

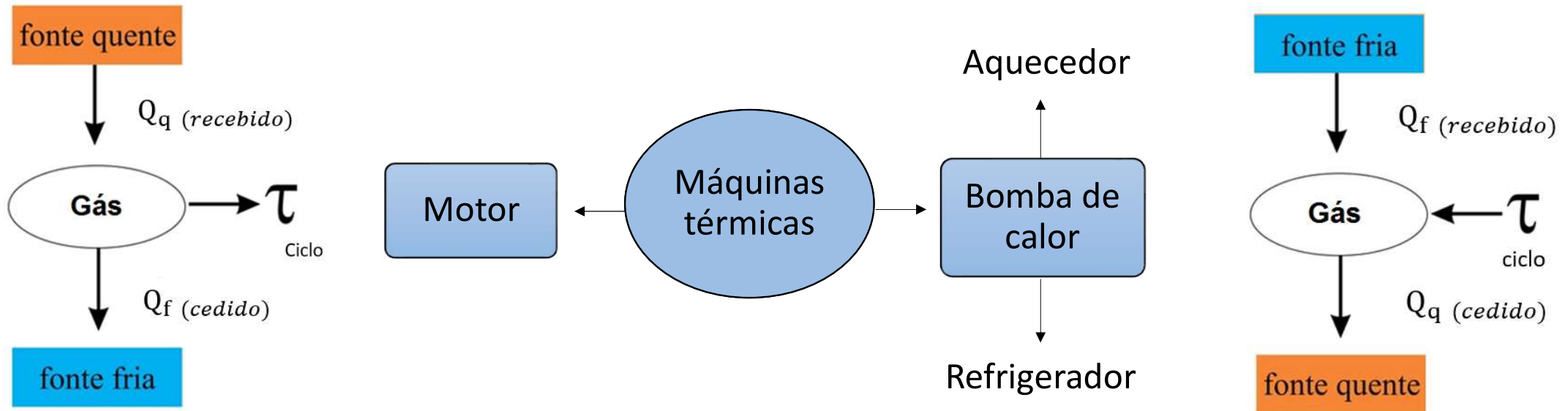
Termodinâmica e máquinas térmicas

- Livro 5 / Capítulo 2 / Página 103

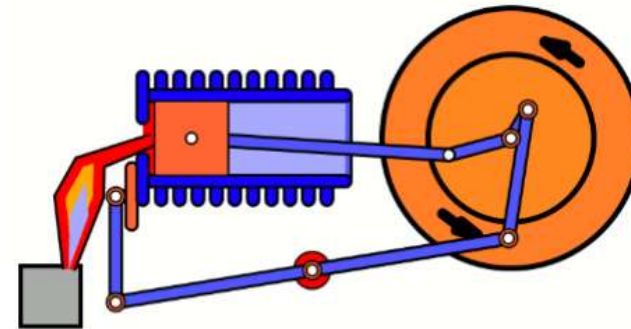
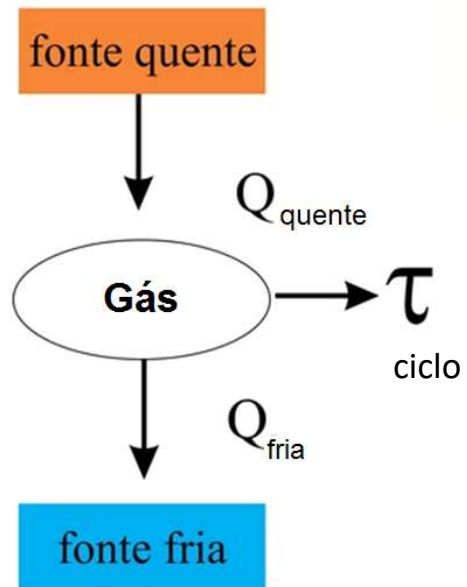
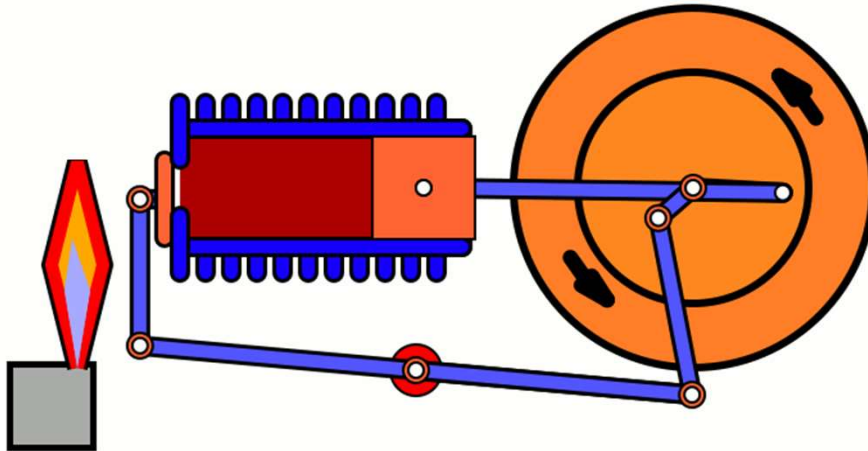
- SL 02 – Teoria
- SL 15 – Exercícios
- SL 26 – Aprofundamento

