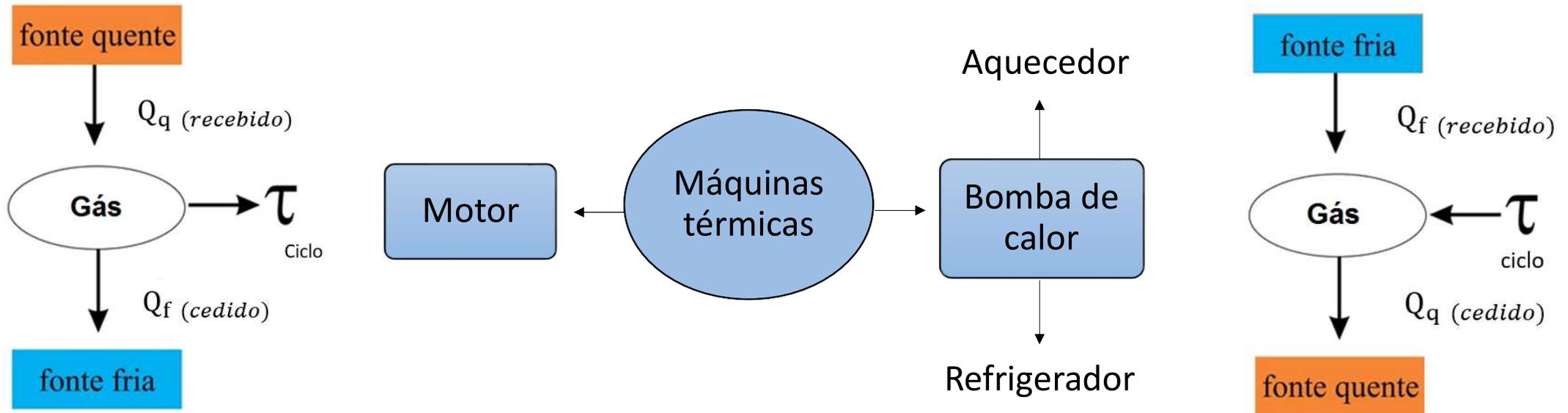


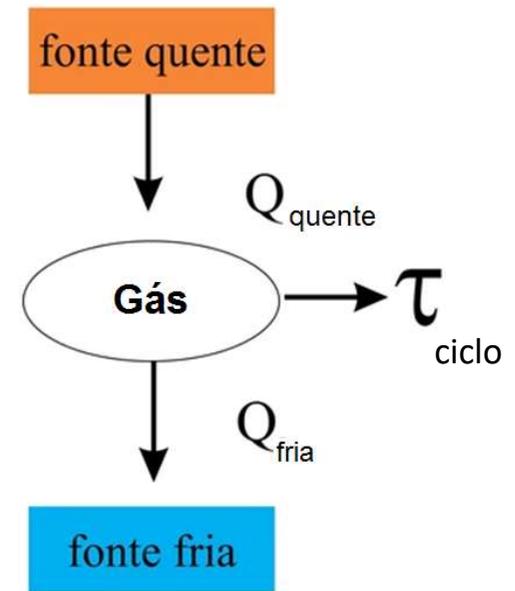
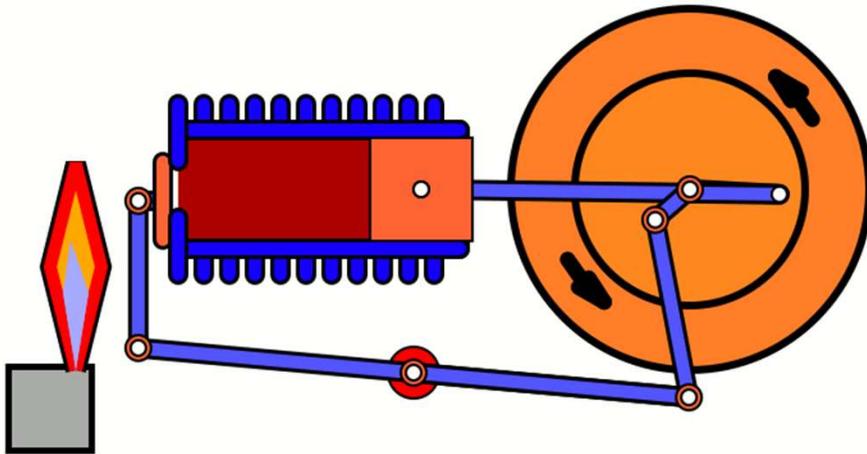
Termodinâmica e máquinas térmicas

