

SEM0360

Fundamentos Termodinâmicos

AULA 11: Sistemas de Potência a Gás

Arthur V. S. Oliveira
(avs.oliveira@usp.br)

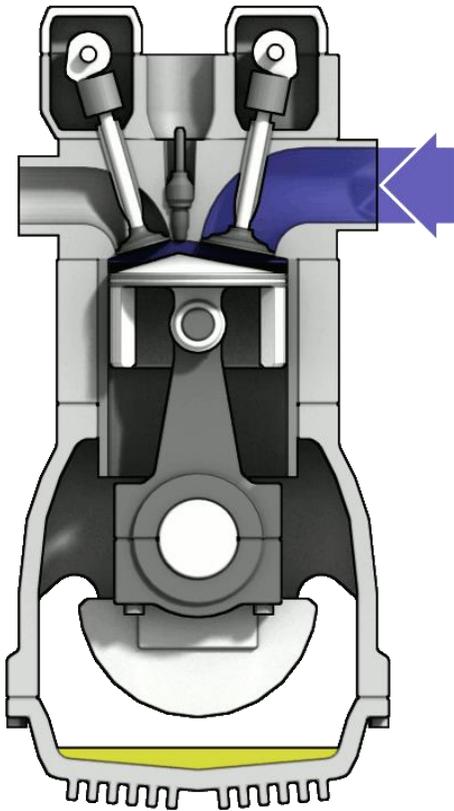


Aula de hoje

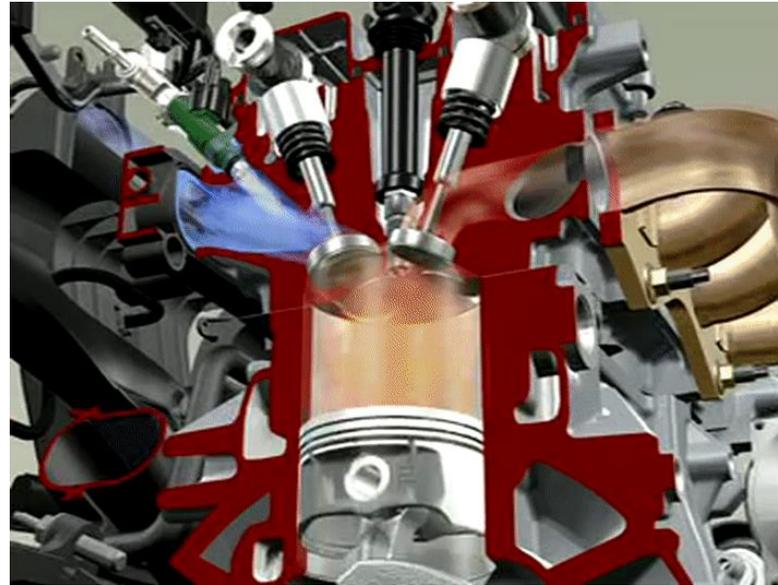
- Moran e Shapiro (8ª ed): Capítulo 9
- Çengel e Boles (7ª ed): Capítulo 9