Apresentação e demais documentos: **fisicasp.com.br**

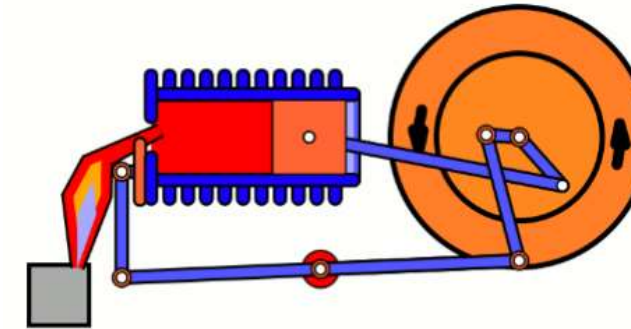
Máquinas térmicas



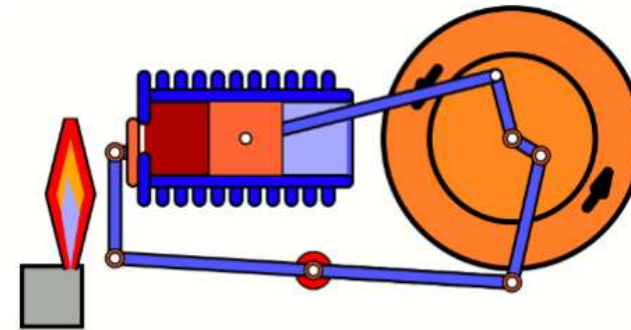
Máquinas Térmicas - Motor



Expansão

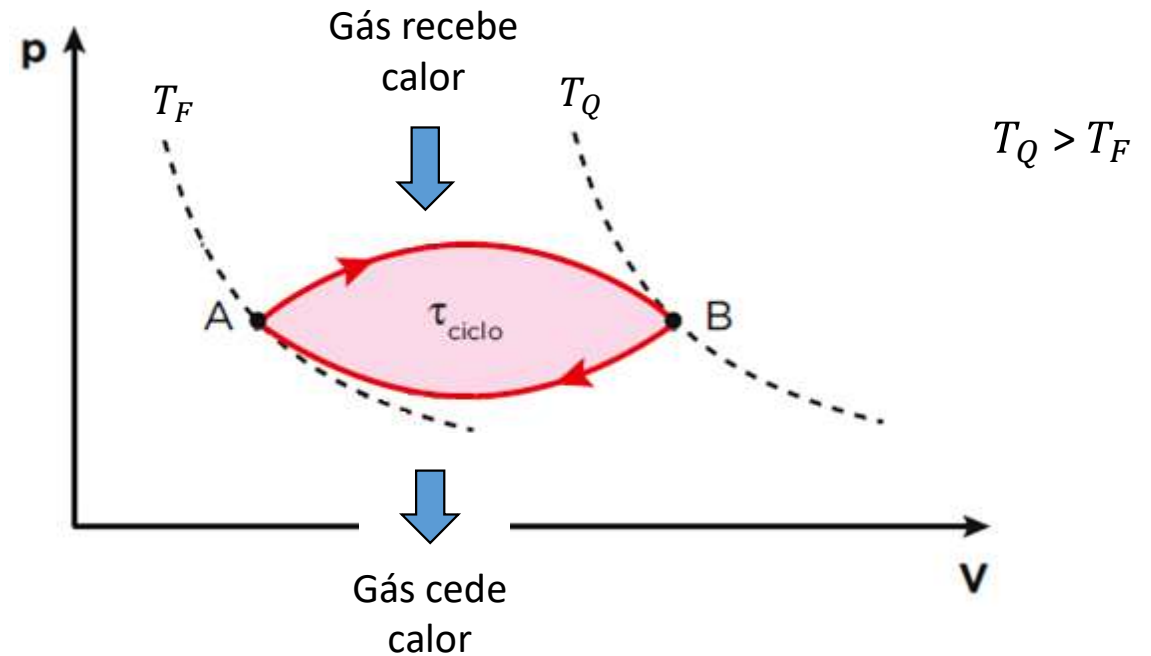
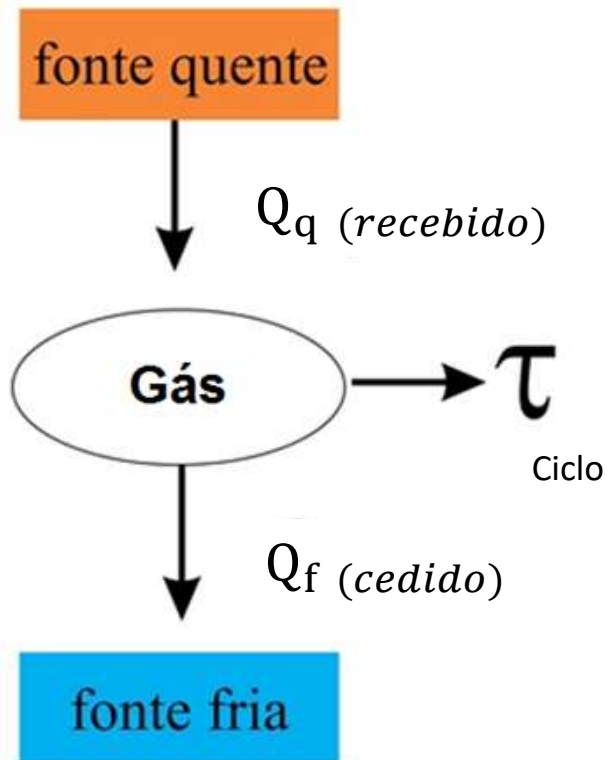


