

Termodinâmica e máquinas térmicas

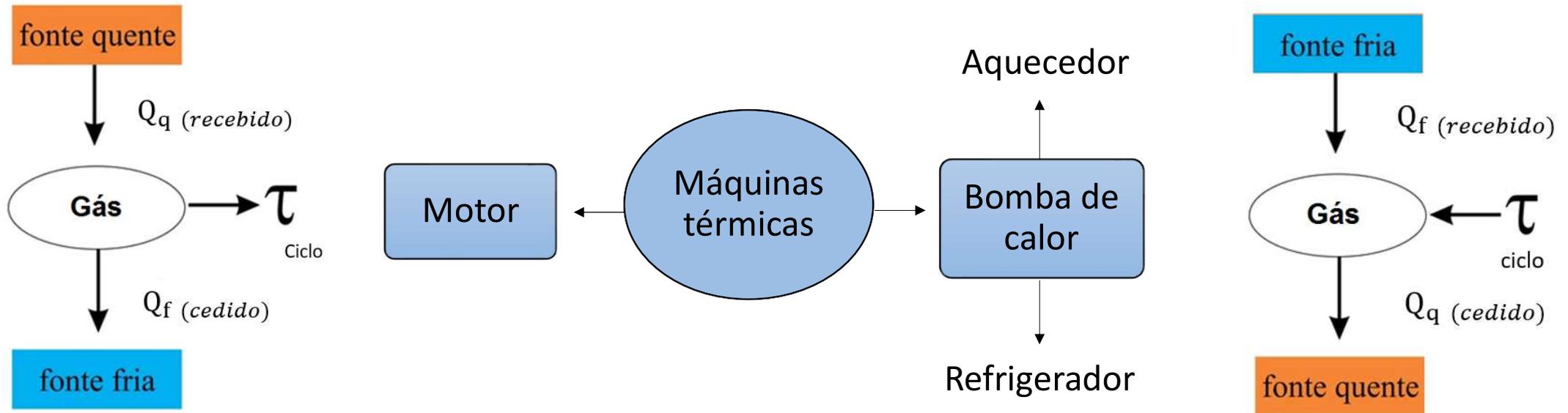
- Aulas 19 e 20 / Pg 546 / Tetra 2

- Aula 10 / Pg 446 / Hexa 2

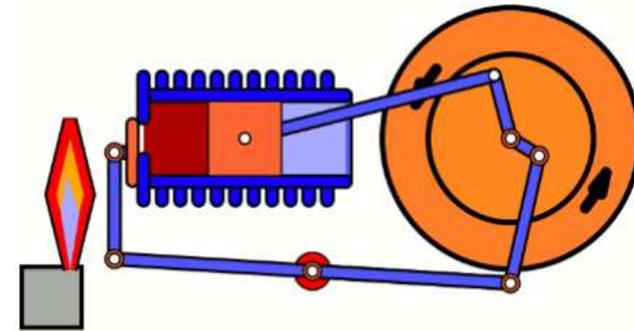
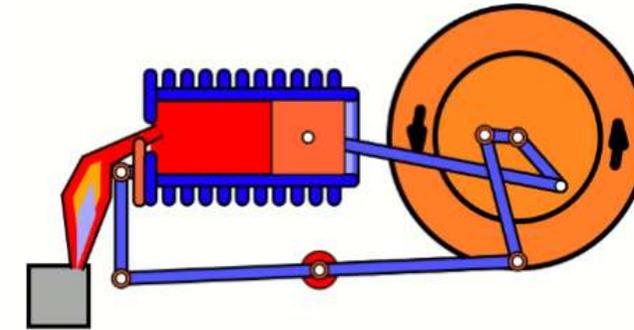
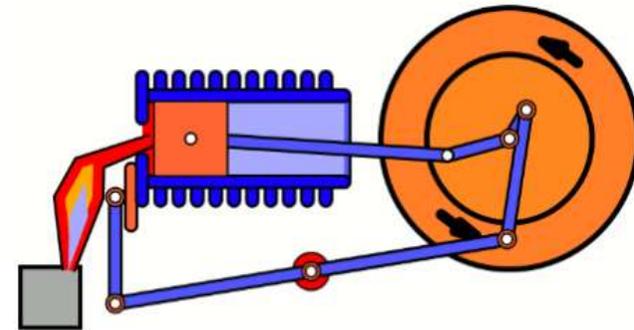
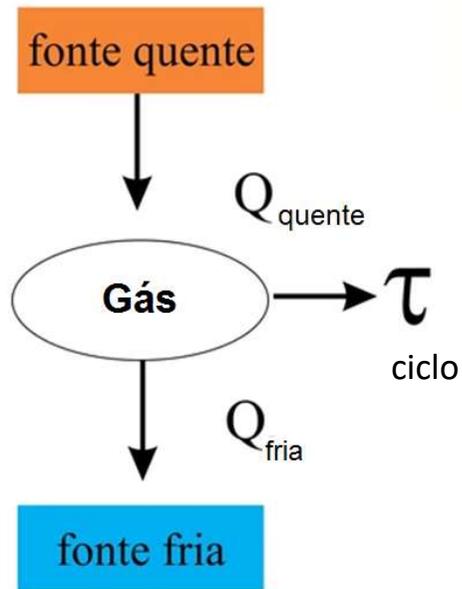
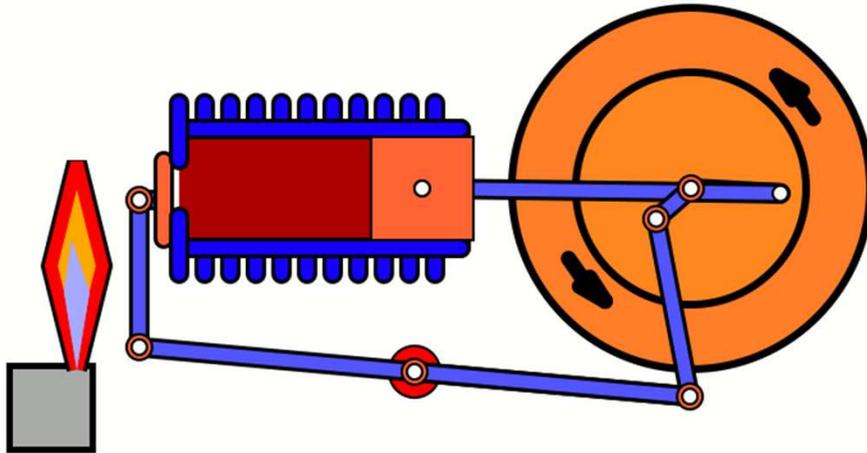
- SL 02 – Teoria
- SL 15 – Exercícios
- SL 21 – Aprofundamento

