

Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel

Fernando Lang da Silveira
Instituto de Física da UFRGS
lang@if.ufrgs.br

As máquinas à combustão interna do tipo Otto e Diesel, inventadas no final do século XIX, são compostas de no mínimo um cilindro, contendo um êmbolo móvel (pistão) e diversas peças móveis. A figura 1 é uma representação esquemática e simplificada das partes principais de uma máquina Otto (ou Diesel).

A figura 2 apresenta os quatro tempos de uma máquina térmica do tipo Otto. [A característica fundamental das máquinas Otto](#) é a de na *admissão* (1º tempo) aspirarem uma mistura gasosa de ar e combustível (gasolina, álcool, gás e outro combustível).

Uma simulação de uma máquina de Otto pode ser encontrada em <http://cref.if.ufrgs.br/~leila/motor4t.htm>.

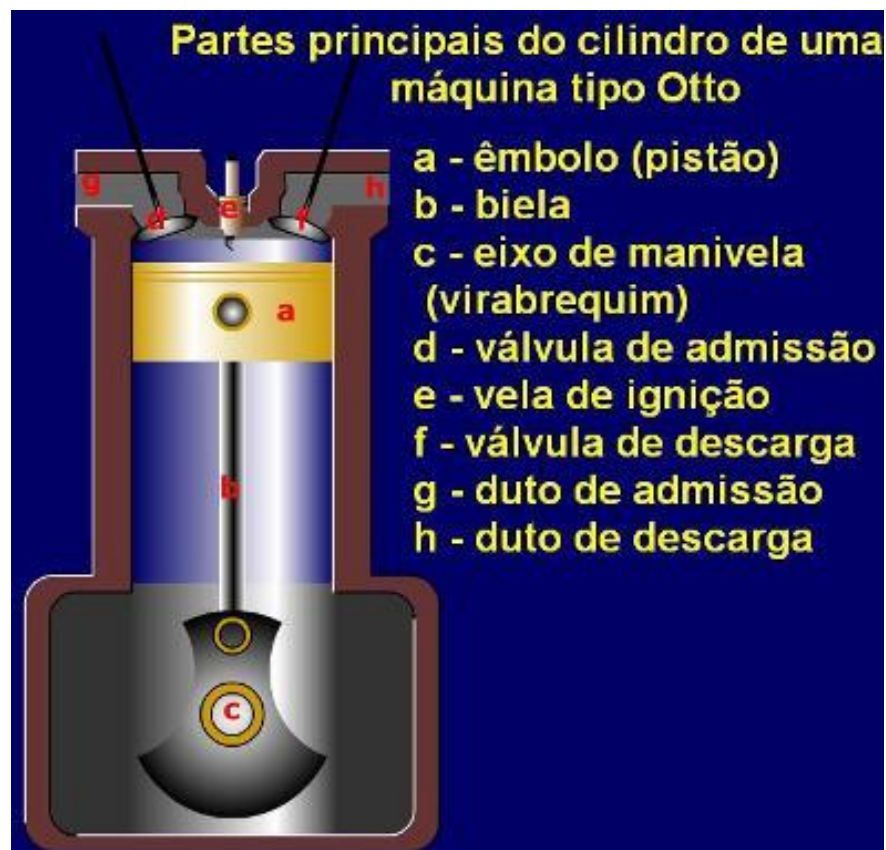


Figura 1 – Partes principais de uma máquina térmica à combustão interna.

Depois que o cilindro está cheio com esta mistura, a válvula de admissão, que estava aberta durante o 1º tempo, fecha-se; então a mistura de ar e combustível sofre a compressão (2º tempo). A seguir uma centelha elétrica na vela de ignição deflagra a explosão e, conseqüentemente, a expansão (3º tempo) da mistura gasosa. Finalmente a válvula de escape abre-se, ocorrendo simultaneamente a descarga da mistura gasosa para a atmosfera e a exaustão do restante dos gases queimados (4º tempo).