Compressão



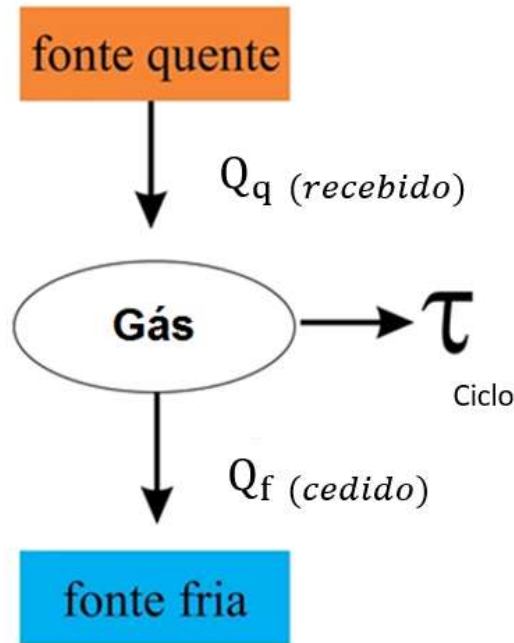
Motor

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.

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

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

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

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

- 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.

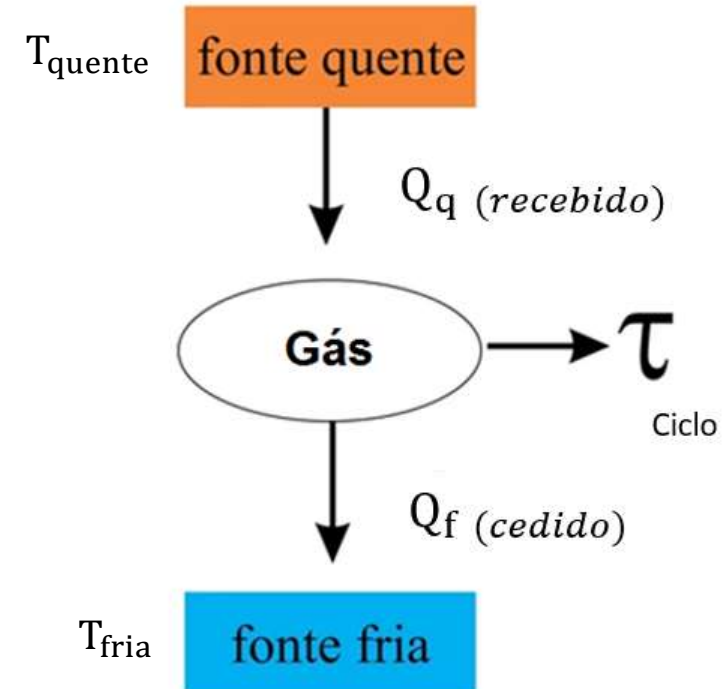
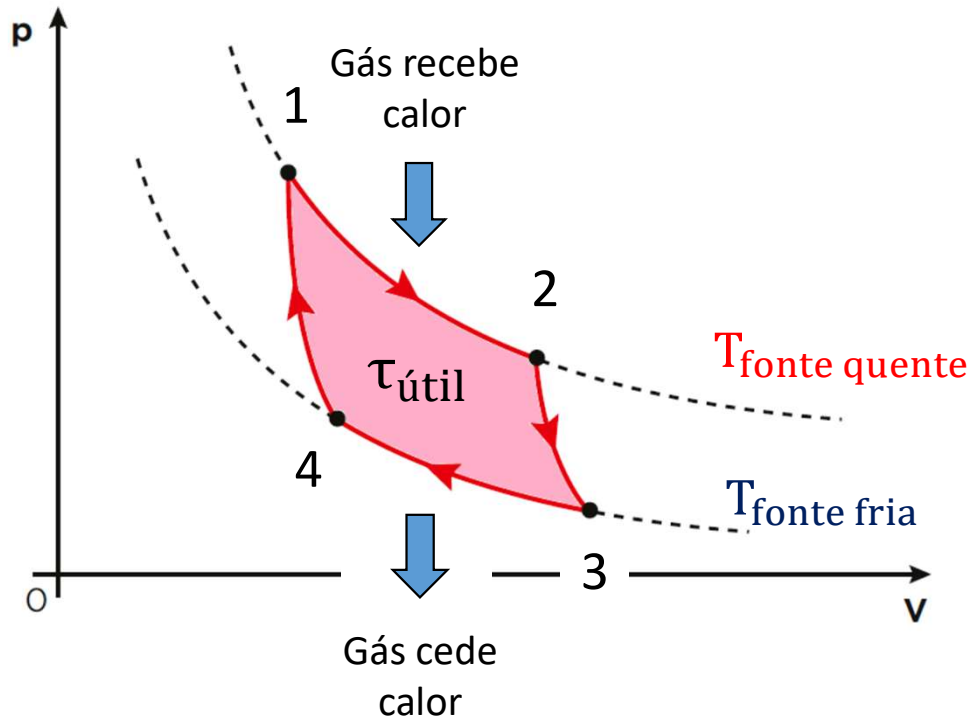
2ª Lei da Termodinâmica