Apresentação e demais documentos: fisicasp.com.br

1. Máquinas térmicas

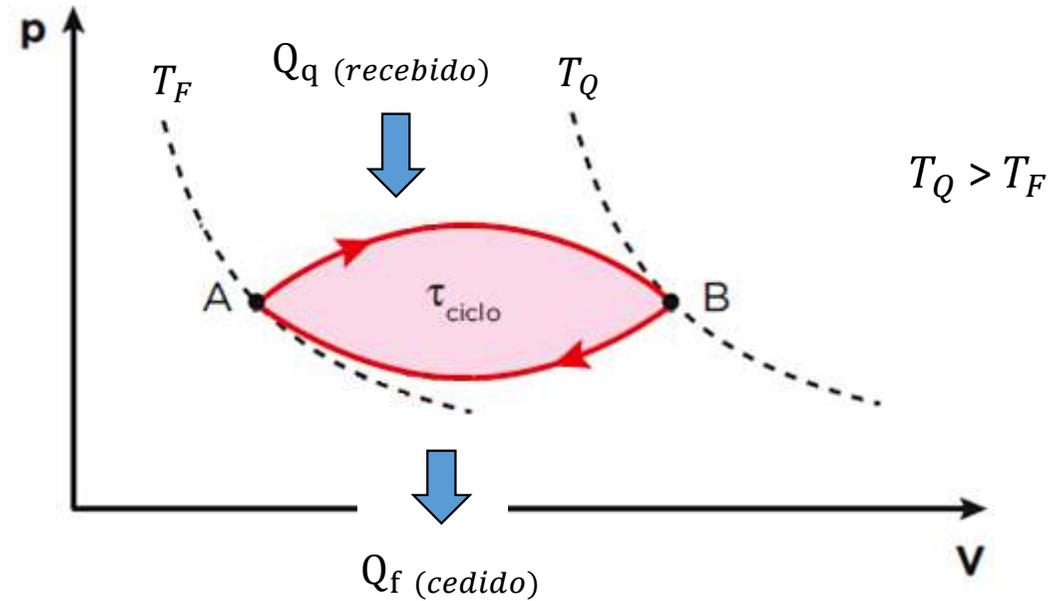
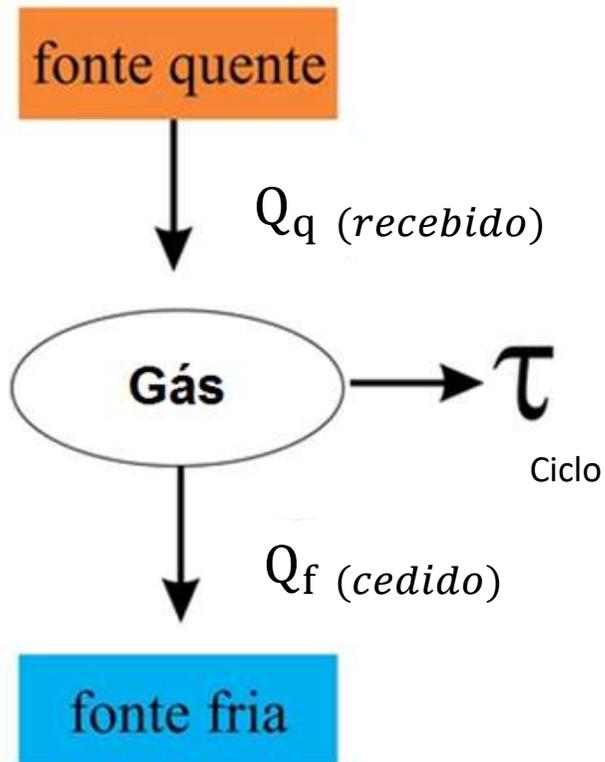


2. Motor



2. Motor

Conversão de parte da energia térmica em energia mecânica



- $\tau_{\text{ciclo}} = A$ e Ciclo no sentido horário $\rightarrow \tau > 0$

- $\Delta U_{\text{ciclo}} = 0$

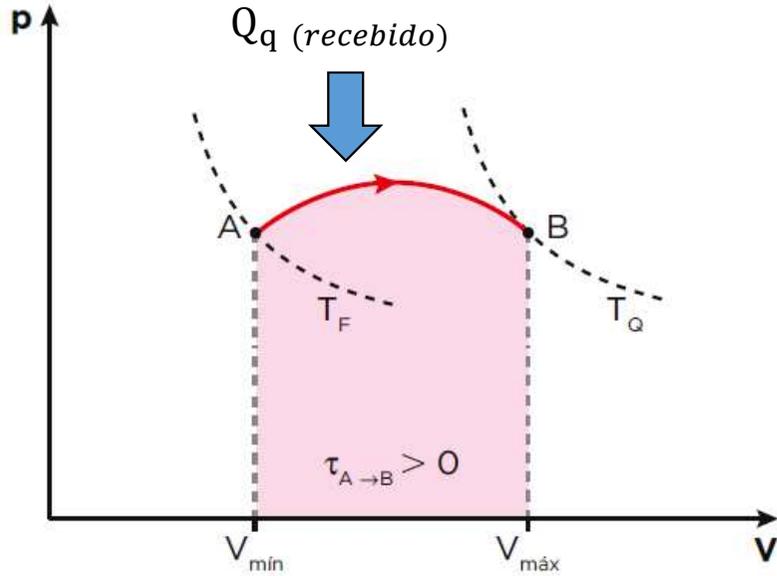
$$\cancel{\Delta U_{\text{ciclo}}} = 0 = Q_{\text{ciclo}} - \tau_{\text{ciclo}} \Rightarrow Q_{\text{ciclo}} = \tau_{\text{ciclo}}$$

2. Motor

$$Q_{\text{ciclo}} = Q_q (\text{recebido}) - |Q_f (\text{cedido})|$$

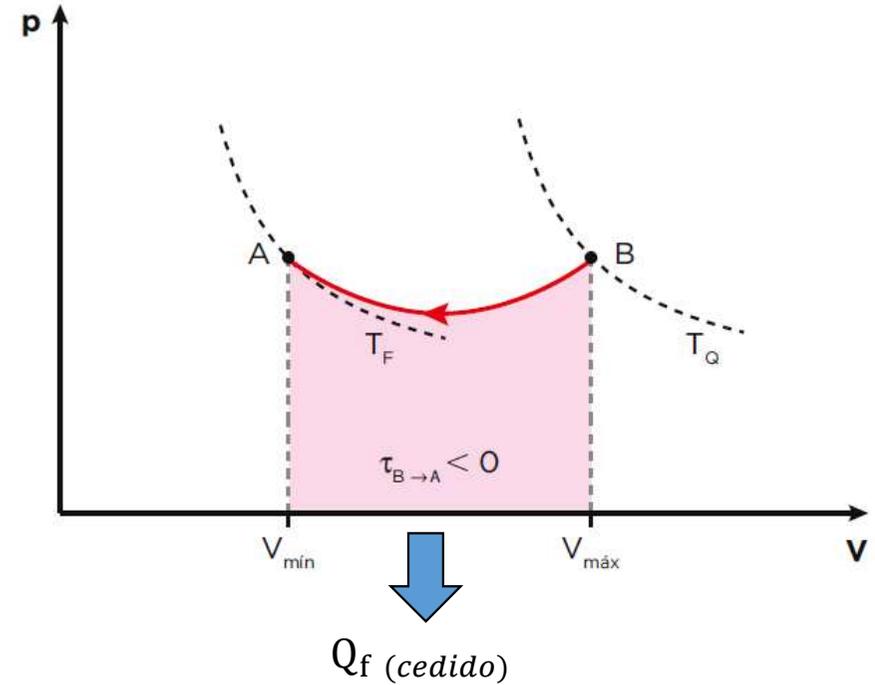
$$\tau_{\text{ciclo}} = \tau_{\text{expansão}} - |\tau_{\text{compressão}}|$$

