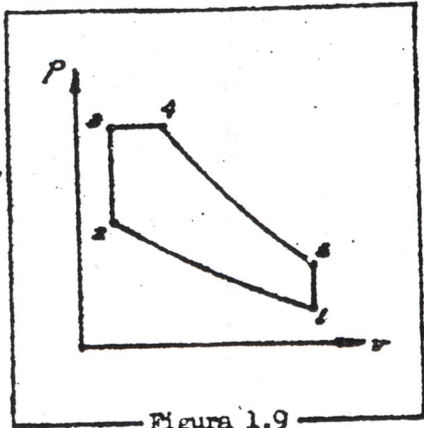


Figura 1.9

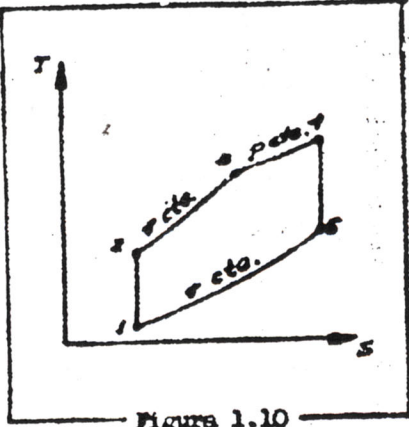


Figura 1.10