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%.

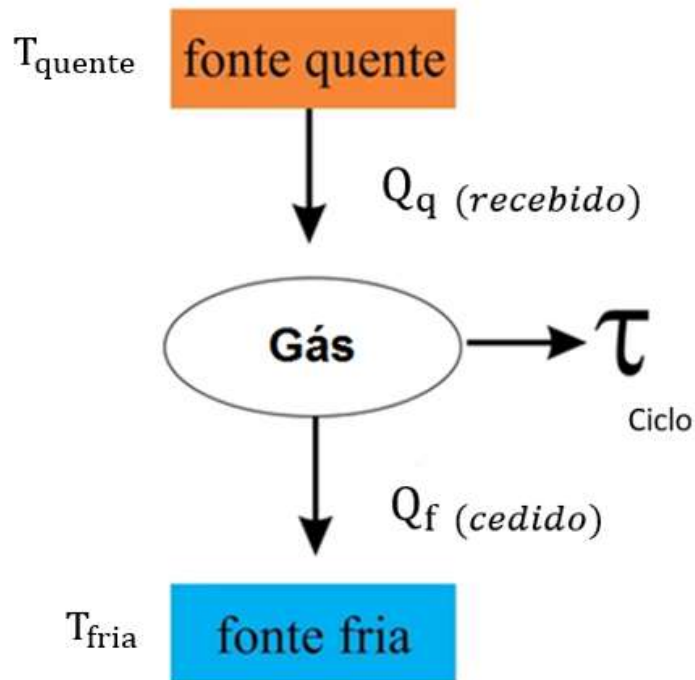
Motor – Ciclo de Carnot



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

- Máximo rendimento para uma máquina que opera entre duas temperaturas (T_{quente} e T_{fria}).
- Cuidado! O rendimento nunca será igual a 100%.

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



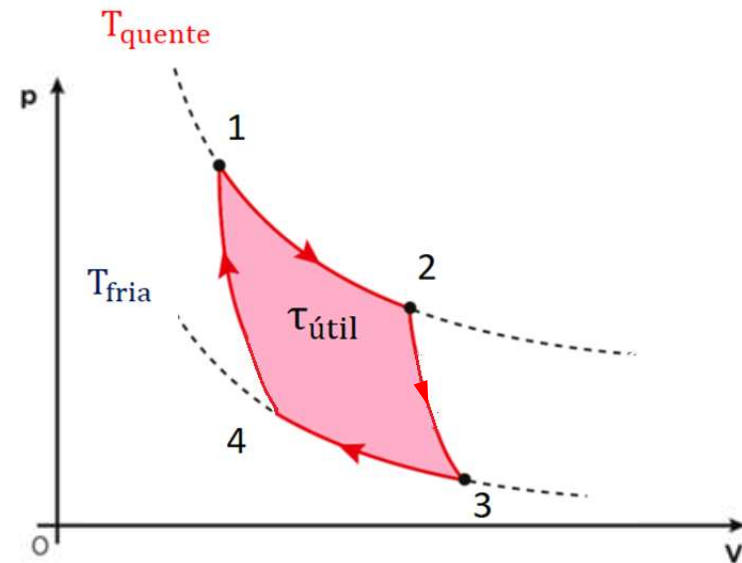
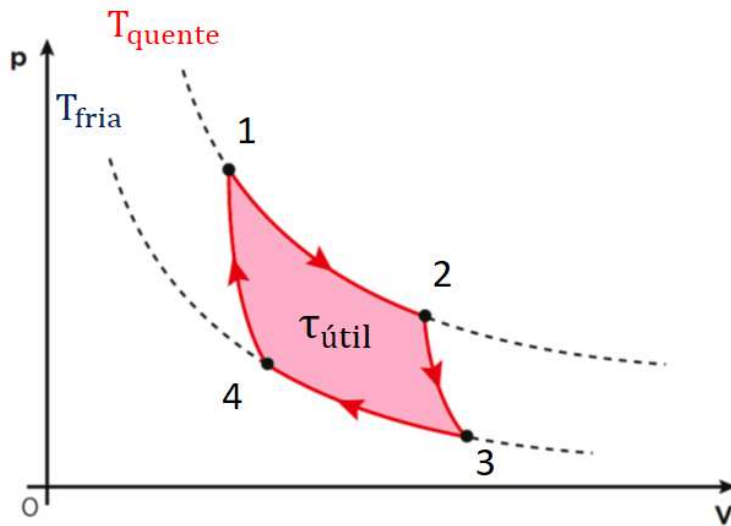
Expressões válidas para todos os casos de motores (inclusive para ciclo de Carnot)