Motor de combustão interna

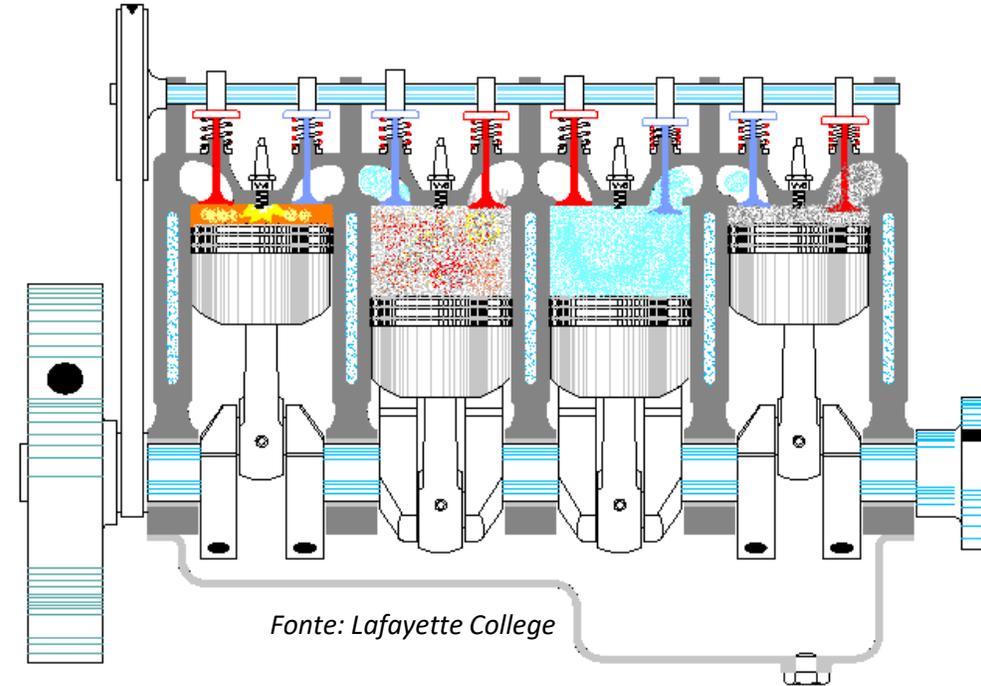
1



Fonte: Wikimedia



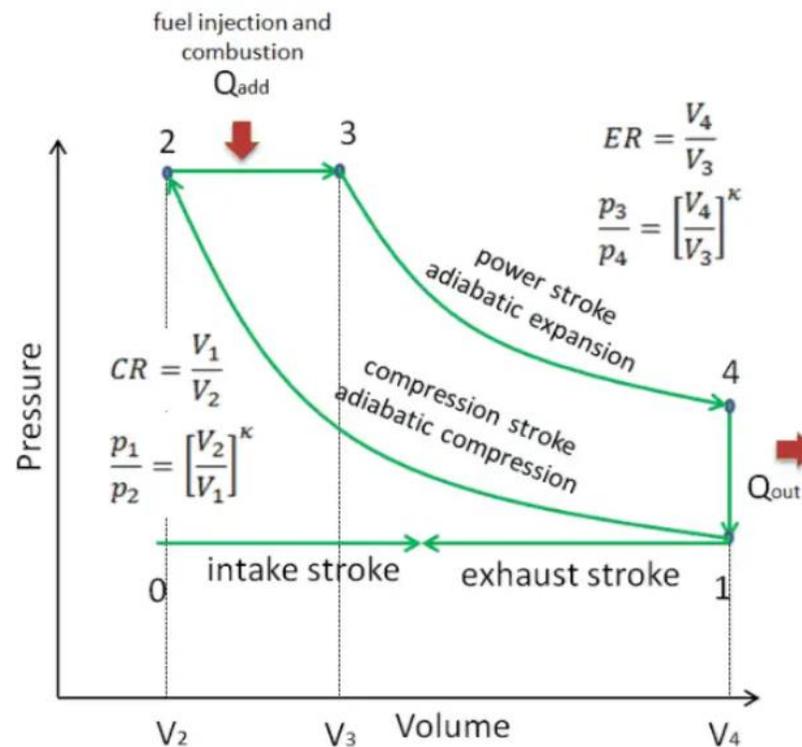
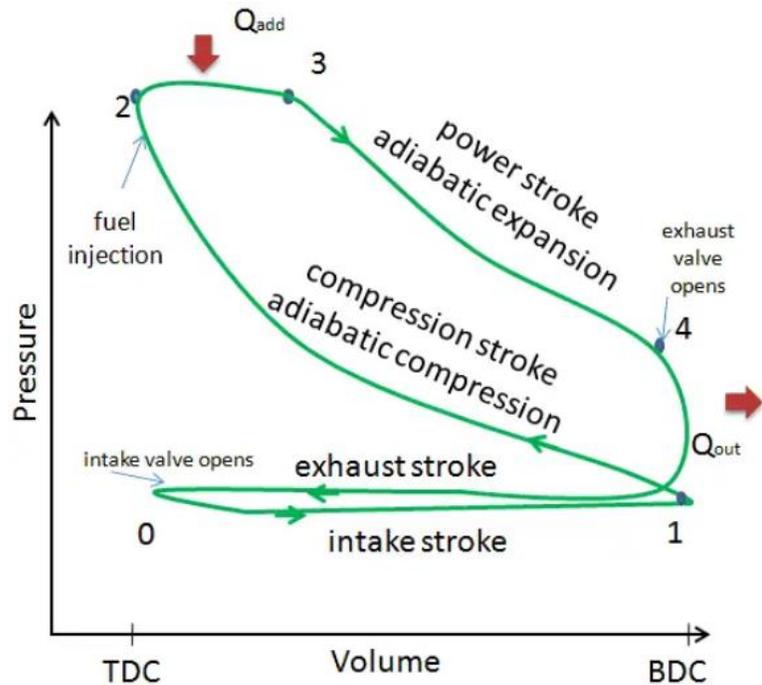
Fonte: Make a Gif



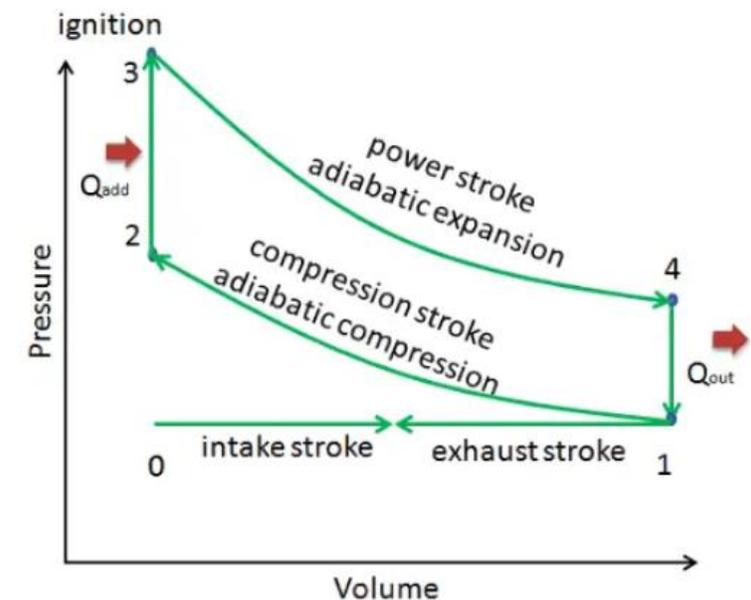
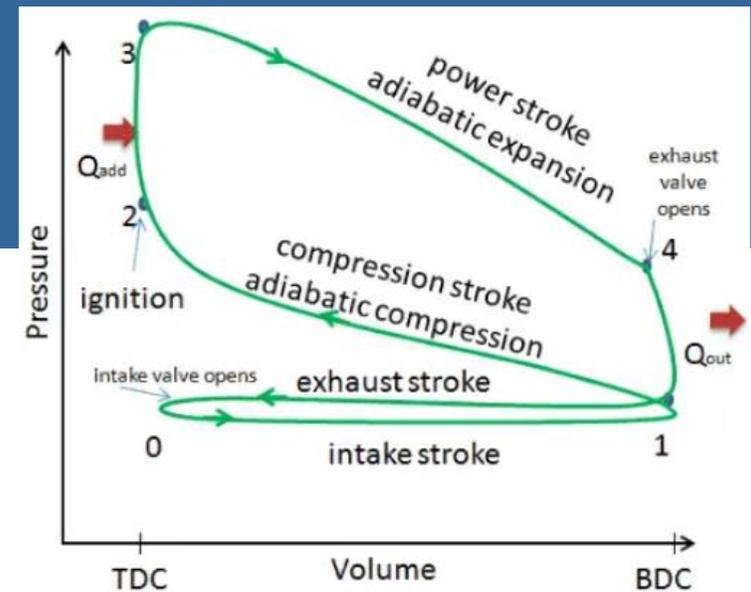
Fonte: Lafayette College