Apresentação e demais documentos: fisicasp.com.br

Máquinas térmicas



Máquinas Térmicas - Motor

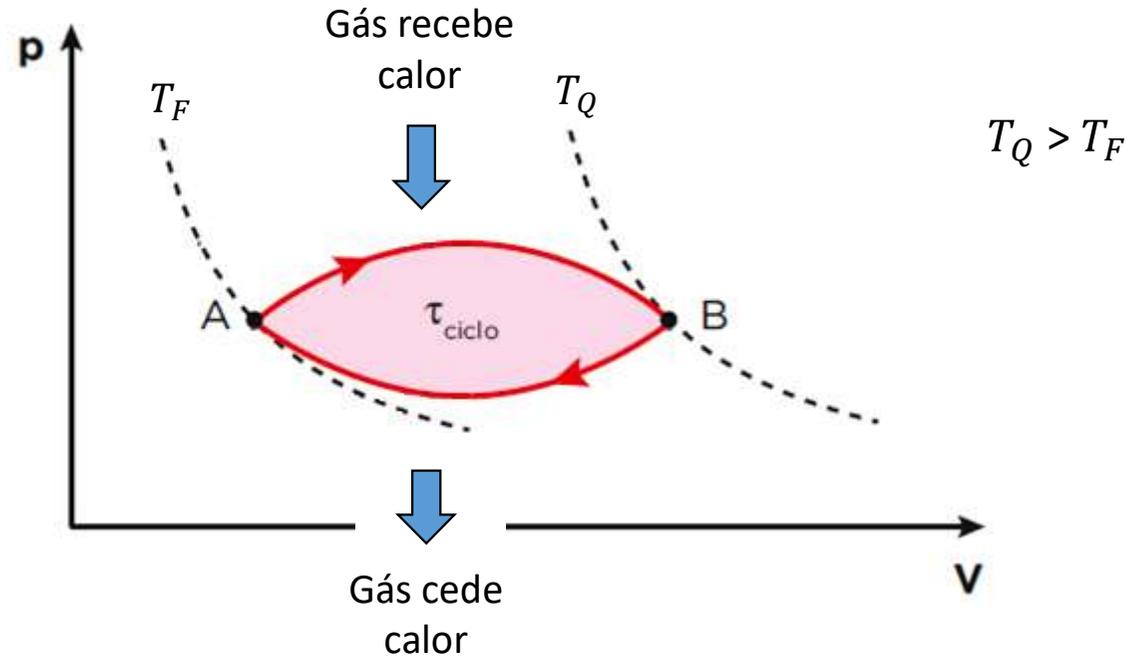
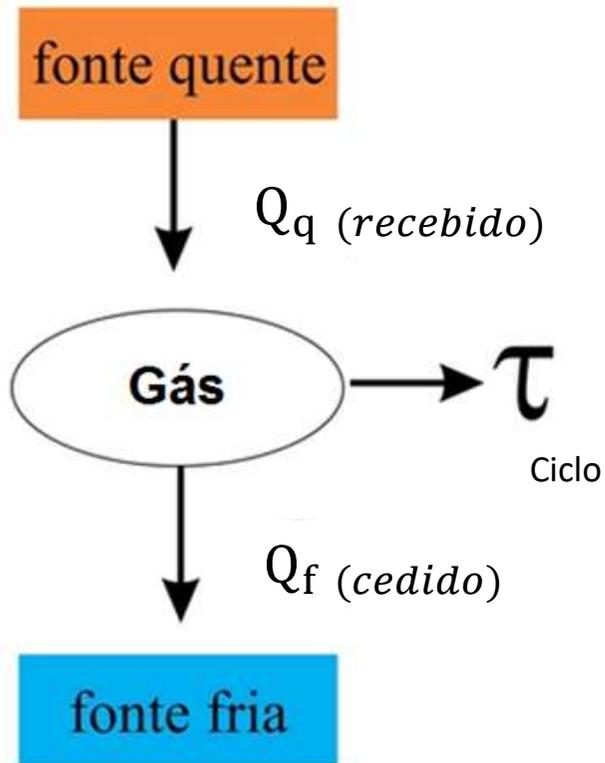


Expansão

Compressão

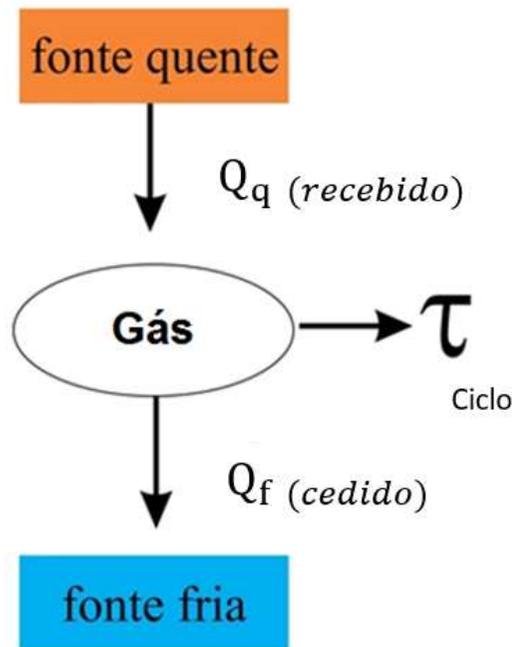
Motor

Conversão de parte da energia térmica em energia mecânica



- Ciclo no sentido horário $\rightarrow \tau > 0$
- O gás realiza trabalho e cede energia mecânica ao meio
- $\tau_{\text{ciclo}} (\text{útil}) = |\tau_{\text{expansão}}| - |\tau_{\text{compressão}}|$
- $Q_{\text{ciclo}} = |Q_q (\text{recebido})| - |Q_{\text{fria}} (\text{cedido})|$

Rendimento de um motor



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

$$n = \frac{|\tau_{\text{ciclo}}|}{|Q_q|} = \frac{|Q_q| - |Q_f|}{|Q_q|}$$

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

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

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

- 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.

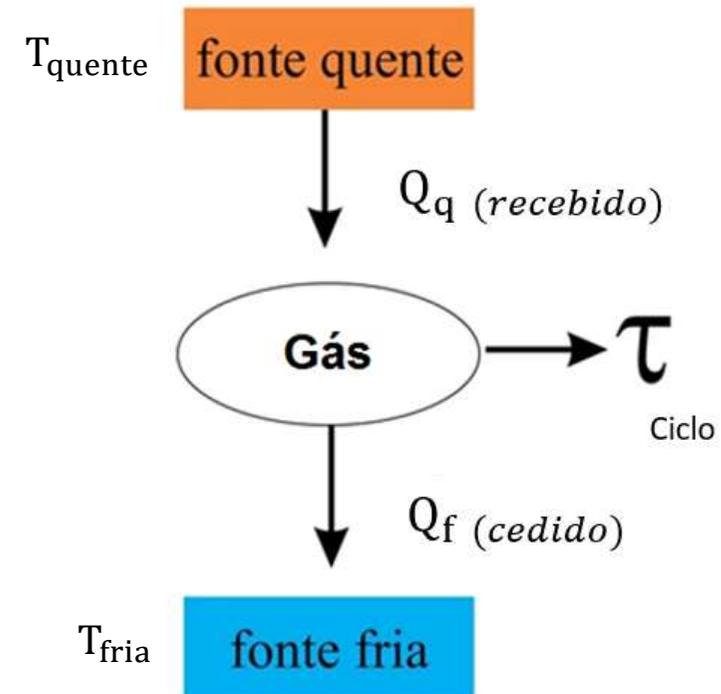
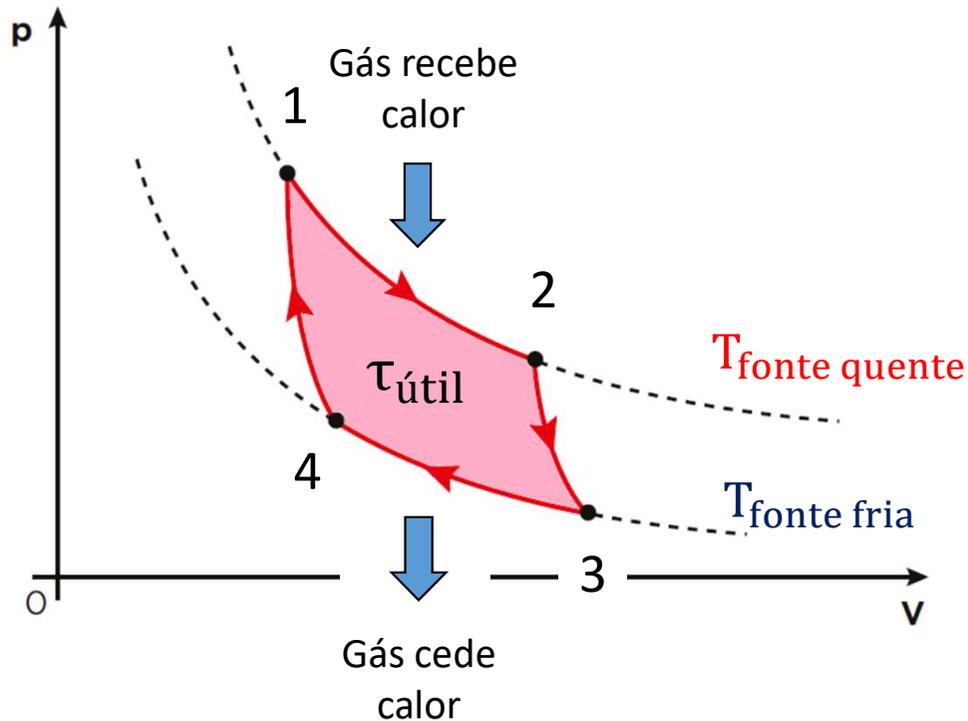
2ª Lei da Termodinâmica