Expressão válida apenas para o Ciclo de Carnot

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

- 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

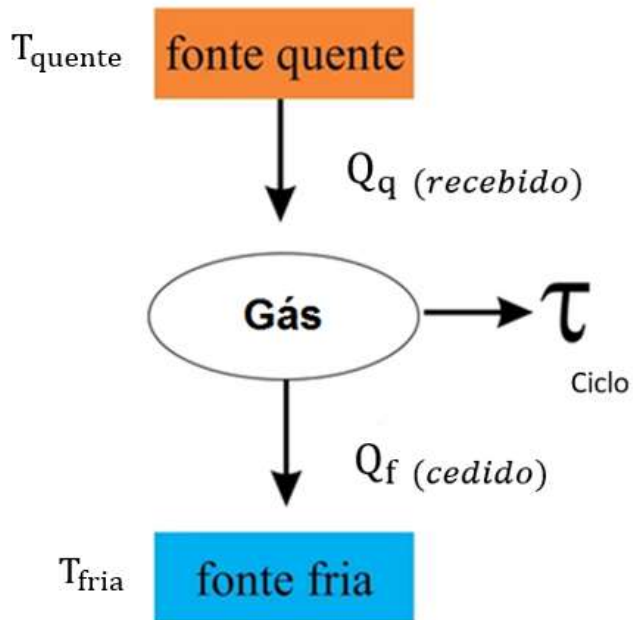


$$\eta \uparrow = \frac{|\tau_{\text{útil}}| \uparrow}{|Q_q|} = \frac{(T_q - T_f) \uparrow}{T_q}$$

3º Princípio da Termodinâmica

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

Exemplo:

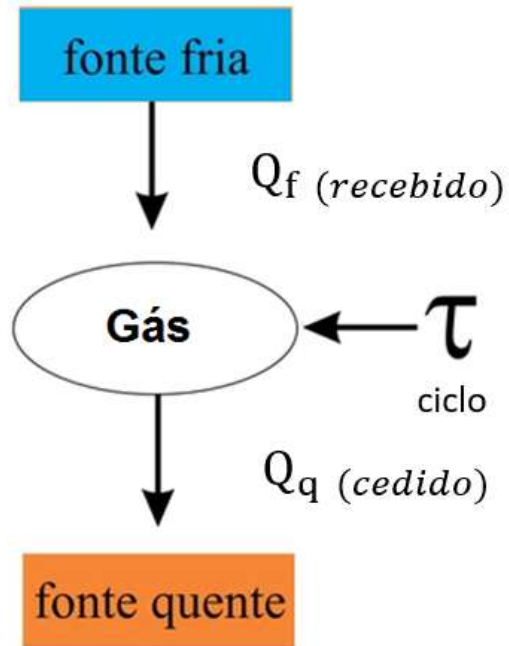


$$\eta = \frac{|\tau_{\text{ciclo}}|}{|Q_q|} = \frac{|Q_q| - |Q_f|}{|Q_q|} = \frac{T_q - T_f}{T_q}$$