Expansão



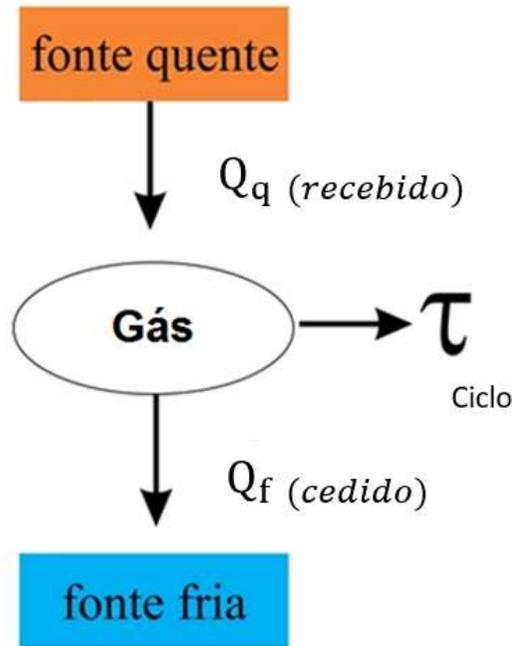
$$\left. \begin{array}{l} \Delta U_{AB} > 0 \\ \tau_{AB} > 0 \\ Q_{AB} > 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_{AB} = \Delta U_{AB} + \tau_{AB} \\ (+) = (+) + (+) \end{array}$$

Compressão



$$\left. \begin{array}{l} \Delta U_{BA} < 0 \\ \tau_{BA} < 0 \\ Q_{BA} < 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_{BA} = \Delta U_{BA} + \tau_{BA} \\ (-) = (-) + (-) \end{array}$$

2. Rendimento de um motor



- Avalia o percentual de calor absorvido pelo gás que é convertido em trabalho.

$$n = \frac{\tau_{\text{ciclo}}}{Q_q(\text{rec})} = \frac{Q_q(\text{rec}) - |Q_f(\text{ced})|}{Q_q(\text{rec})} = 1 - \frac{|Q_f(\text{ced})|}{Q_q(\text{rec})}$$

$$0 \leq n < 1(100\%)$$

$$Q_q(\text{rec}) = \tau_{\text{ciclo}} + |Q_f(\text{ced})|$$

$$\tau_{\text{ciclo}} = Q_q(\text{rec}) - |Q_f(\text{ced})|$$

- Não existe máquina com rendimento 100%, ou seja, não existe máquina que converta todo o calor absorvido em trabalho útil! Parte do calor sempre é cedido à fonte fria.

2. Rendimento de um motor

- Avalia o percentual de calor absorvido pelo gás que é convertido em trabalho.

$$Q_q (rec) = \tau_{ciclo} + |Q_f (ced)|$$

$$\tau_{ciclo} = Q_q (rec) - |Q_f (ced)|$$

$$n = \frac{\tau_{ciclo}}{Q_q (rec)} = \frac{Q_q (rec) - |Q_f (ced)|}{Q_q (rec)} = 1 - \frac{|Q_f (ced)|}{Q_q (rec)}$$

$$0 \leq n < 1(100\%)$$

- Não existe máquina com rendimento 100%, ou seja, não existe máquina que converta todo o calor absorvido em trabalho útil! Parte do calor sempre é cedido à fonte fria.