Enunciado de Kelvin-Planck

É impossível a construção de uma máquina que, sem a intervenção de algum agente externo, seja capaz de transformar integralmente em trabalho mecânico todo o calor que recebe da fonte quente.

Interpretação: não existe um motor com rendimento 100%.

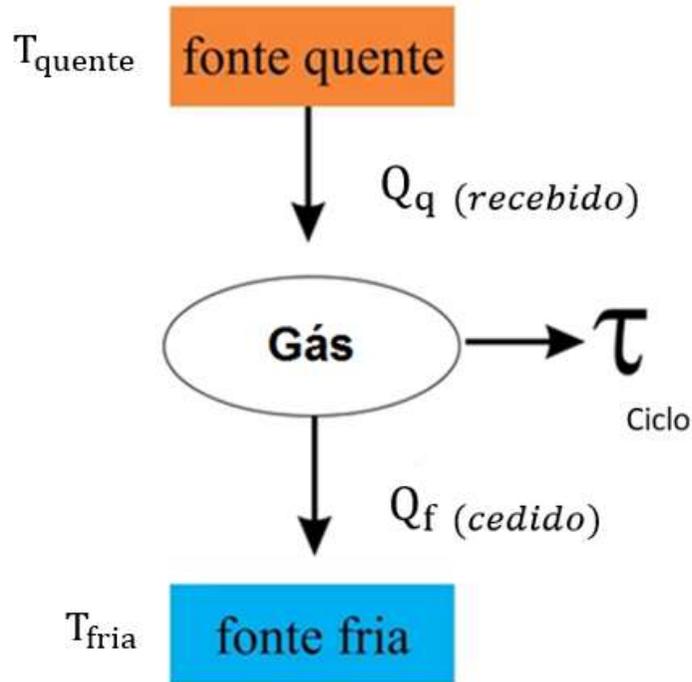
Motor – Ciclo de Carnot



- 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%.

Rendimento de um motor (η) em um Ciclo de Carnot



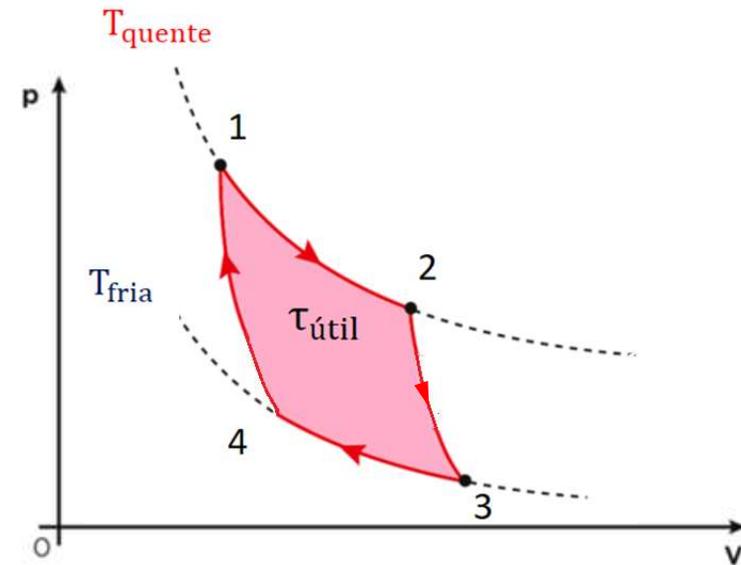
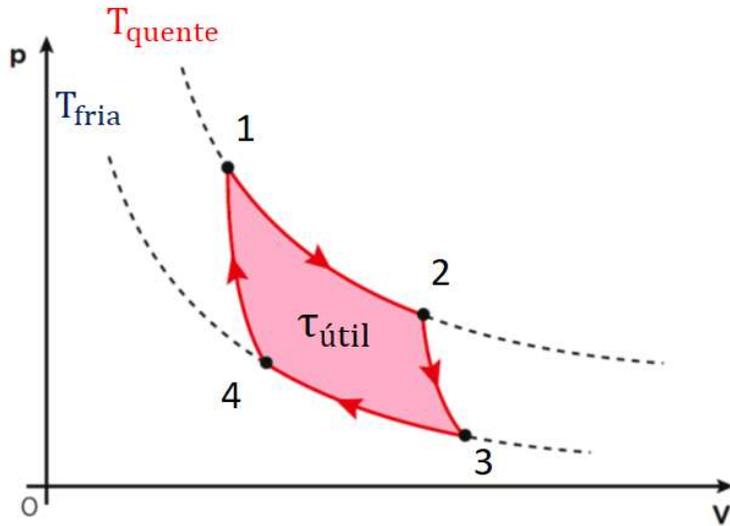
Expressões válidas para todos os casos de motores (inclusive para ciclo de Carnot)

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.