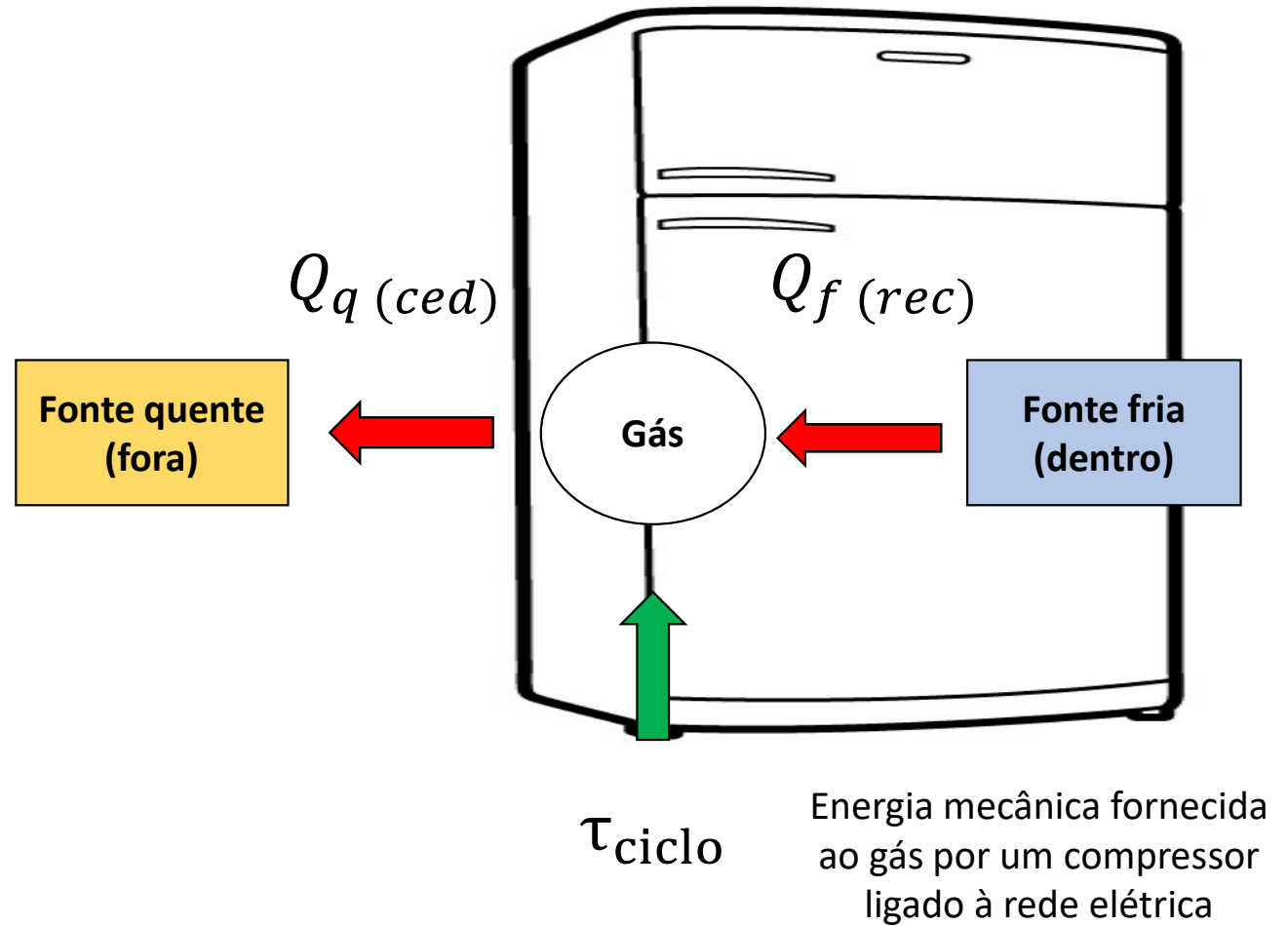
Se $T_f = 0 \rightarrow \eta = 100\%$ (impossível!)