Motor de combustão interna

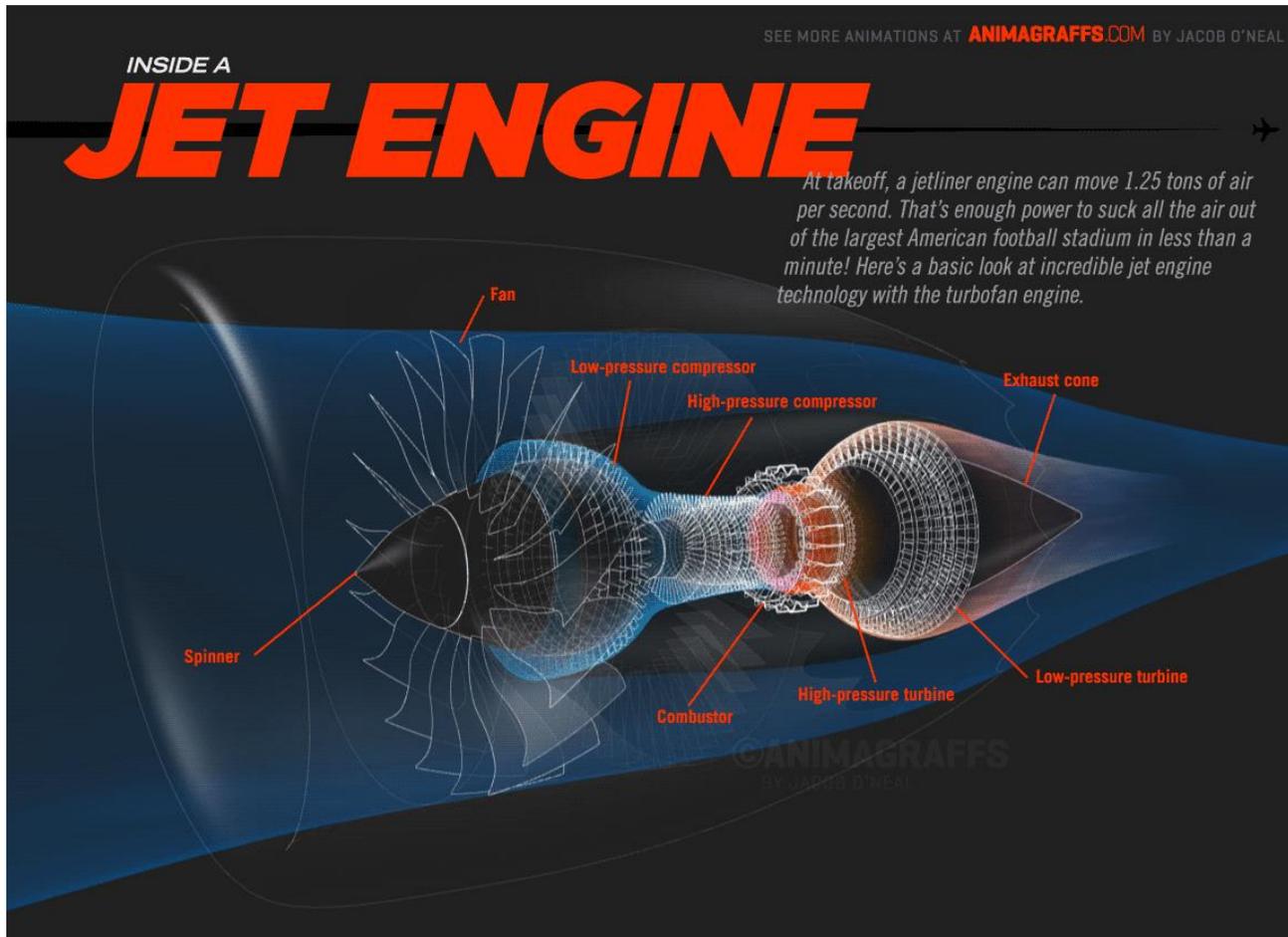
Real x Modelo



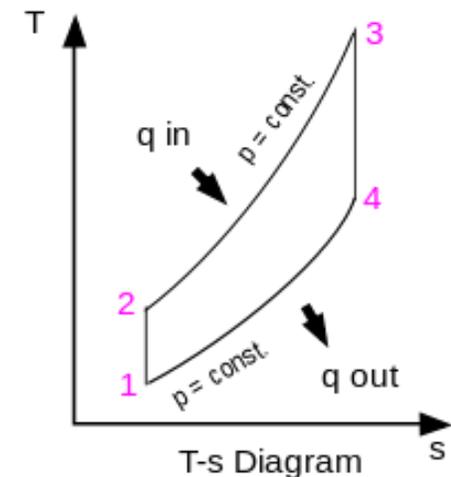
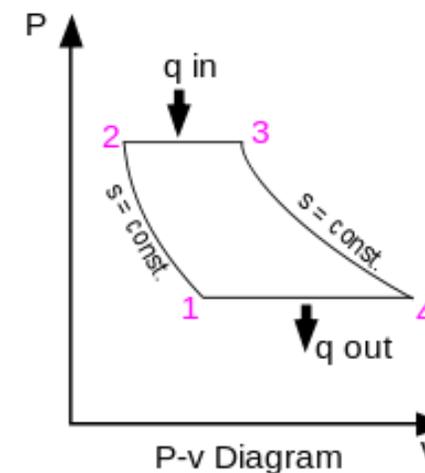
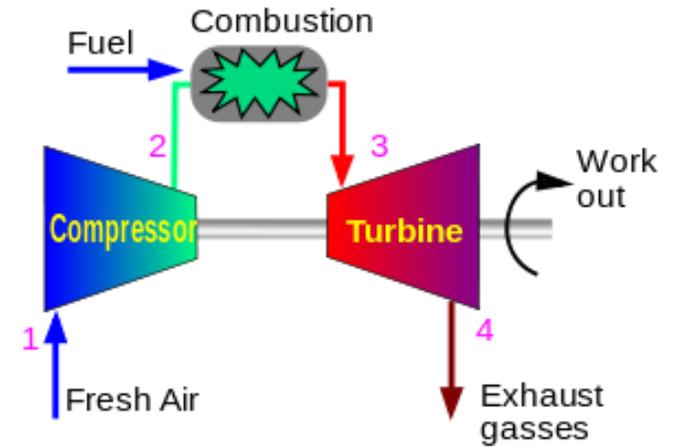
Fonte: Nuclear-Power.com