Rendimento de um motor (η): Ciclo de Carnot

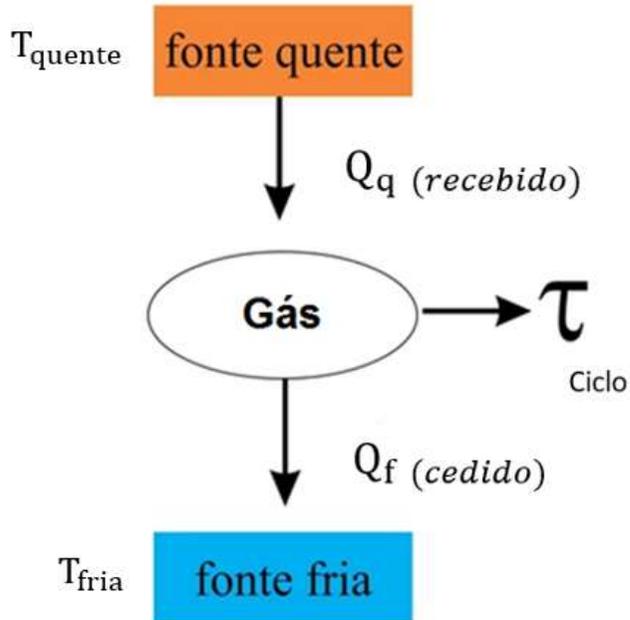


$$\eta \uparrow = \frac{|\tau_{\text{útil}}| \uparrow}{|Q_q|} = \frac{(T_q - T_f) \uparrow}{T_q}$$

3º Princípio da Termodinâmica

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

Exemplo:

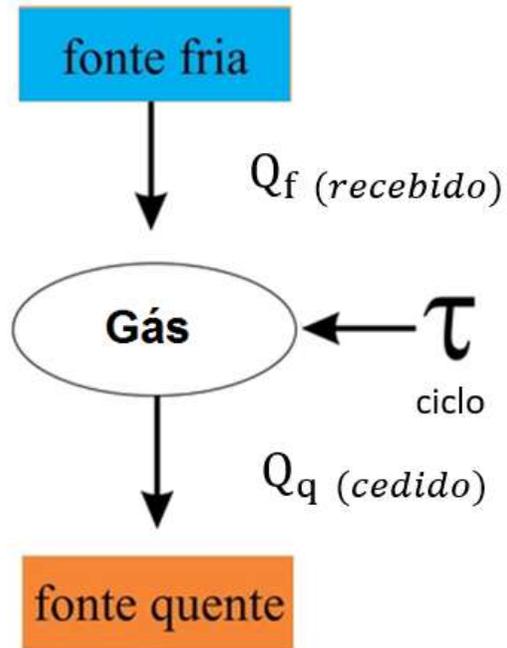


$$n = \frac{|\tau_{\text{ciclo}}|}{|Q_q|} = \frac{|Q_q| - |Q_f|}{|Q_q|} = \frac{T_q - T_f}{T_q}$$

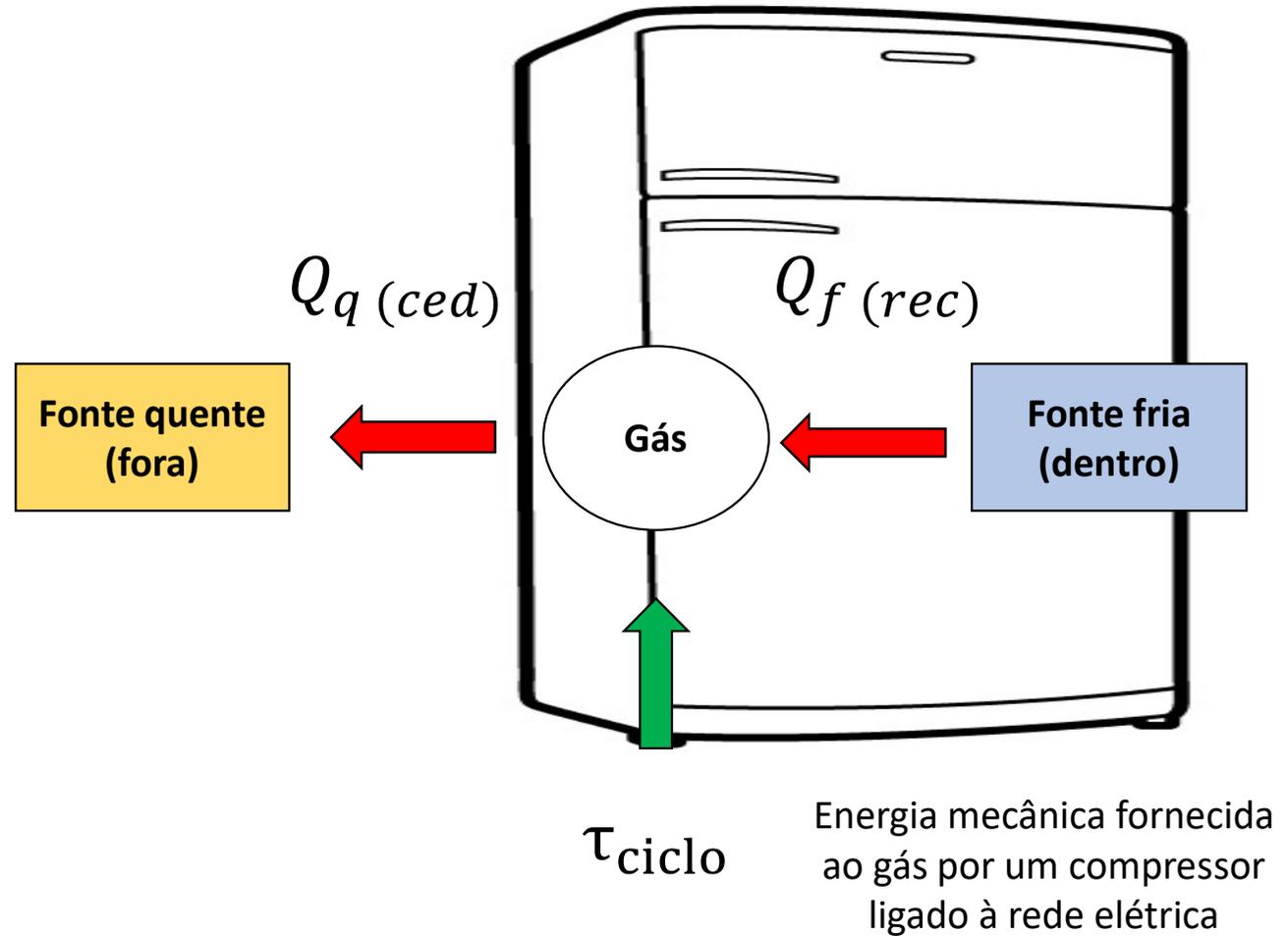
Se $T_f = 0 \rightarrow n = 100\%$ (impossível!)