Bombas de calor - refrigerador

Conversão de Energia Mecânica em Energia Térmica

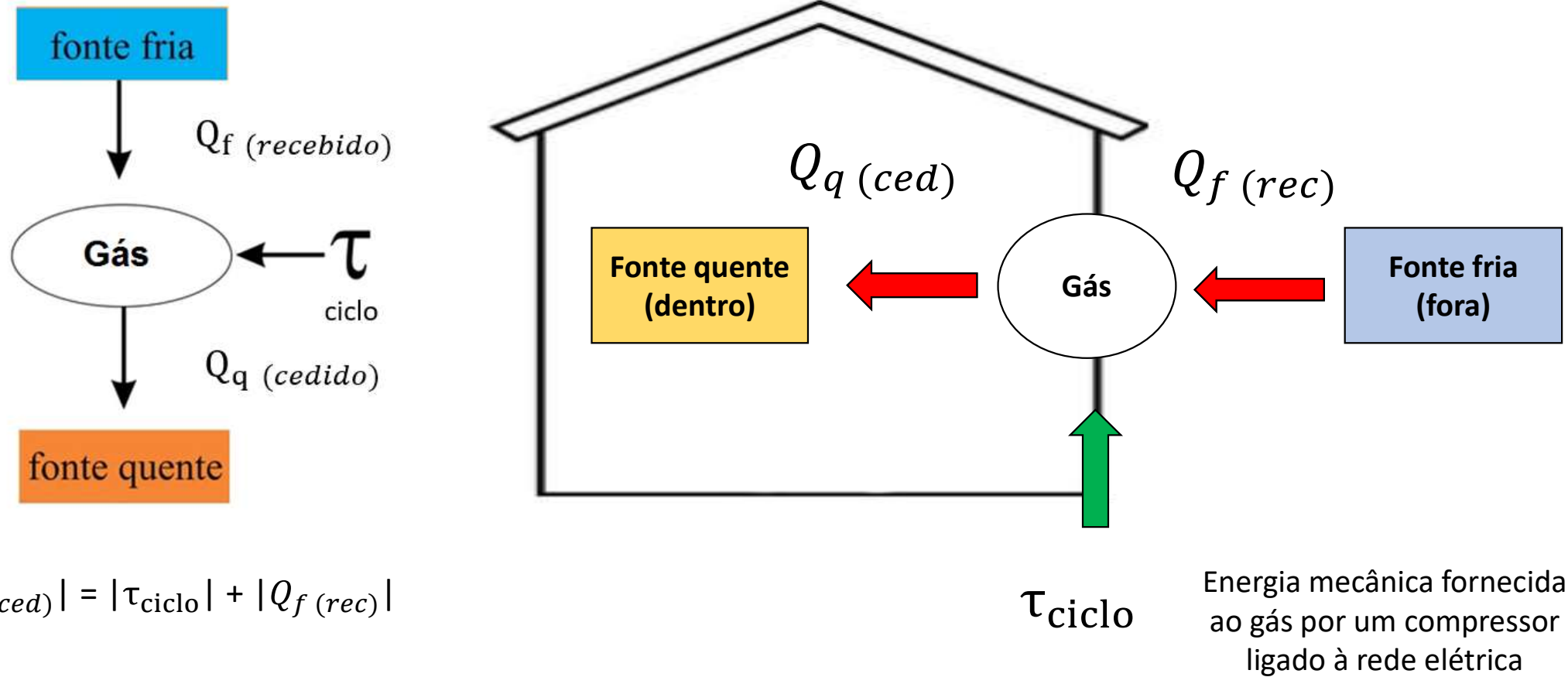


$$|Q_q(\text{ced})| = |\tau_{\text{ciclo}}| + |Q_f(\text{rec})|$$

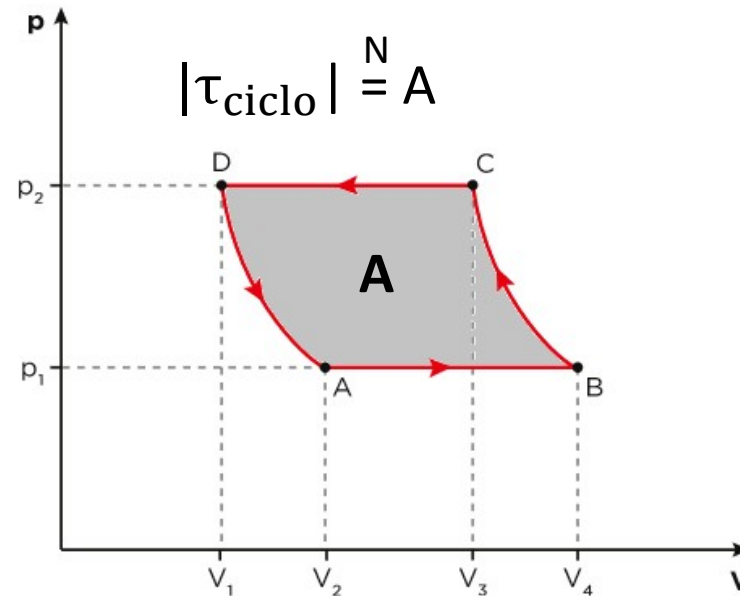
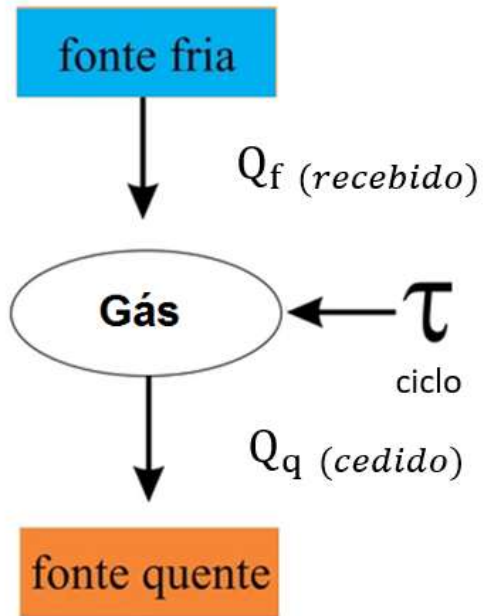


Bombas de calor - aquecedor

Conversão de Energia Mecânica em Energia Térmica



Bombas de calor – aquecedor e refrigerador



Eficiência térmica

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

* e pode ser maior do que 1

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

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

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.

Exercícios



1. (UEPG-PR) Em relação às máquinas térmicas, assinale o que for correto.

(01) Máquinas térmicas são dispositivos que convertem parte da energia térmica recebida em trabalho mecânico.

(02) O motor a combustão de um automóvel é um exemplo de máquina térmica.