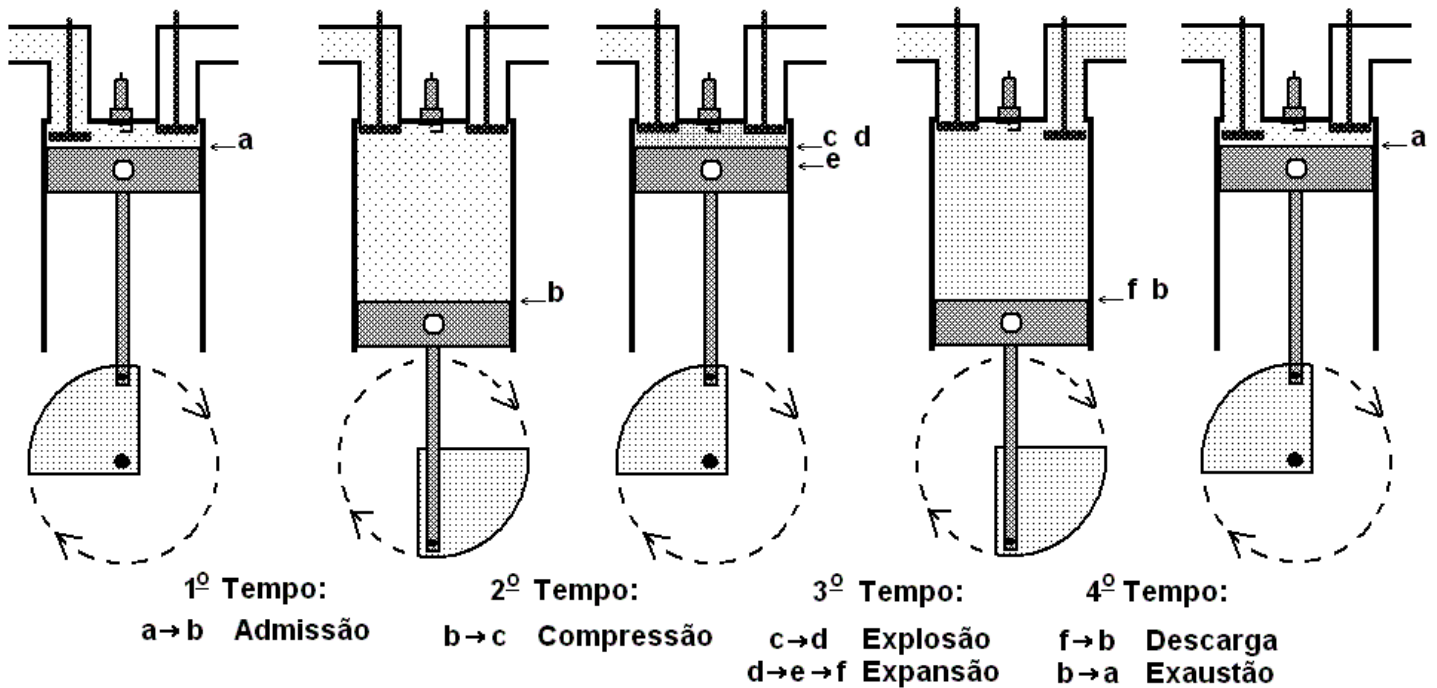


Figura 2 – Corte de um motor do tipo Otto.

As máquinas do tipo Diesel diferem das máquinas do tipo Otto por, no 1º tempo, admitirem apenas ar. O ar é então comprimido durante o 2º tempo e, como neste processo ainda não há combustível, é possível se atingir uma taxa de compressão (razão entre o máximo volume admitido pelo volume mínimo no início da admissão) mais elevada – entre 16:1 e 20:1 – do que nas máquinas do tipo Otto¹. Quando, no início do 3º tempo, o ar está maximamente comprimido e à alta temperatura (de 600 a 750 K), uma bomba injetora (posicionada no lugar da vela de ignição da figura 1) vaporiza combustível (usualmente óleo diesel) para dentro do cilindro, ocorrendo a combustão

¹ – As máquinas Otto operam com taxa de compressão compreendida entre 6:1 e 12:1. Uma taxa de compressão da ordem de 12:1 requer a utilização de combustível com maior poder antidetonante; as gasolinas especiais, de alta octanagem (alto teor de octano), se caracterizam por resistirem, sem pré-ignição, a tal taxa. Se uma taxa de compressão tão elevada quanto as que ocorrem em máquinas Diesel (16:1 a 20:1) fosse implementada sobre uma mistura gasosa de ar e combustível, desencadearia a indesejada combustão espontânea (pré-ignição) antes de ocorrer a centelha elétrica na vela de ignição, devido a um aumento excessivo da temperatura durante a compressão. É importante destacar também que a diferença entre a gasolina comum e a de alta octanagem está no seu poder antidetonante e não na energia liberada durante a combustão; ambas as gasolinas liberam cerca de 45 kJ quando ocorre a combustão completa de 1 g de cada uma delas.

espontânea (*explosão*) e a *expansão* dos gases. Finalmente ocorre o 4º tempo, durante o qual os gases são expulsos do cilindro.

O ciclo ideal que mais se aproxima do que efetivamente ocorre em máquinas do tipo Otto ou Diesel é o *ciclo composto Otto–Diesel*, representado na figura 3 através de um diagrama pressão versus volume. As linhas curvas representam transformações *adiabáticas*.

Além da *taxa de compressão* (representada na figura 3 pelo parâmetro ϵ) diferir entre as máquinas de Otto e Diesel, há também diferenças nos outros dois parâmetros – λ e ρ – apresentados na figura 3.