Bombas de calor - refrigerador

Conversão de Energia Mecânica em Energia Térmica

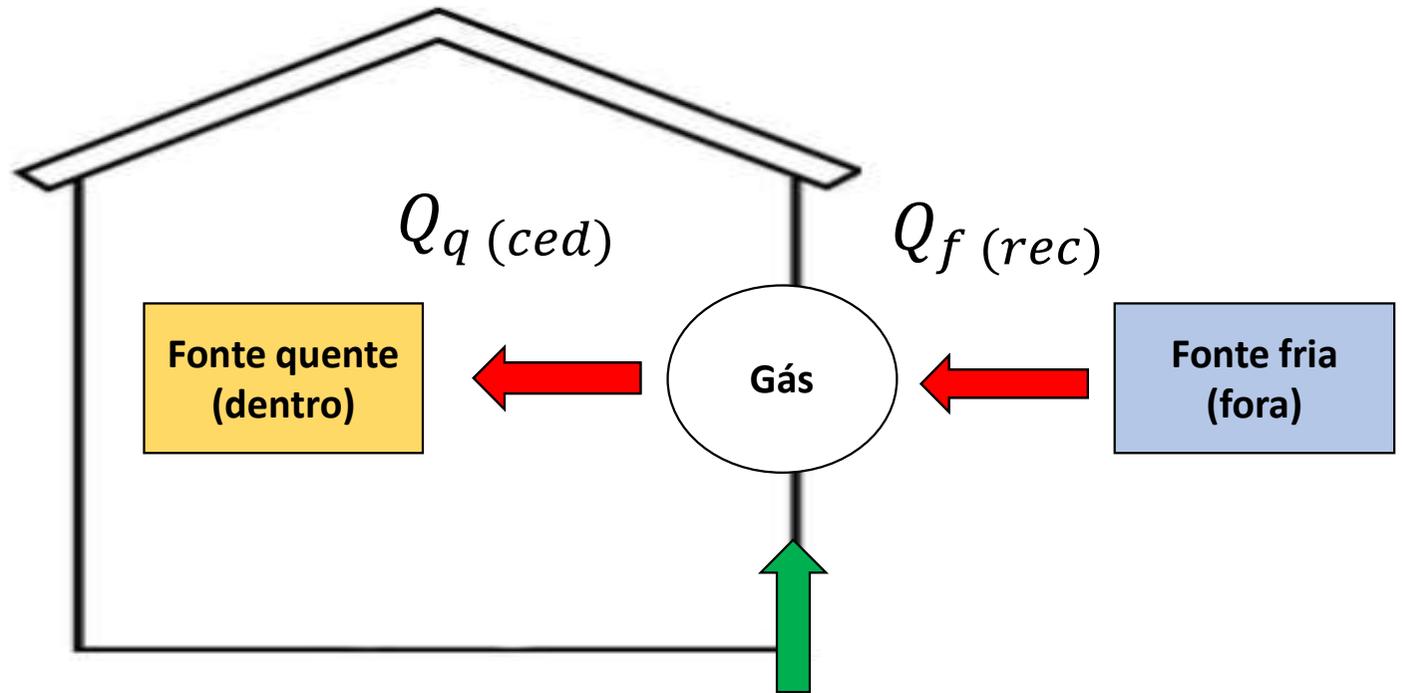
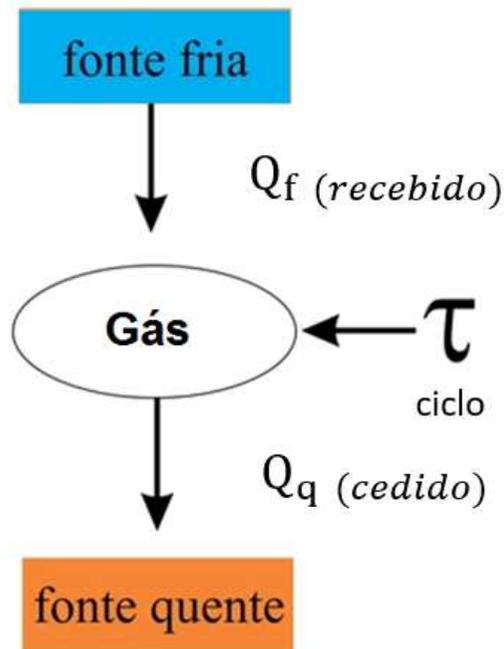


$$|Q_q(\text{ced})| = |\tau_{\text{ciclo}}| + |Q_f(\text{rec})|$$



Bombas de calor - aquecedor

Conversão de Energia Mecânica em Energia Térmica

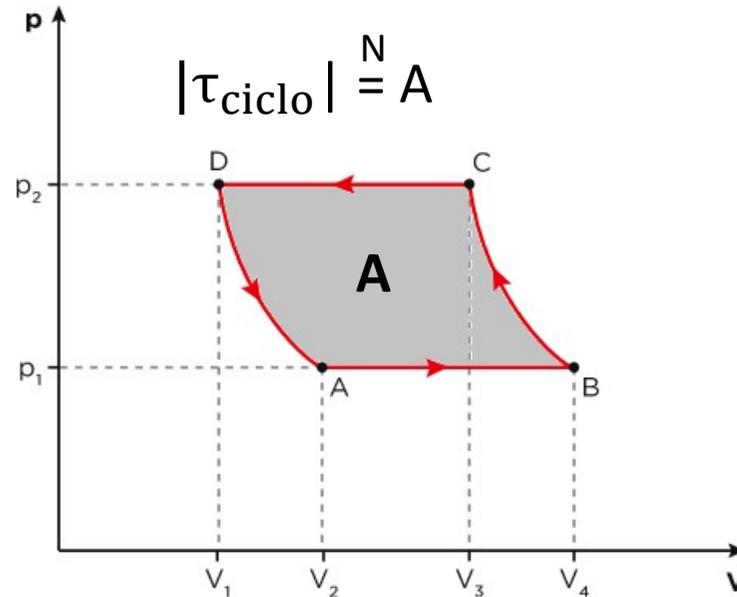
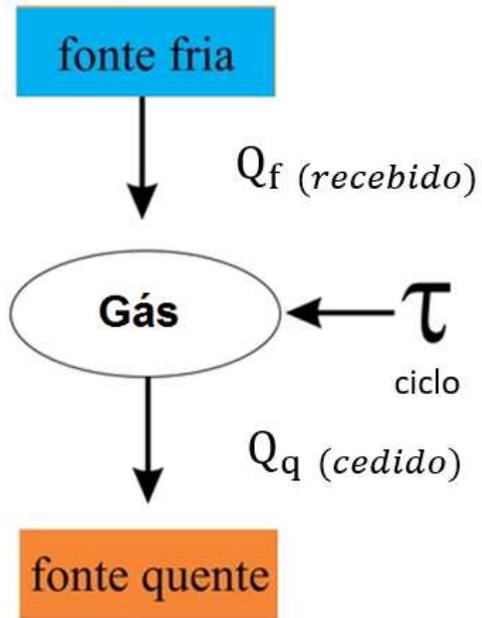


$$|Q_q(\text{ced})| = |\tau_{\text{ciclo}}| + |Q_f(\text{rec})|$$

τ_{ciclo}

Energia mecânica fornecida
ao gás por um compressor
ligado à rede elétrica

Bombas de calor – aquecedor e refrigerador



Eficiência térmica

$$e = \frac{|Q_{fria}|}{|\tau_{ciclo}|}$$

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

- $\tau_{ciclo} < 0$ (sentido anti-horário)
- Trabalho é realizado sobre o gás (pelo compressor)
- O gás recebe energia mecânica

2ª Lei da Termodinâmica - refrigerador

Enunciado de Clausius

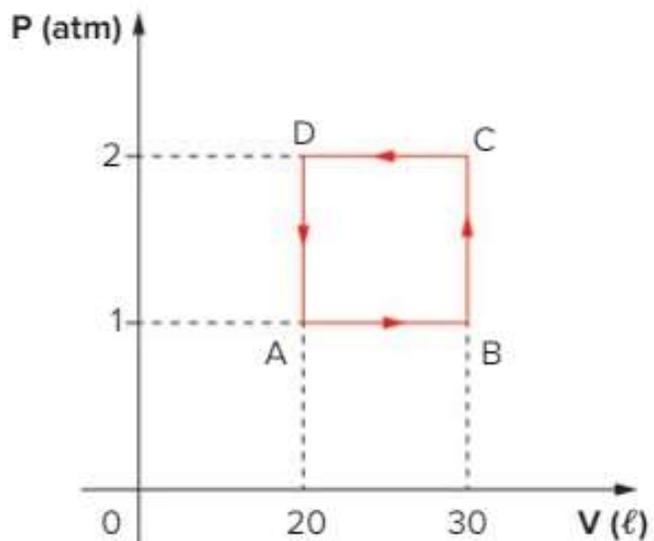
É impossível a construção de um dispositivo que, por si só, isto é, sem a intervenção do meio externo, consiga transferir calor de um corpo para outro de temperatura mais elevada.