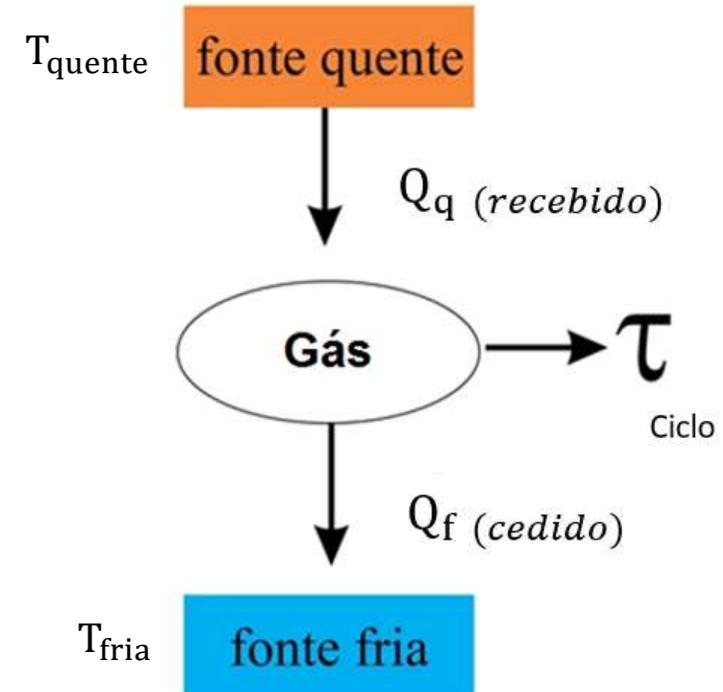
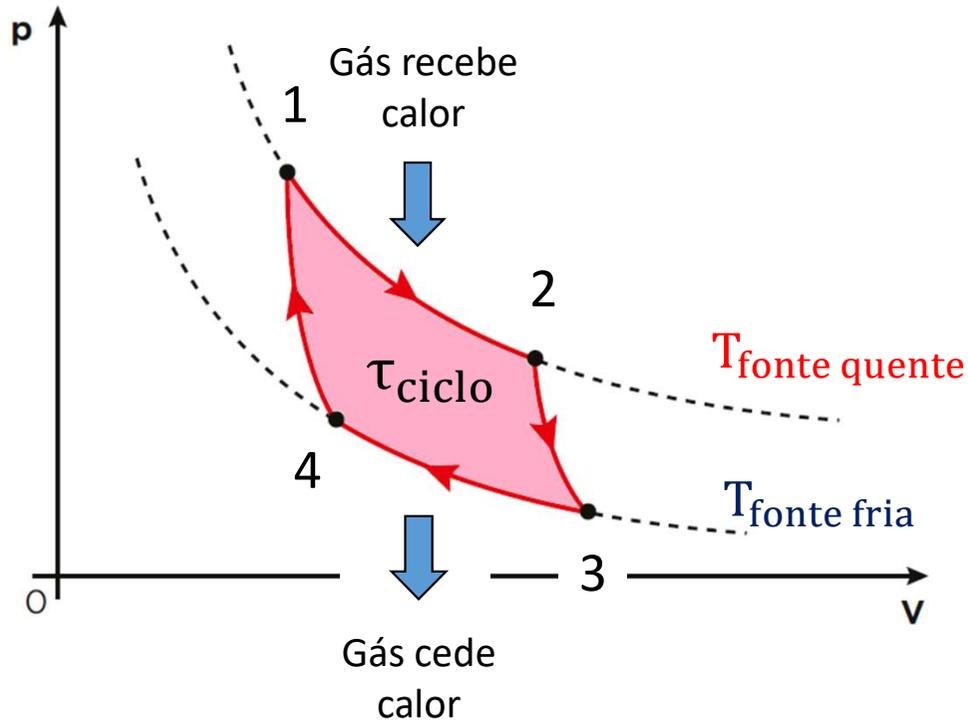
3. 2ª Lei da Termodinâmica

Enunciado de Kelvin-Planck

Não existe máquina térmica que tenha como único efeito receber energia térmica de uma fonte quente e convertê-la integralmente energia mecânica.

Interpretação: não existe um motor com rendimento 100%.

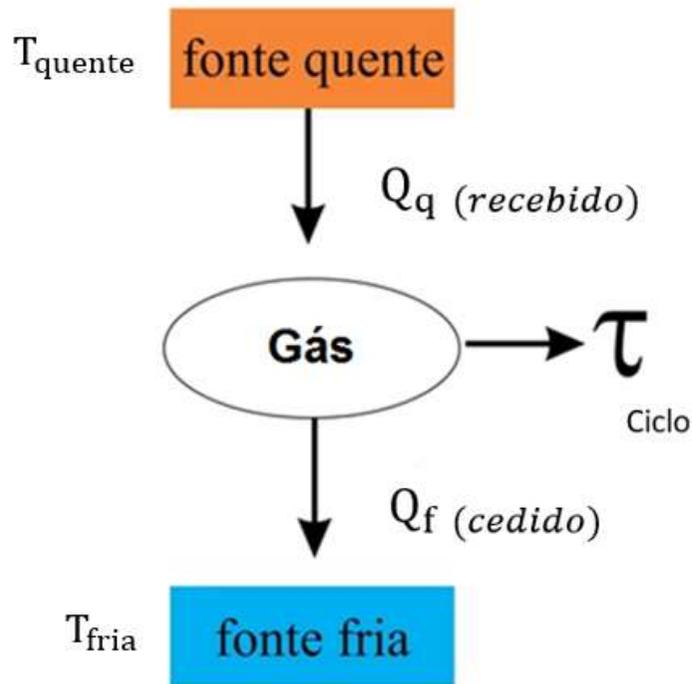
4. Motor – Ciclo de Carnot



- 1 → 2: expansão isotérmica
- 2 → 3: expansão adiabática
- 3 → 4: compressão isotérmica
- 4 → 1: compressão adiabática

- Ciclo de Carnot: máximo rendimento para uma máquina que opera entre duas temperaturas (T_{quente} e T_{fria}).
- Cuidado! Mesmo sendo máximo, o rendimento nunca será igual a 100%.