O parâmetro λ expressa em que proporção a pressão aumenta durante a *explosão* da mistura gasosa. Este crescimento é maior na máquina Otto, pois conforme já notado, a *explosão* é deflagrada por uma centelha elétrica na vela de ignição. Ocorre então um brusco aumento da pressão, praticamente sem variação de volume, que chega a triplicá-la; isto é, λ é aproximadamente igual a 3 na máquina Otto. Já na máquina de Diesel, a *explosão* se dá concomitantemente à introdução de combustível no cilindro (lembramos que nesta máquina apenas o ar foi comprimido), determinando que a pressão, sem variar o volume, não cresça muito. Assim, λ é aproximadamente igual a 1,3 para a máquina Diesel.

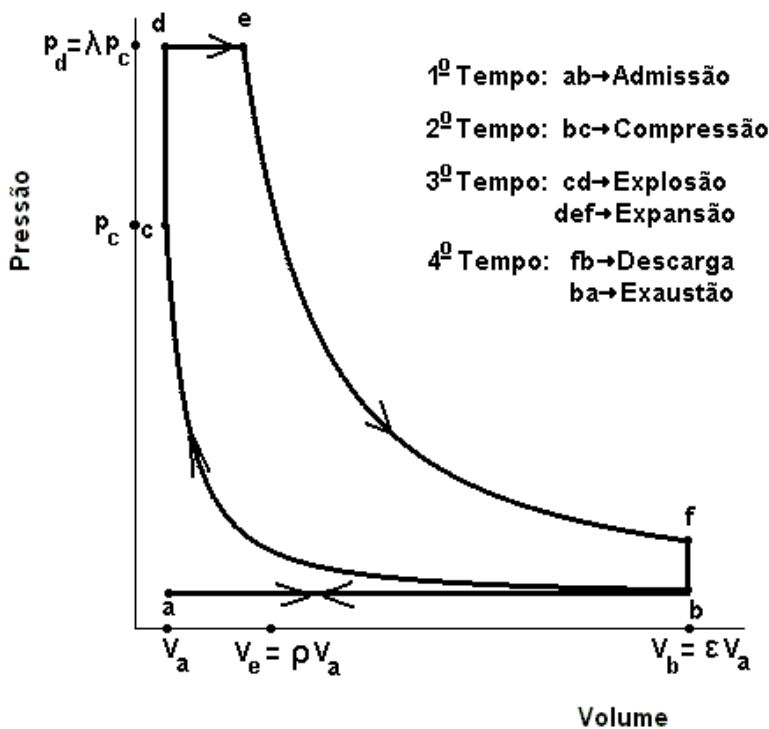


Figura 3 – Ciclo ideal composto Otto-Diesel.

O parâmetro ρ expressa o crescimento do volume, sem variar a pressão, até que todo o combustível foi queimado (final da *combustão*). Na máquina Otto este crescimento é ordem de 1,3. Na máquina Diesel, como a injeção de combustível não se dá instantaneamente, o gás se expande isobaricamente por cerca de 4 vezes o seu volume inicial. Desta forma, o parâmetro ρ é cerca de 1,3 na máquina Otto e cerca de 3,5 na máquina Diesel.

A figura 4 permite que se comparem os ciclos das máquinas de Otto e Diesel; ambos com o mesmo volume máximo, em um diagrama pressão versus volume. Esta figura representa o ciclo uma máquina Otto com *taxa de compressão* de 8:1 e o ciclo de uma máquina Diesel com *taxa de compressão* de 18:1, ambos com o mesmo volume máximo e utilizando um gás diatômico. A área no interior do ciclo representa o *trabalho* fornecido pela máquina em um ciclo completo.

É importante notar que no final da *compressão*, a máquina Diesel atinge uma pressão quase três vezes maior do que a pressão na mesma etapa de uma máquina Otto. Isto se deve à *taxa de compressão* mais elevada na primeira máquina do que na segunda. Da mesma forma a temperatura no final da *compressão* é maior na máquina Diesel (de 750 K a 900K) do que na máquina Otto (de 600 a 750 K).

Pode-se demonstrar que o *rendimento* (η) do ciclo composto é dado por

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \frac{\lambda \rho^\gamma - 1}{\lambda - 1 + \gamma \lambda (\rho - 1)} \quad (1)$$

onde γ é a razão entre a *capacidade térmica molar à pressão constante* pela *capacidade térmica molar à volume constante* do gás utilizado no ciclo termodinâmico.