Turbina a jato



Fonte: Yahoo Autos



Fonte: Wikipedia

Análise ou Hipótese de Ar-Padrão

- Hipóteses adotadas:

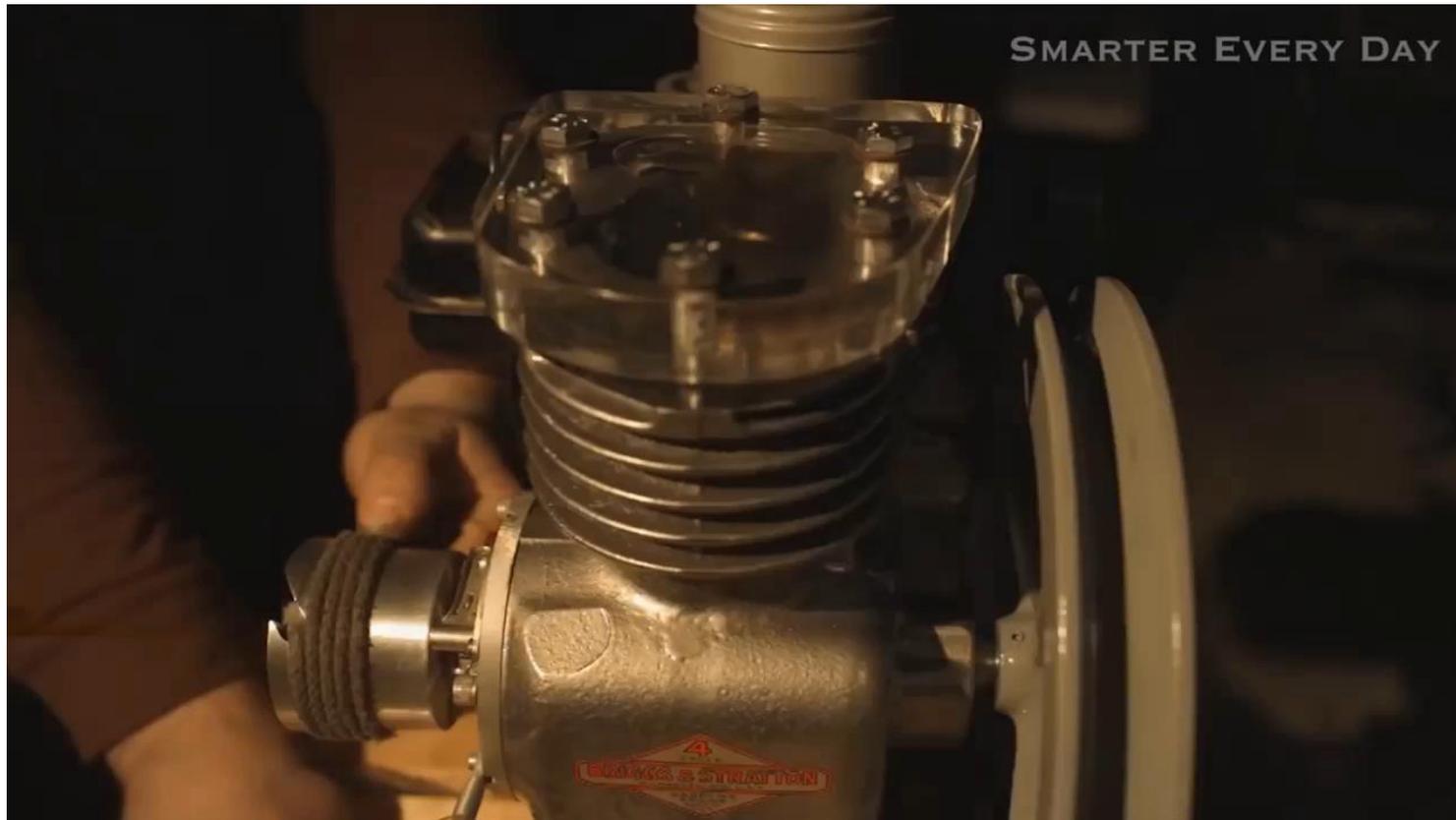
1. **Quantidade fixa de ar modelado como gás ideal**, que circula continuamente no ciclo;
2. **Combustão → Transferência de calor (adição)** por fonte externa
3. **Descarga e admissão → transferência de calor (rejeição)** para fonte externa, restaurando o fluido ao estado inicial
4. Todos os processos são **internamente reversíveis**

Principais ciclos Ar-Padrão

- **Ciclo Otto**
 - Motores de combustão interna de ignição por **centelha**
- **Ciclo Diesel**
 - Motores de combustão interna de ignição por **compressão**
- **Ciclo Brayton**
 - **Turbinas a jato**