4. Motor – Ciclo de Carnot: rendimento



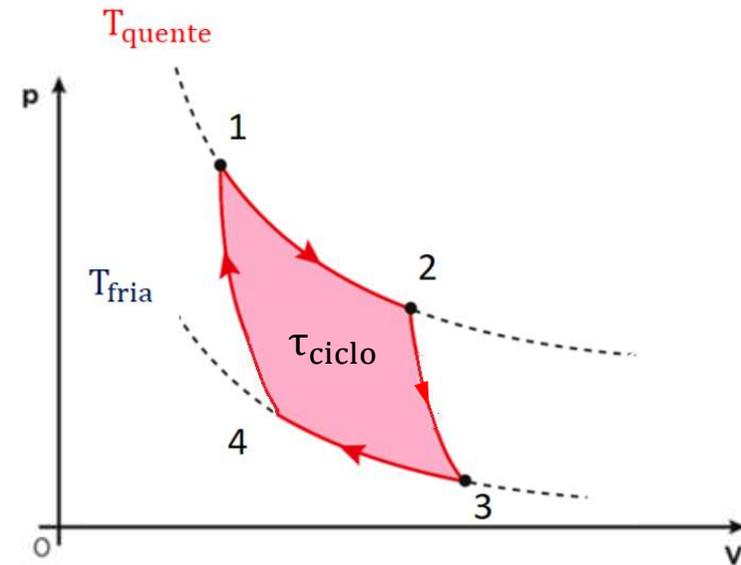
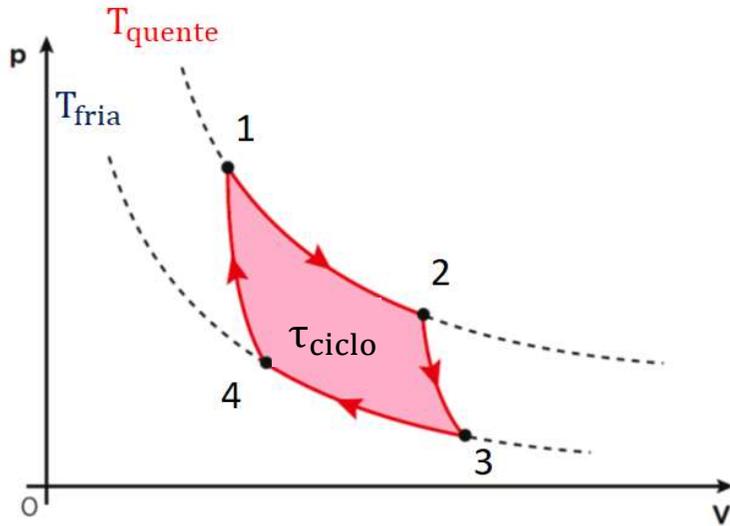
Expressões válidas para todos os casos de motores (inclusive para ciclo de Carnot)

Expressão válida apenas para o Ciclo de Carnot

$$\eta = \frac{\tau_{\text{ciclo}}}{Q_q} = \frac{Q_q - |Q_f|}{Q_q} = \frac{T_q - T_f}{T_q}$$

- As temperaturas das fontes fria e quente se mantêm constantes.
- Para os valores de temperatura utilizar a escala Kelvin.

4. Motor – Ciclo de Carnot: rendimento

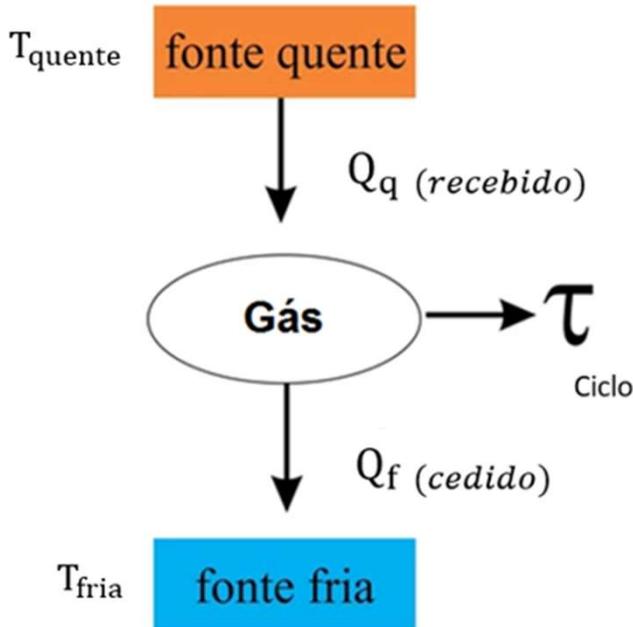


$$n \uparrow = \frac{\tau_{\text{ciclo}} \uparrow}{Q_q} = \frac{(T_q - T_f) \uparrow}{T_q}$$

3º Princípio da Termodinâmica

É impossível levar um sistema ao zero absoluto através de um número finito de operações.

Exemplo:

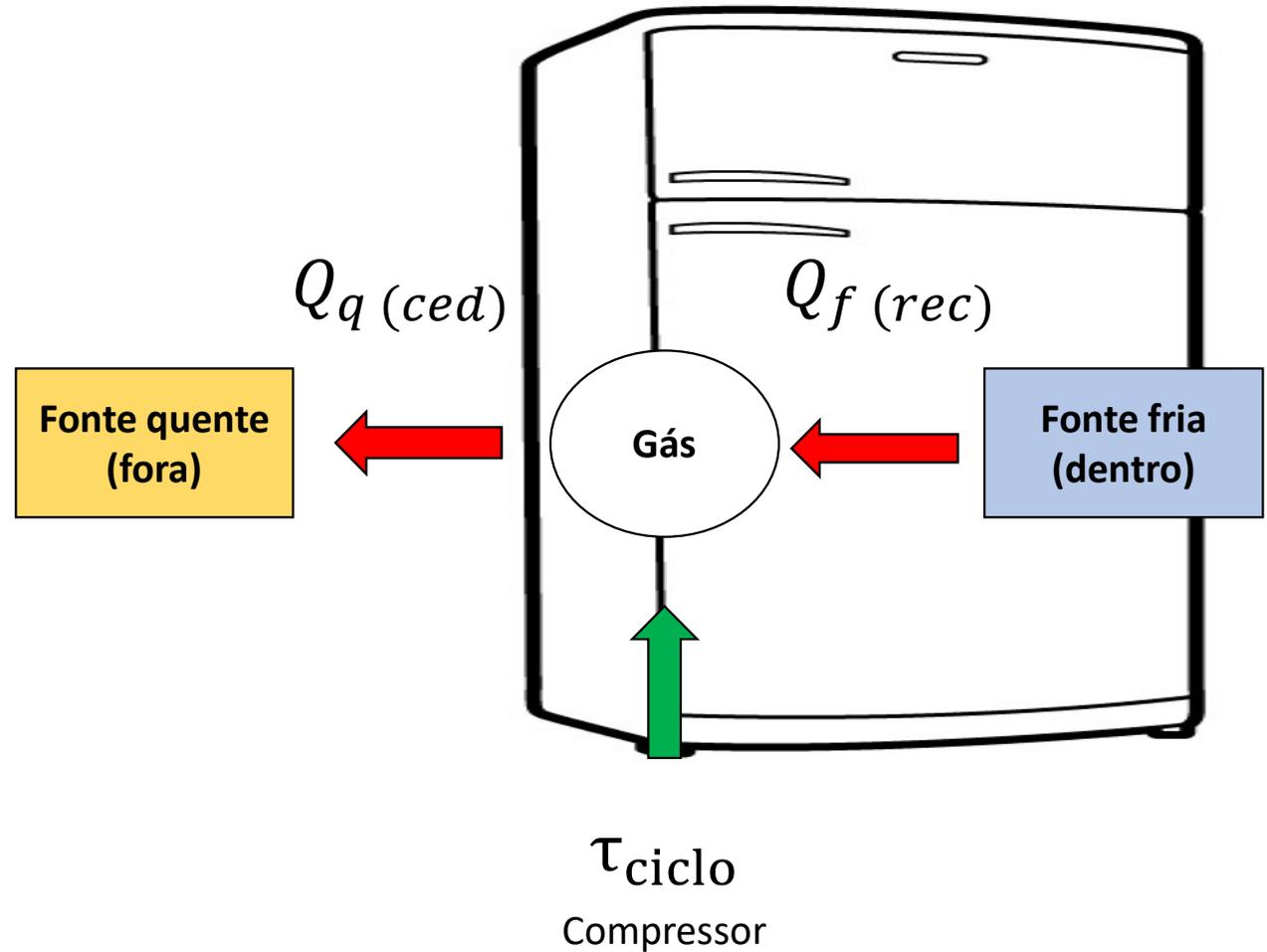
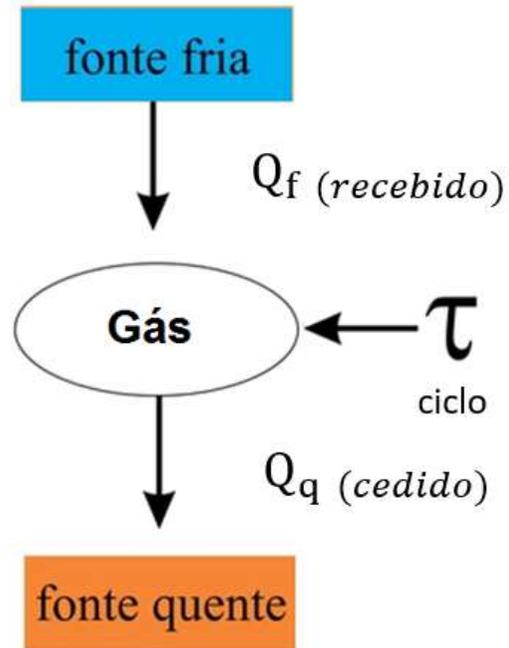


$$\eta = \frac{\tau_{\text{ciclo}}}{Q_q} = \frac{Q_q - |Q_f|}{Q_q} = \frac{T_q - T_f}{T_q}$$

Se $T_f = 0 \rightarrow \eta = 100\%$ (impossível!!)