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.

Exercícios



3 Tetra. Considere o seguinte diagrama $P \times V$ executado sobre 0,5 mol de um gás monoatômico e responda ao que se pede.



- Identifique o tipo de máquina térmica.
- Qual o trabalho necessário, em joules, para a máquina completar um ciclo?
- Obtenha o rendimento, se a máquina for um motor térmico, ou a eficiência térmica, se ela for uma bomba de calor.

Dado: $1 \text{ atm} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

3 Tetra. Considere o seguinte diagrama $P \times V$ executado sobre 0,5 mol de um gás monoatômico e responda ao que se pede.

a) Identifique o tipo de máquina térmica.

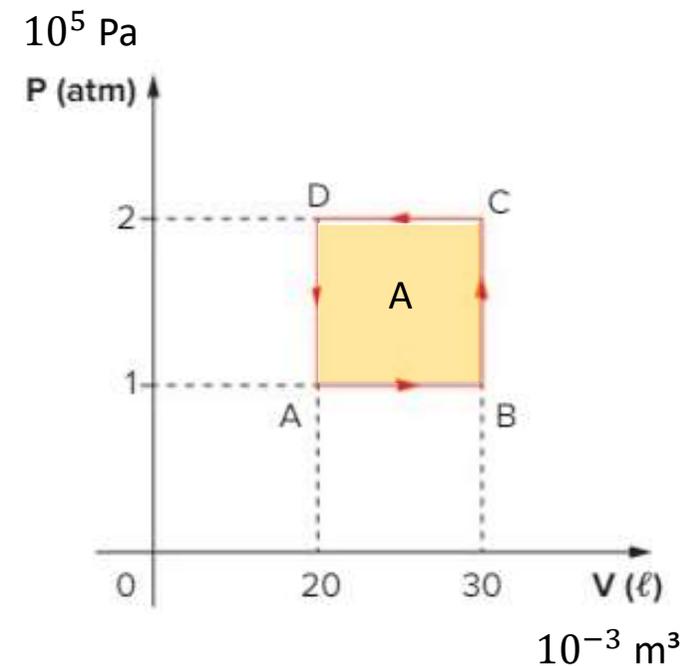
Ciclo anti-horário: bomba de calor

b) Qual o trabalho necessário, em joules, para a máquina completar um ciclo?

$$|\tau_{\text{ciclo}}|^N = A$$

$$A = B \cdot h = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^5 = 10^6$$

$\tau_{\text{ciclo}} = - 1000 \text{ J}$



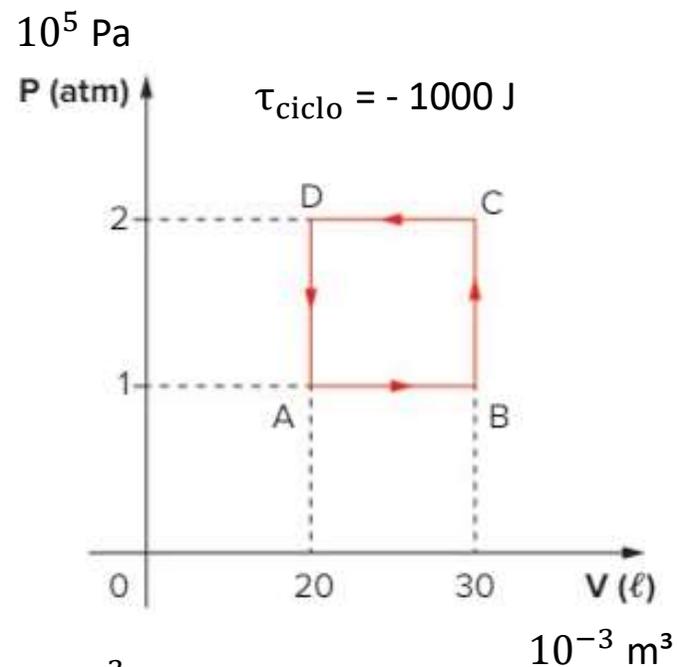
Dado: $1 \text{ atm} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

3 Tetra. Considere o seguinte diagrama $P \times V$ executado sobre 0,5 mol de um gás monoatômico e responda ao que se pede.

c) Obtenha o rendimento, se a máquina for um motor térmico, ou a eficiência térmica, se ela for uma bomba de calor.

$$e = \frac{|Q_{fria}|}{|\tau_{ciclo}|} = \frac{7000}{1000} = 7$$

O gás recebe calor da fonte fria nos processos AB e BC



$$Q = \Delta U + \tau$$

$$\tau = \tau_{AB} + \tau_{BC}$$

$$U_A = \frac{3}{2} \cdot P_A \cdot V_A$$

$$U_C = \frac{3}{2} \cdot P_C \cdot V_C$$

$$Q = 6000 + 1000$$

$$\tau = p \cdot \Delta V + 0$$

$$U_A = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-3}$$

$$U_C = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 30 \cdot 10^{-3}$$

$$Q = 7000 \text{ J}$$

$$\tau = 10^5 (10 \cdot 10^{-3}) + 0$$

$$U_A = 3000 \text{ J}$$

$$U_C = 9000 \text{ J}$$

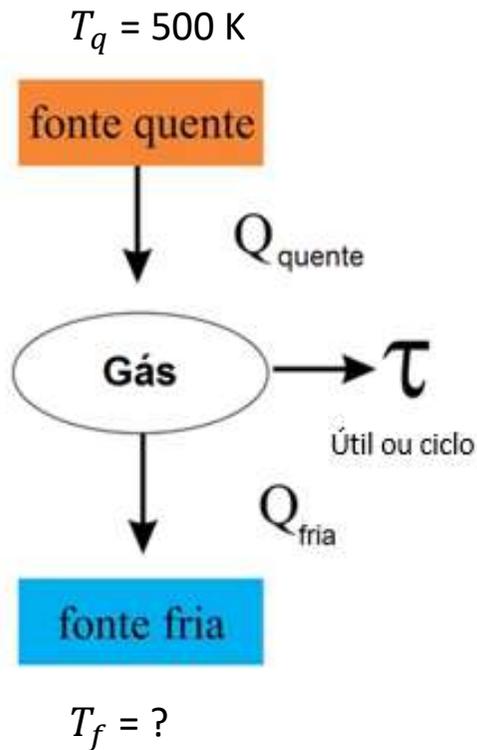
$$\Delta U = 6000 \text{ J}$$

$$\tau = 1000 \text{ J}$$

2 Hexa / 4 Tetra. UFRGS 2020 Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40% e a temperatura de sua fonte quente é 500 K. A máquina opera a uma potência de 4,2 kW e efetua 10 ciclos por segundo. Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo?