Ignição de motores Otto e Diesel

Ignição por centelha



Fonte: Smarter Everyday

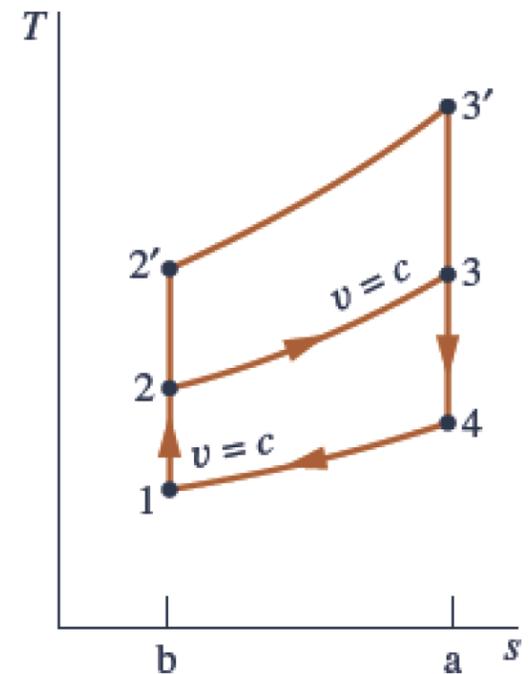
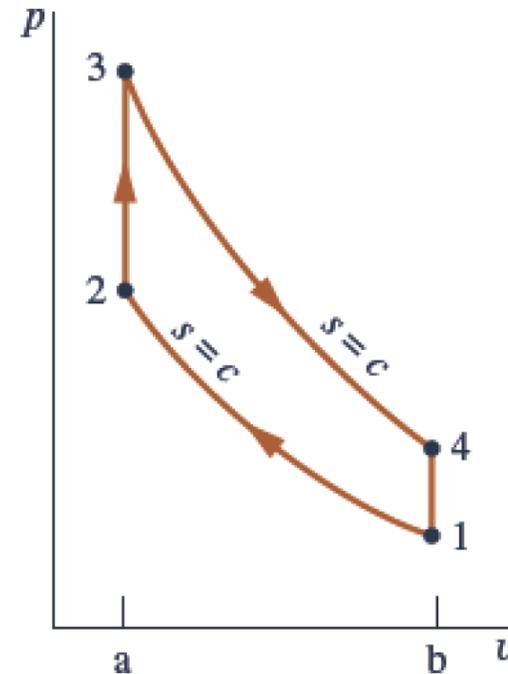
Ignição por compressão



Fonte: PartsPlaceInc

Ciclo Otto ideal

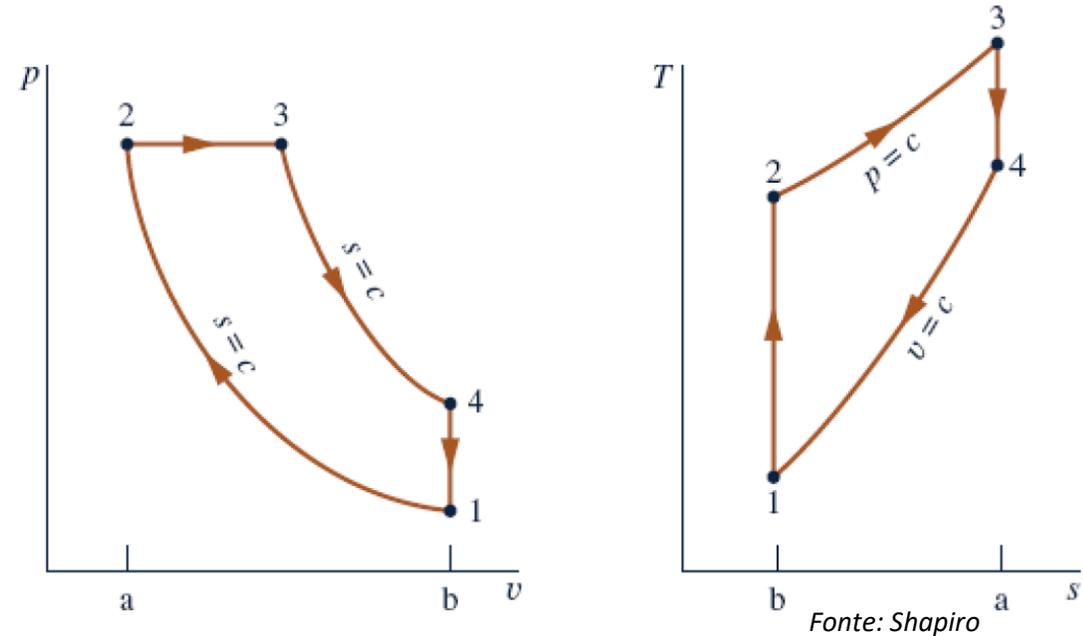
- Processos:
 - 1-2: compressão isentrópica (PMI \rightarrow PMS)
 - 2-3: adição de calor **isocórica**
 - 3-4: expansão isentrópica (PMS \rightarrow PMI), curso de potência
 - 4-1: rejeição de calor isocórica



Fonte: Shapiro

Ciclo Diesel ideal

- Processos:
 - 1-2: compressão isentrópica (PMI → PMS)
 - 2-3: adição de calor **isobárica** (parte do curso de potência)
 - 3-4: expansão isentrópica, outra parte do curso de potência
 - 4-1: rejeição de calor isocórica



- Atenção:

$$\frac{Q_{23}}{m} - \frac{W_{23}}{m} = u_3 - u_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{Q_{23}}{m} = u_3 - u_2 + p(v_3 - v_2) = h_3 - h_2$$