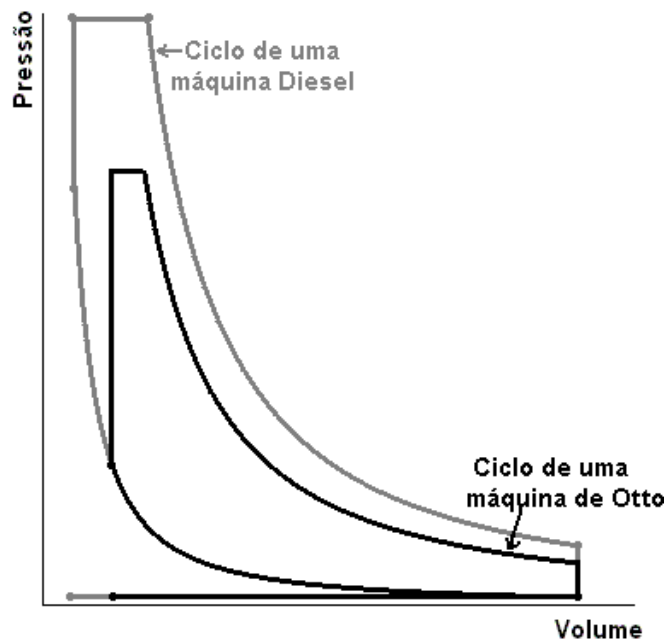


Figura 4 – Comparação entre os ciclos das máquinas de Otto e de Diesel.

A equação 1 implica que, mantido todos os parâmetros constantes, exceto a *taxa de compressão* (ϵ), o *rendimento* aumenta. Entretanto, se calculamos os *rendimentos* da máquina de Otto e Diesel utilizando os parâmetros típicos apresentados anteriormente, encontramos *rendimentos* semelhantes, entre 50% e 60% para ambas (note-se que as duas máquinas não diferem apenas na *taxa de compressão*).

O *rendimento real* das máquinas Otto é um pouco inferior ao das máquinas Diesel, situando-se entre 22% a 30% para as primeiras e entre 30% a 38% para as segundas.

Demonstra-se também que o *trabalho* no ciclo, mantido os demais parâmetros constantes, cresce quando aumenta a *taxa de compressão* e quando aumenta o produto da pressão pelo volume² no final da *admissão* (1º tempo). Desta forma, é desejável implementar a *taxa de compressão* e o tamanho dos motores, caso se deseje obter mais *trabalho* e, no mesmo intervalo de tempo, mais *potência*³. Outra maneira de aumentar o *trabalho* no ciclo é por aumentar a pressão no final da *admissão* (1º tempo). Neste momento a pressão é um pouco menor do que a pressão externa (pressão atmosférica); um compressor colocado antes da *válvula de admissão* providencia para que a pressão no final da *admissão* seja maior, conseqüentemente determinando que o motor tenha aspirado uma quantidade maior de ar (motor Diesel) ou de ar e combustível (motor Otto).

Para outras informações sobre motores e afins consulte as postagens do [Centro de Referência para o Ensino de Física](#):

[O torque máximo sempre ocorre em uma frequência de rotação mais baixa do que a da potência máxima em um motor?](#)

[Rendimento dos motores dos automóveis e a máquina de Carnot](#)

[Consumo de um carro 2,0 L pode ser menor do que de um carro 1,0 L?](#)

[Cilindrada, rotação, taxa de compressão e potência do motor](#)

[Motor Otto e motor Diesel: qual é a diferença?](#)

² – O volume no final da *admissão* (volume máximo) está relacionado com uma informação importante sobre a máquina: a sua *cilindrada*. A maioria dos automóveis tem tal informação bem à vista e usualmente é expressa em litros (por exemplo 1,8, entenda-se 1,8 l). Se o motor possui diversos cilindros (como ocorre nos automóveis), a *cilindrada* está relacionado ao produto do número de cilindros pelo volume máximo de qualquer um deles.

³ – Como a *potência* é a *taxa de variação do trabalho*, a *potência* desenvolvida por um motor é tanto maior quanto mais rapidamente o ciclo acontecer; a rapidez com a qual o ciclo é efetuado depende da frequência de rotação do motor. Portanto, uma forma de aumentar a *potência* de um motor, mantido todo o resto constante, é aumentando a sua velocidade angular.

[Potência e torque dos motores de acordo com o curso dos cilindros](#)

[BMW lança carro com injeção de água!](#)

[Carro movido a água: milagre ou empulhação?](#)

Bibliografia

ARTOMNOV, M. D., ILARONOV, V. A. e MORIN, M. M. *Motor vehicles*. Moscou: MIR, 1976.

BOSCH *Manual de tecnologia automotiva*. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

SILVEIRA, F. L. Potência de tração de um veículo automotor que se movimenta com velocidade constante. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. 2011, vol.33, n.1, pp.01-07. ISSN 1806-1117.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172011000100004>.