- a) 200 K – 42 J
- b) 200 K – 420 J
- c) 200 K – 42 000 J
- d) 300 K – 42 J
- e) 300 K – 420 J

2 Hexa / 4 Tetra. UFRGS 2020 Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40% e a temperatura de sua fonte quente é 500 K. A máquina opera a uma potência de 4,2 kW e efetua 10 ciclos por segundo. Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo?



$$T_f = ?$$

$$\eta = \frac{T_q - T_f}{T_q}$$

$$0,4 = \frac{500 - T_f}{500}$$

$$200 = 500 - T_f$$

$$T_f = 500 - 200$$

$$T_f = 300 \text{ K}$$

$$\tau_{\text{ciclo}} = ?$$

$$\Delta t = 1 \text{ s} \rightarrow 10 \text{ ciclos}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{\tau_{10 \text{ ciclos}}}{\Delta t}$$

$$4200 = \frac{\tau_{10 \text{ ciclos}}}{1}$$

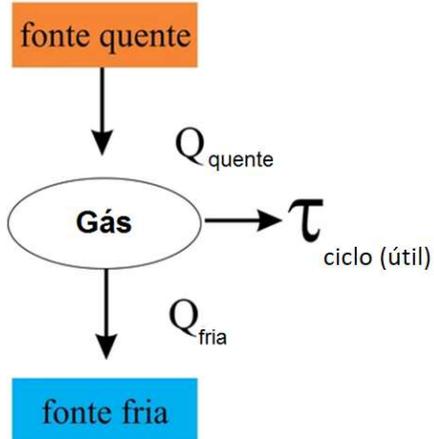
$$\tau_{10 \text{ ciclos}} = 4200 \text{ J}$$

$$\tau_{1 \text{ ciclo}} = 420 \text{ J}$$

Máquinas Térmicas - Motor

Sinais de Q , ΔU , τ e entendimento de cada etapa do ciclo

Máquinas Térmicas - Motor

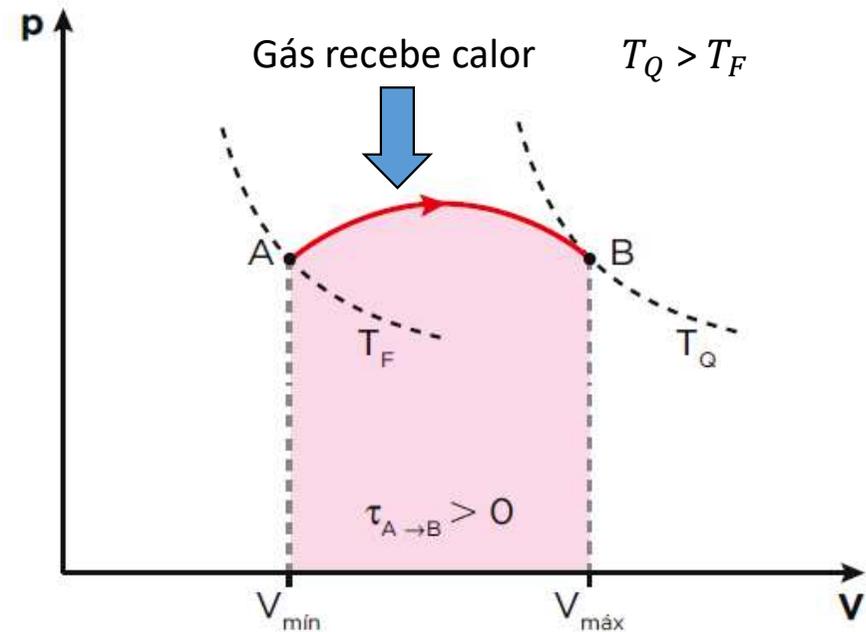


Expansão $\rightarrow V$ aumenta $\rightarrow \tau_{AB} > 0$

$$\tau = p_{cte} \cdot (V_f - V_i)$$

O gás cede energia mecânica

T aumenta $\rightarrow U$ aumenta $\rightarrow \Delta U_{AB} = U_f - U_i > 0$



$$\Delta U = Q - \tau$$

$$Q_{AB} = \Delta U + \tau$$

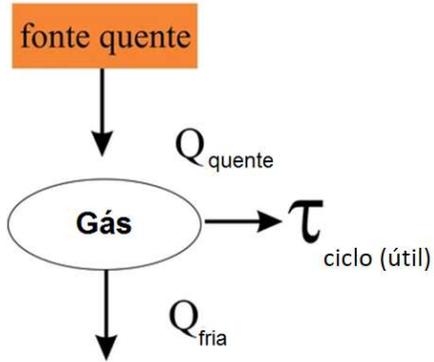
$$(+) = (+) + (+)$$

$$Q_{AB} > 0$$

Q_{AB} é o Q_{quente}

O gás recebe calor da fonte quente

Máquinas Térmicas - Motor



Compressão $\rightarrow V$ diminui $\rightarrow \tau_{BC} < 0$

$$\tau = p_{cte} \cdot (V_f - V_i)$$

O gás recebe energia mecânica

$$T \text{ diminui} \rightarrow U \text{ diminui} \rightarrow \Delta U_{BA} = U_f - U_i < 0$$

$$\Delta U = Q - \tau$$

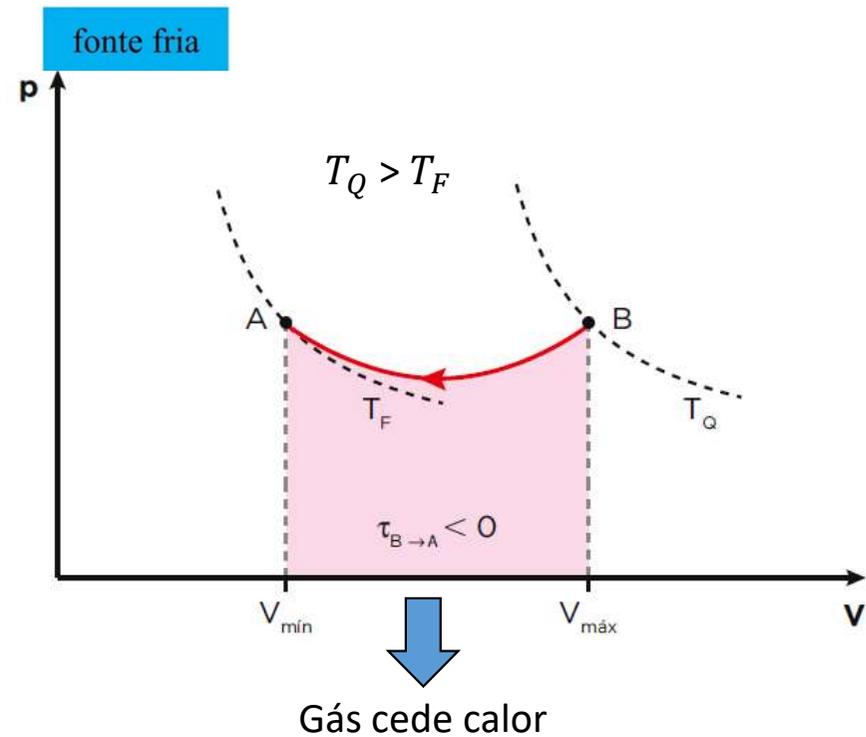
$$Q_{BA} = \Delta U + \tau$$

$$(-) = (-) + (-)$$

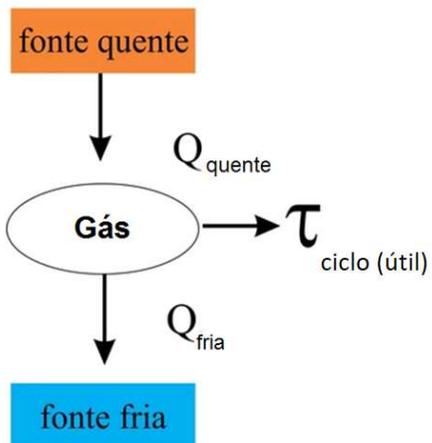
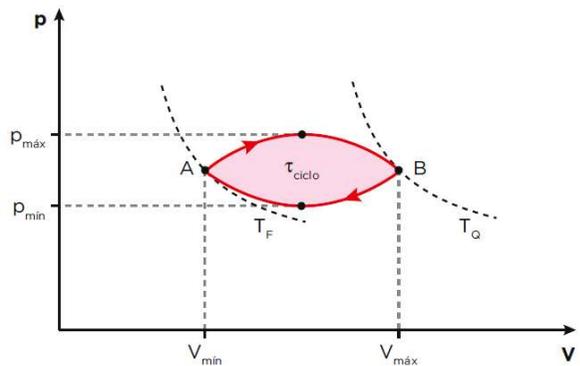
$$Q_{BA} < 0$$