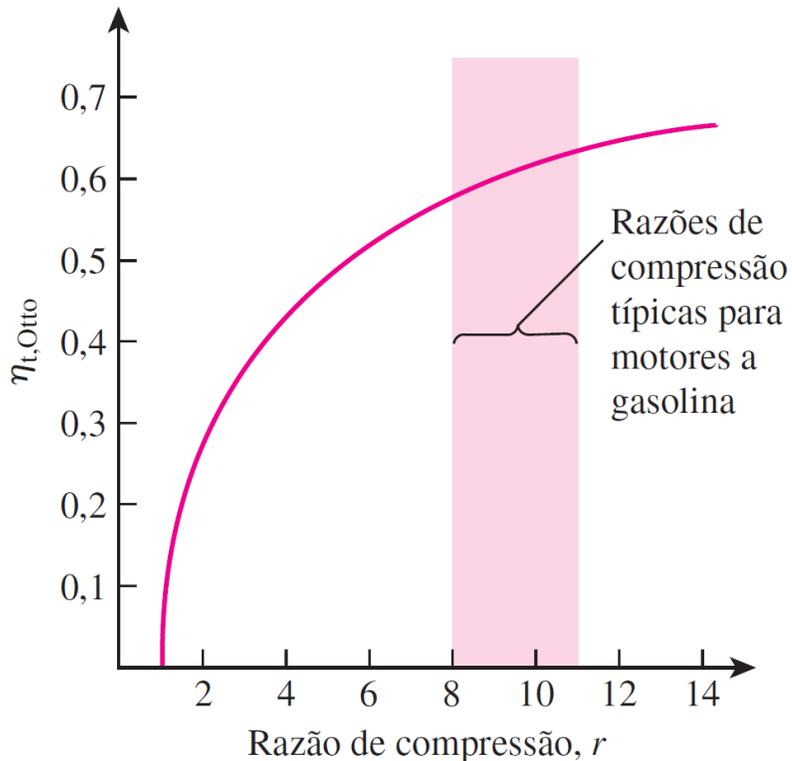
$$\eta = \frac{W_{ciclo}/m}{Q_{23}/m} = 1 - \frac{Q_{41}/m}{Q_{23}/m} = 1 - \frac{u_4 - u_1}{h_3 - h_2}$$

Seção 9.3 (Shapiro)

Efeito da taxa de compressão

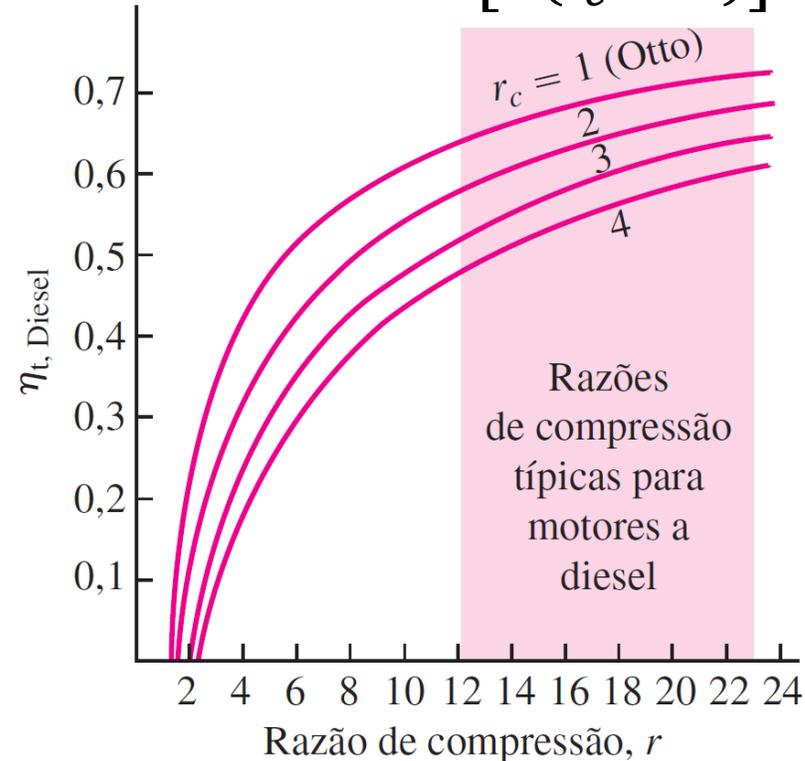
Ciclo Otto

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$



Ciclo Diesel

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$$



$$r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$r_c = \frac{V_3}{V_2} = \frac{v_3}{v_2}$$