5. Bombas de calor - refrigerador

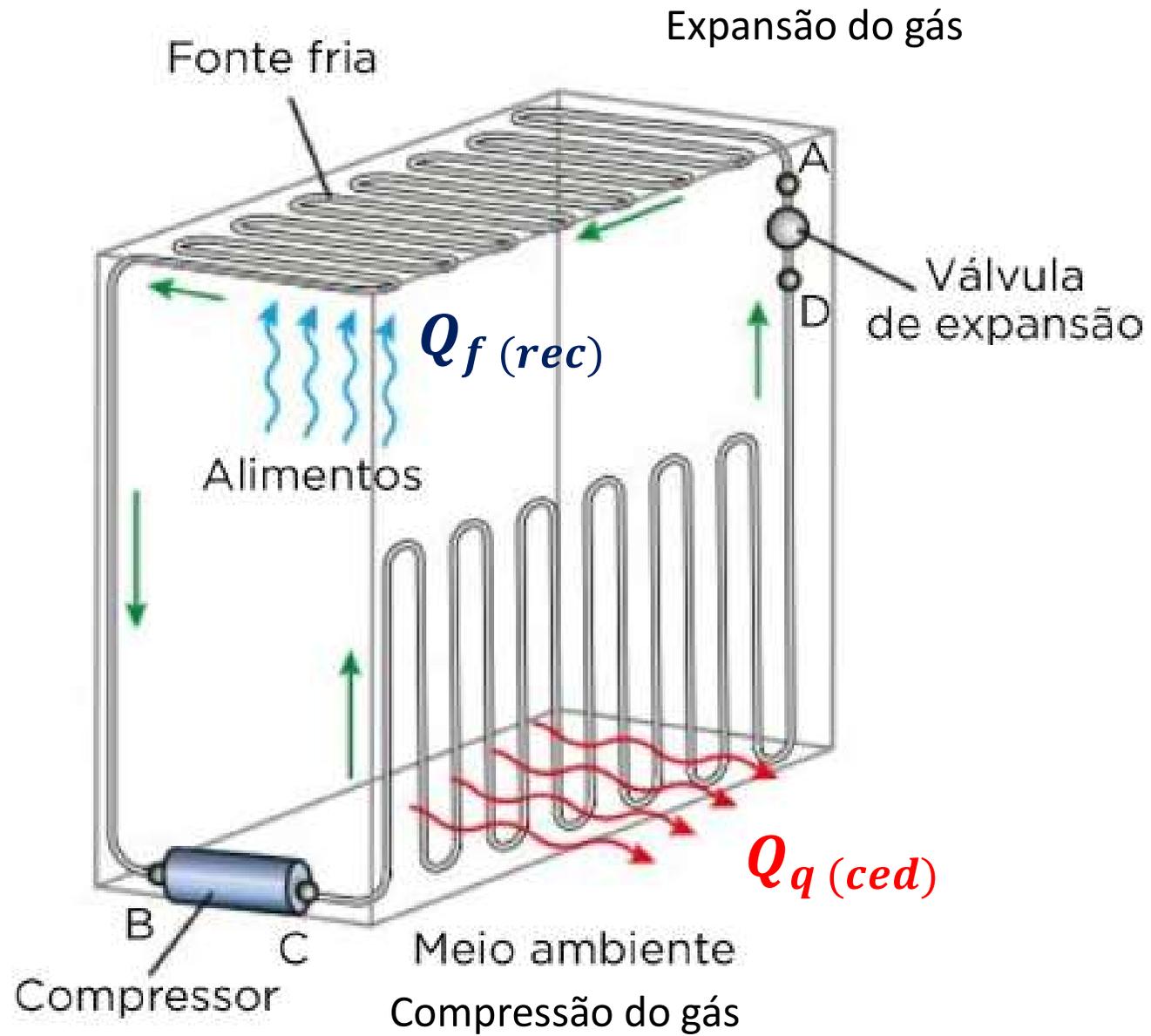
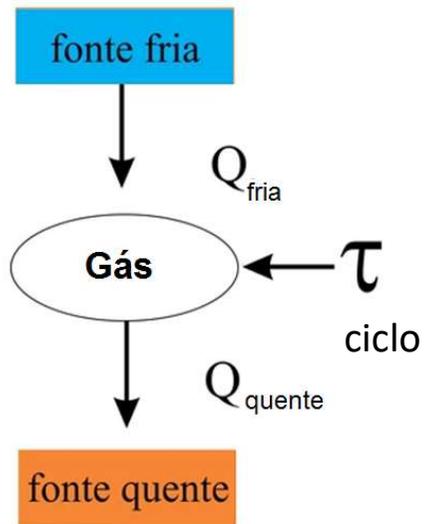
Conversão de Energia Mecânica em Energia Térmica



$$|Q_{q(ced)}| = |\tau_{\text{ciclo}}| + Q_{f(rec)}$$

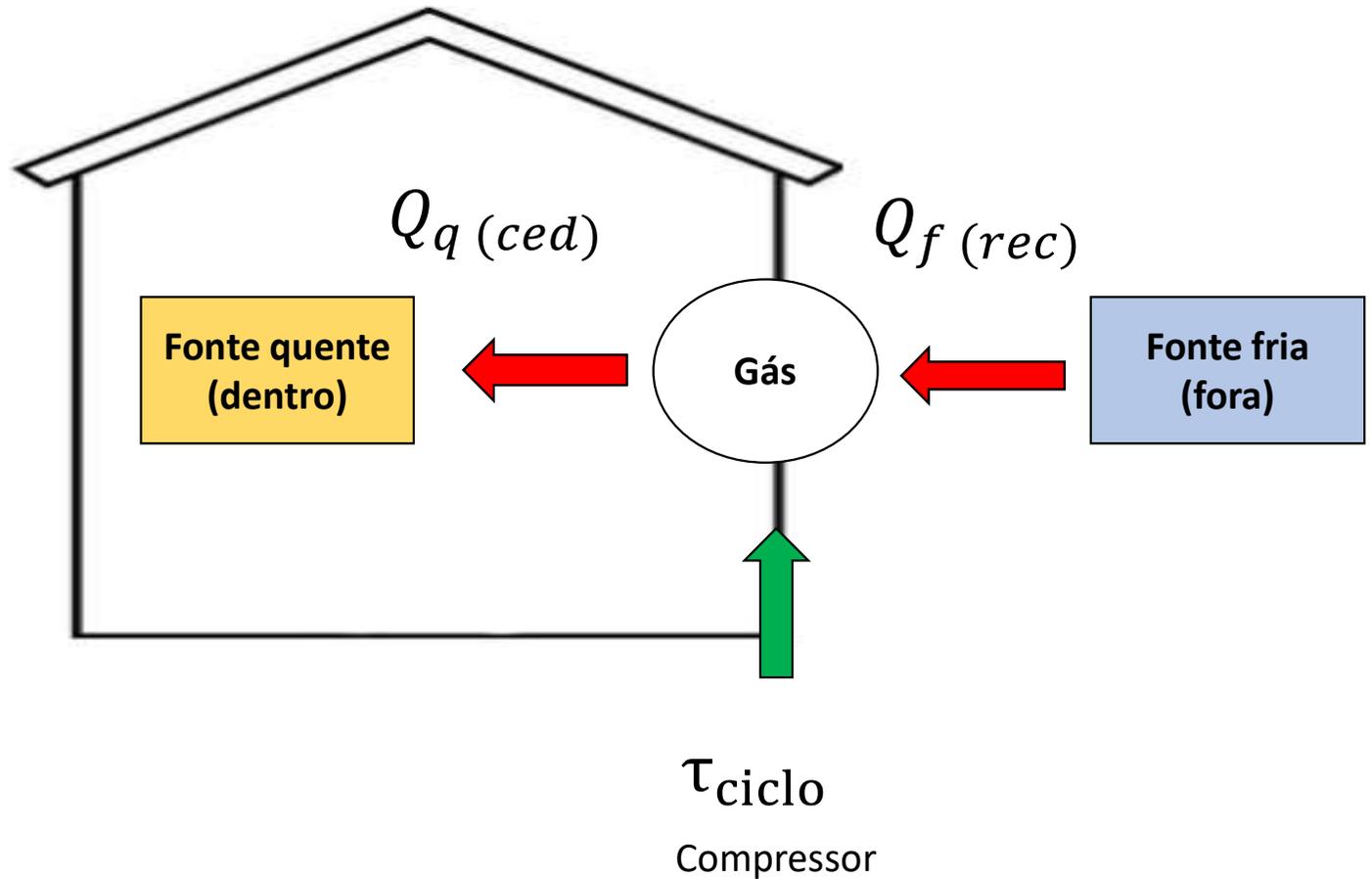
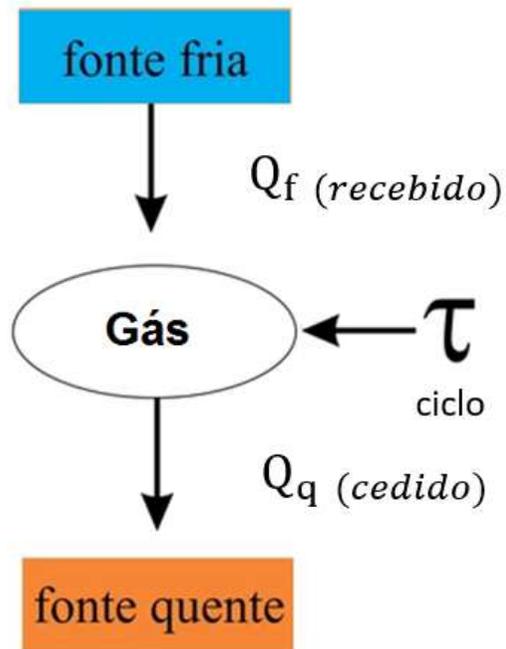
Refrigerador