Q_{BA} é o Q_{fria}

O gás cede calor à fonte fria

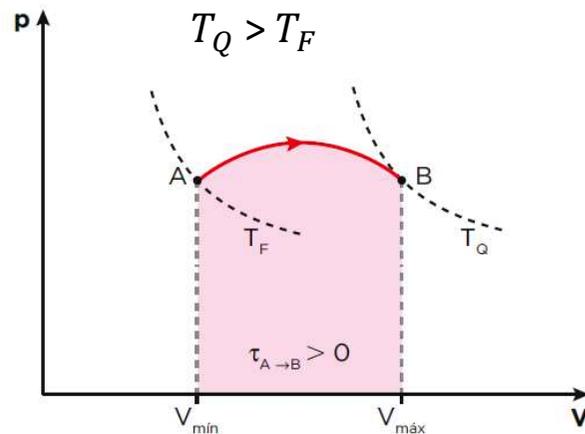


Máquinas Térmicas - Motor



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

$\tau_{\text{ciclo}} > 0$ *o gás cede energia mecânica*



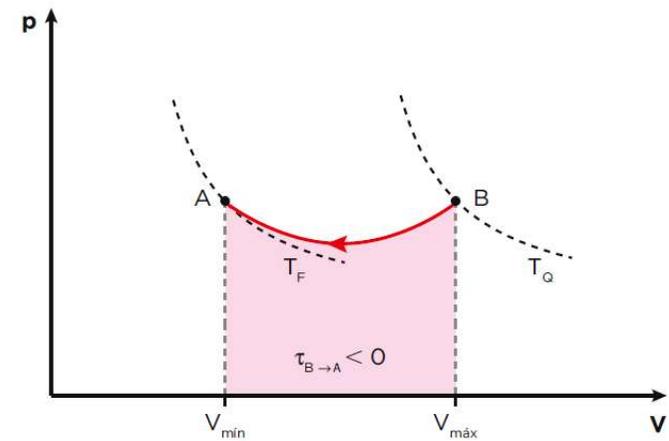
Expansão $\rightarrow \tau_{AB} > 0$

O gás cede energia mecânica

$$Q_{AB} > 0$$

O gás recebe calor da fonte quente

$$Q_{AB} \rightarrow Q_{\text{quente}}$$



Compressão $\rightarrow \tau_{BA} < 0$

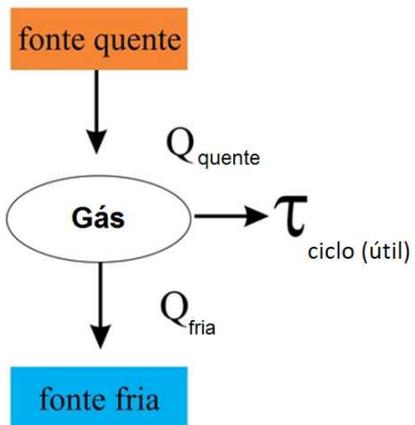
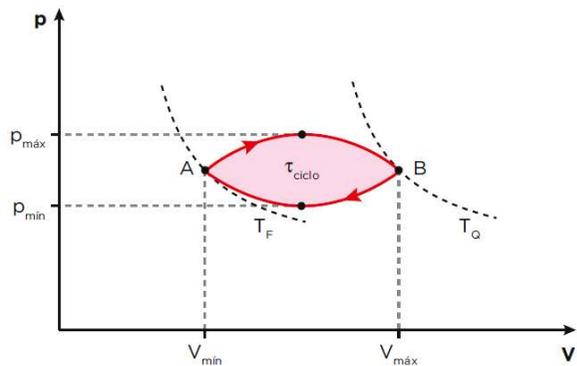
O gás recebe energia mecânica

$$Q_{BA} < 0$$

O gás cede calor à fonte fria

$$Q_{BA} \rightarrow Q_{\text{fria}}$$

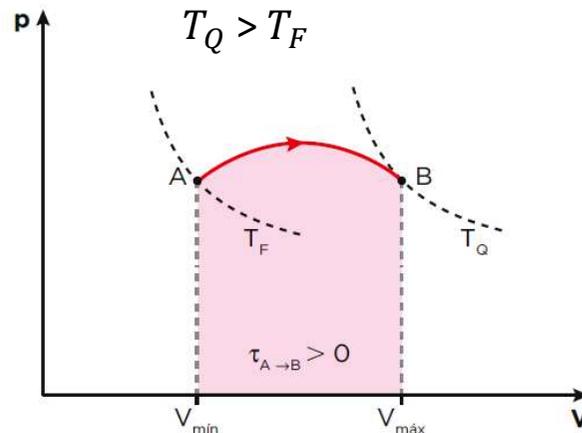
Máquinas Térmicas - Motor



$$Q_{\text{ciclo}} = |Q_{\text{quente}}| - |Q_{\text{fria}}|$$

$$|Q_q| = |\tau_{\text{ciclo}}| + |Q_f|$$

$$|Q_q| > |Q_f|$$



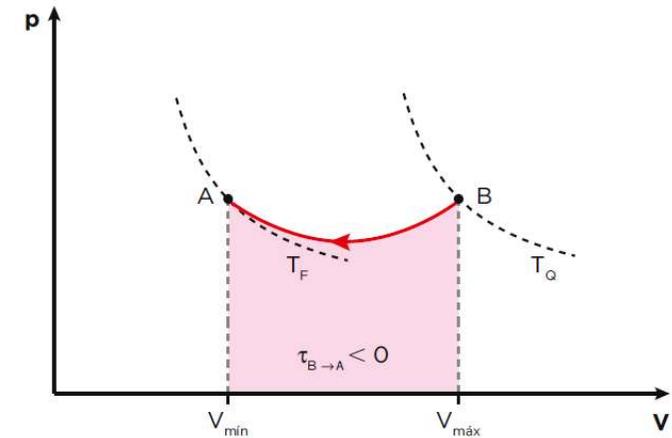
Expansão → $\tau_{AB} > 0$

O gás cede energia mecânica

$$Q_{AB} > 0$$

O gás recebe calor da fonte quente

$$Q_{AB} \rightarrow Q_{\text{quente}}$$



Compressão → $\tau_{BA} < 0$

O gás recebe energia mecânica

$$Q_{BA} < 0$$

O gás cede calor à fonte fria

$$Q_{BA} \rightarrow Q_{\text{fria}}$$