Fonte: Çengel

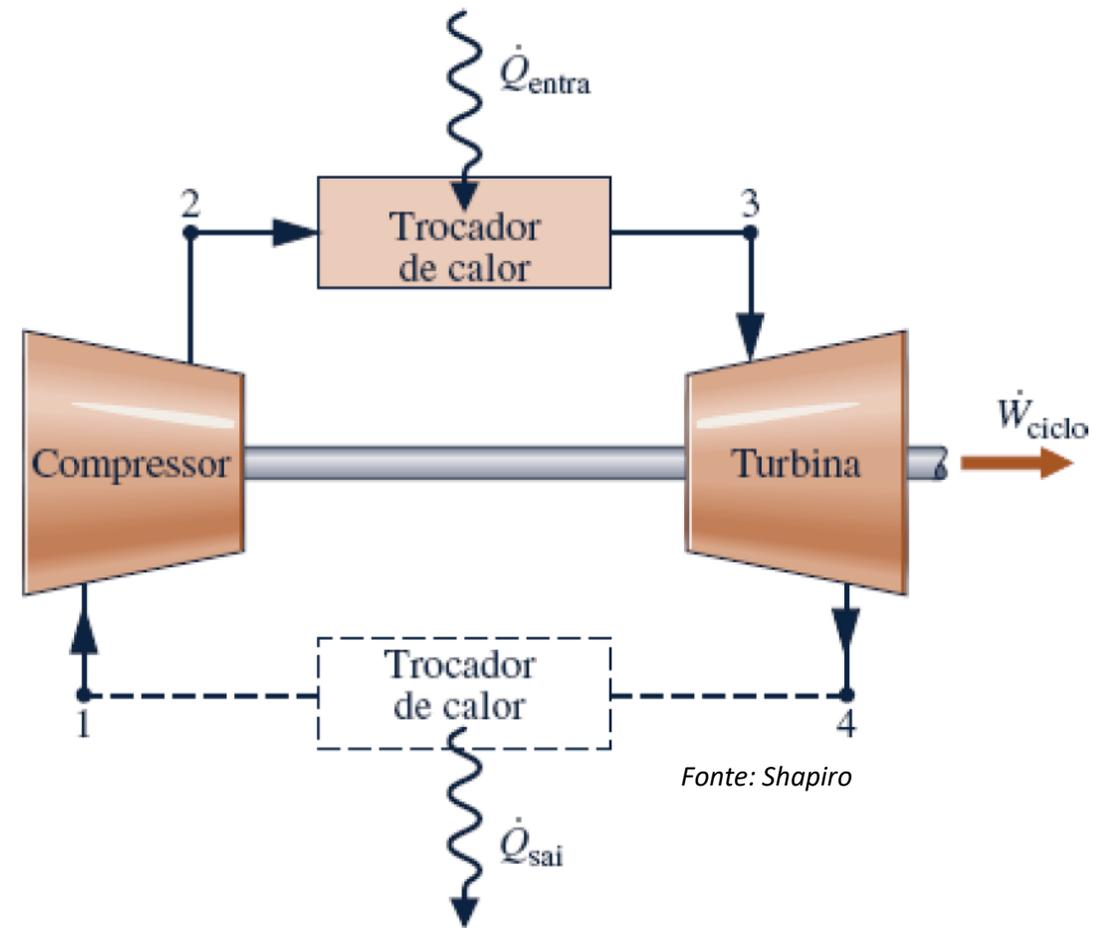
Turbinas a jato



Fonte: WarpedPerception

Ciclo Brayton ideal (turbina a gás)

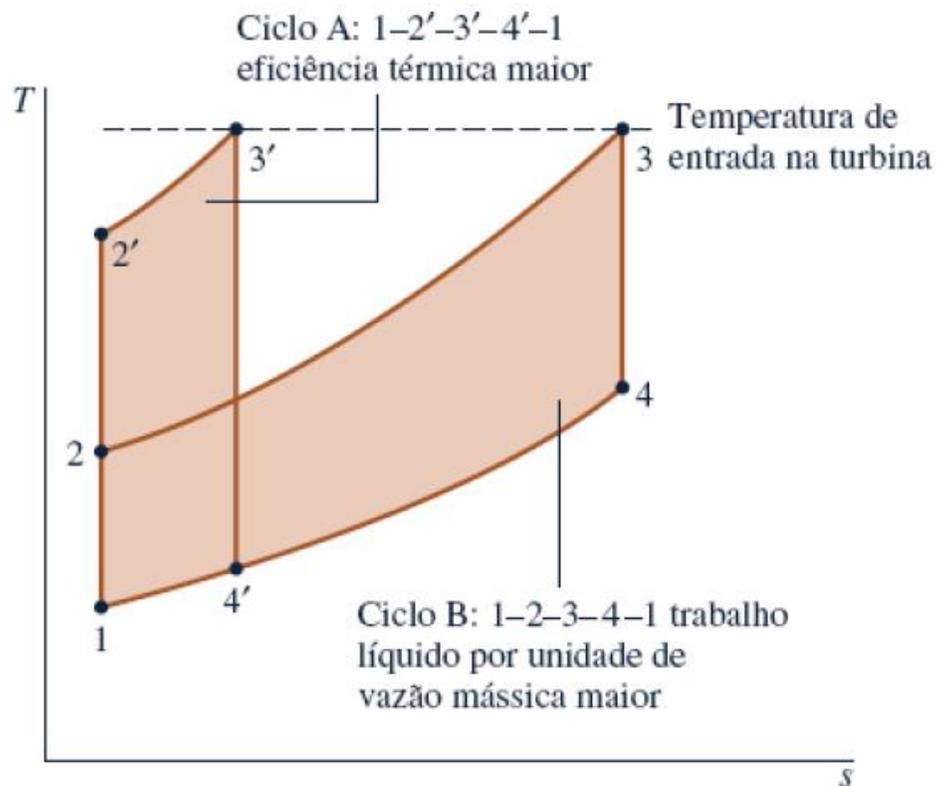
- Processos:
 - 1-2: compressão isentrópica, adição de potência
 - 2-3: adição de calor isobárica (**não há trabalho realizado**)
 - 3-4: expansão isentrópica, fornecimento de potência
 - 4-1: rejeição de calor **isobárica**