- O gás retira calor ($Q_f (rec)$) parte interna (fonte fria) e despeja calor ($Q_q (ced)$) na parte externa (fonte quente).



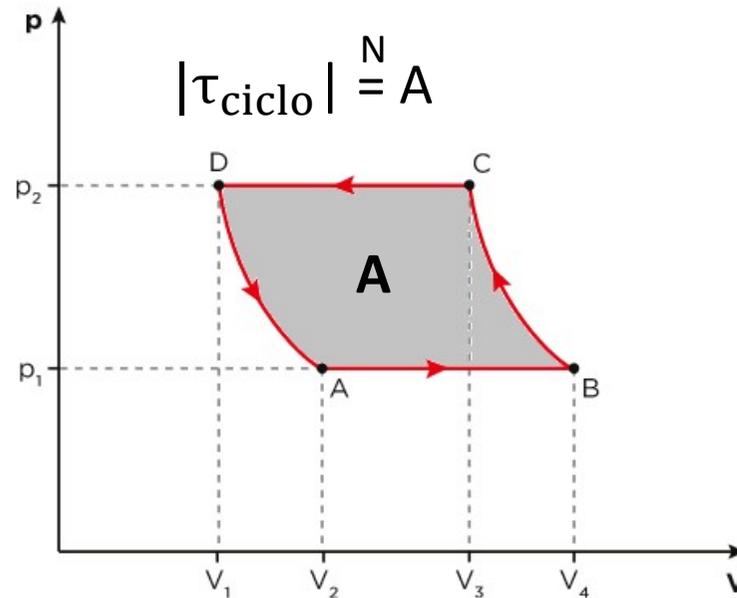
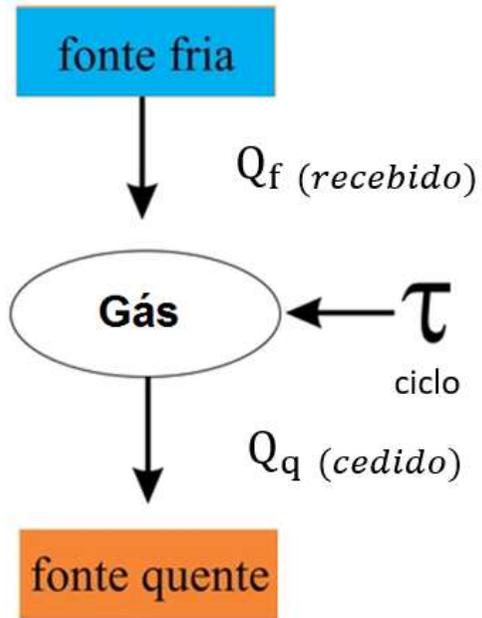
5. Bombas de calor - Aquecedor

Conversão de Energia Mecânica em Energia Térmica



$$|Q_{q(ced)}| = |\tau_{\text{ciclo}}| + Q_{f(rec)}$$

5. Aquecedor e refrigerador - detalhamento



Eficiência térmica

$$e = \frac{Q_f (rec)}{|\tau_{ciclo}|}$$

e pode ser maior do que 1

- $\tau_{ciclo} < 0$ (sentido anti-horário)

$$|Q_q (ced)| = |\tau_{ciclo}| + Q_f (rec)$$

2ª Lei da Termodinâmica - refrigerador

Enunciado de Clausius

É impossível a construção de um dispositivo que, por si só, isto é, sem a intervenção do meio externo, consiga transferir calor de um corpo para outro de temperatura mais elevada.

Interpretação: não existe um refrigerador que consiga transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente sem a intervenção de um agente externo. No caso de uma geladeira, para que o calor possa ser absorvido da parte interna (fonte fria) e despejado na parte de trás (fonte quente), é preciso que o compressor dessa geladeira realize um trabalho sobre o gás.