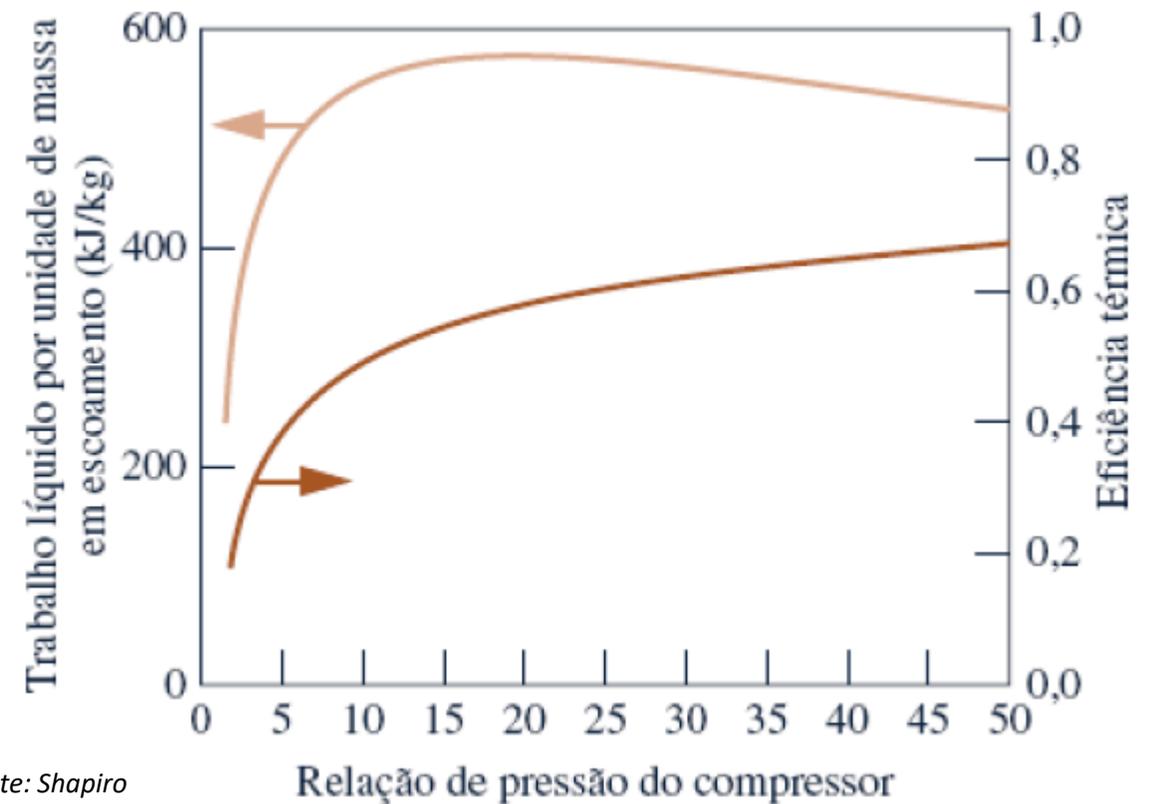
Fonte: Shapiro

Eficiência x Trabalho por unidade de massa

- Limitador comum: temperatura de entrada na turbina

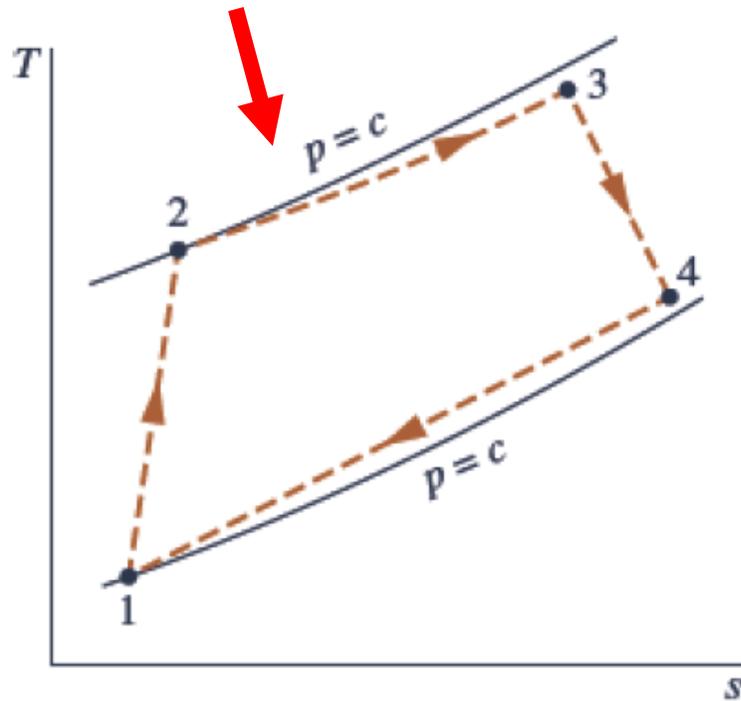


Fonte: Shapiro



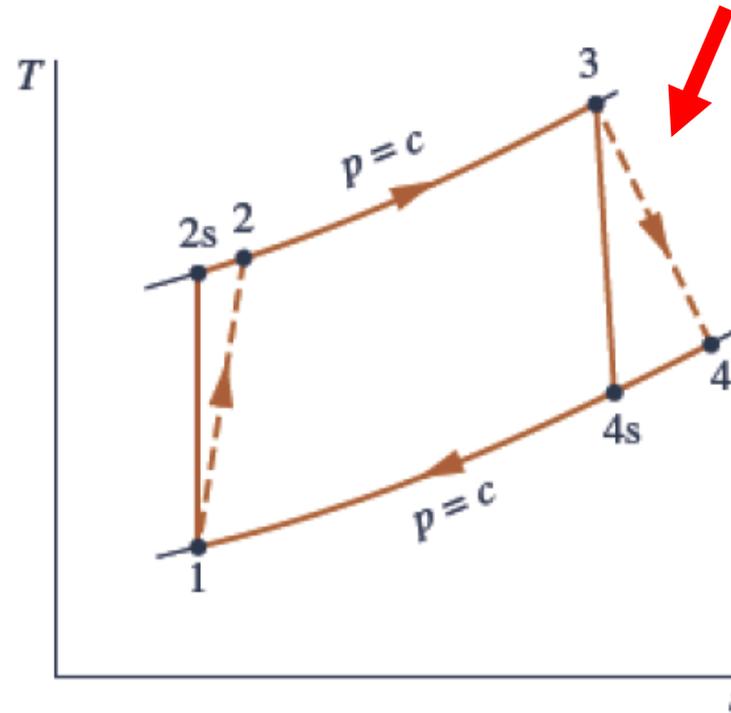
Irreversibilidades no ciclo Brayton

Menos usado



(a)

Mais comum



(b)

Fonte: Shapiro

**Veja exemplo
9.6 (Shapiro)**