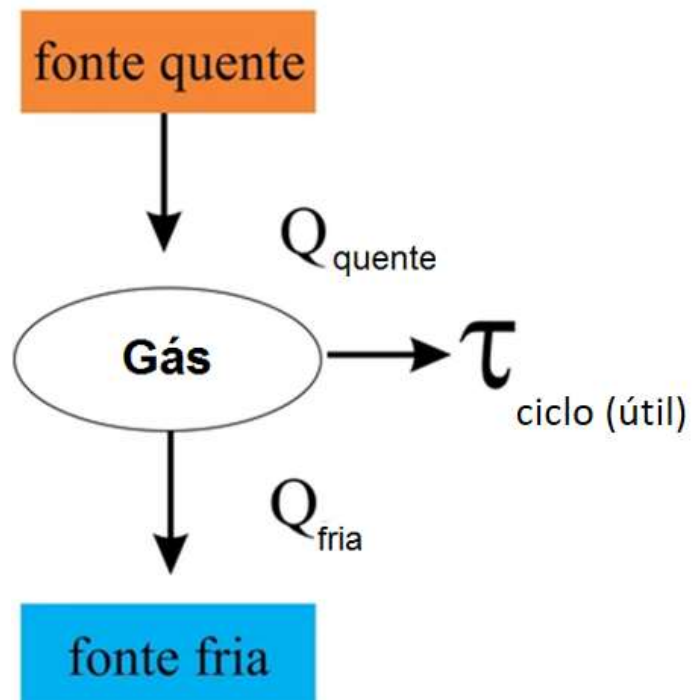
(04) De acordo com a primeira lei da Termodinâmica, o calor adicionado a um sistema é numericamente igual à variação da energia interna do sistema mais o trabalho externo realizado pelo sistema.

(08) As máquinas térmicas mais eficientes transformam todo o calor recebido de um reservatório quente em trabalho mecânico.

1. (UEPG-PR) Em relação às máquinas térmicas, assinale o que for correto.

(01) Máquinas térmicas são dispositivos que convertem parte da energia térmica recebida em trabalho mecânico.

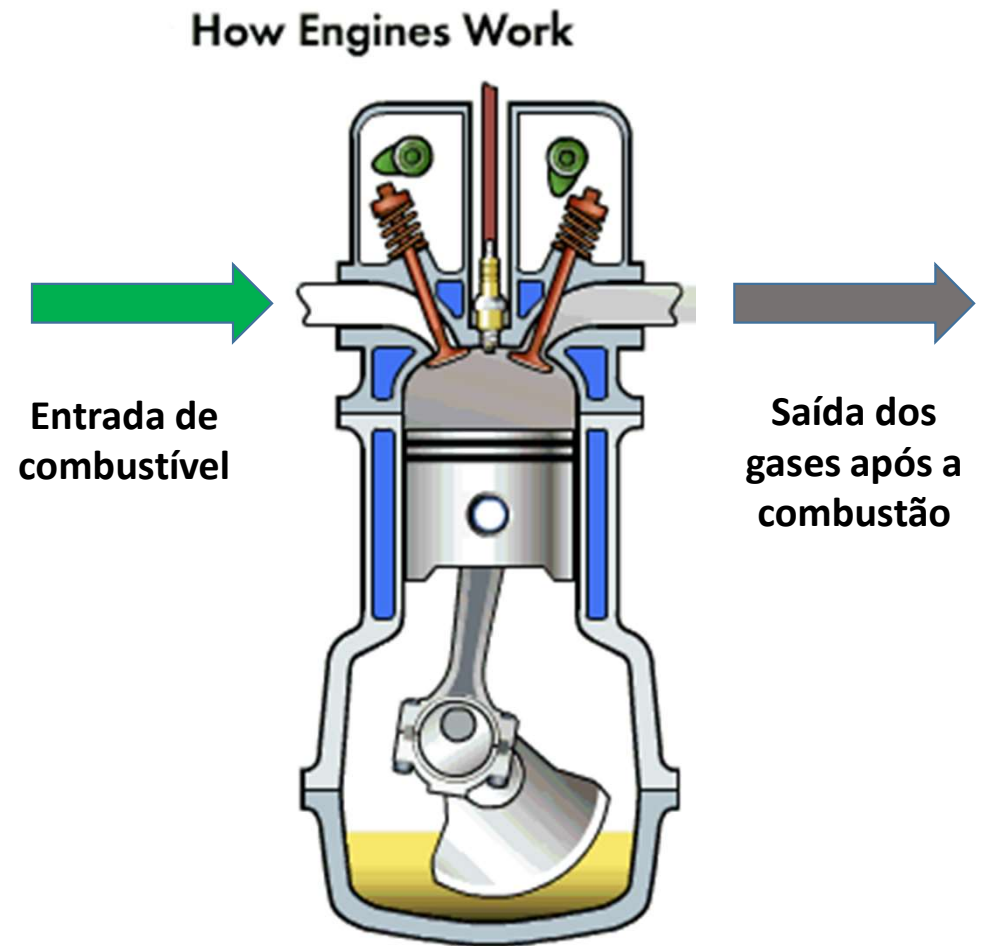
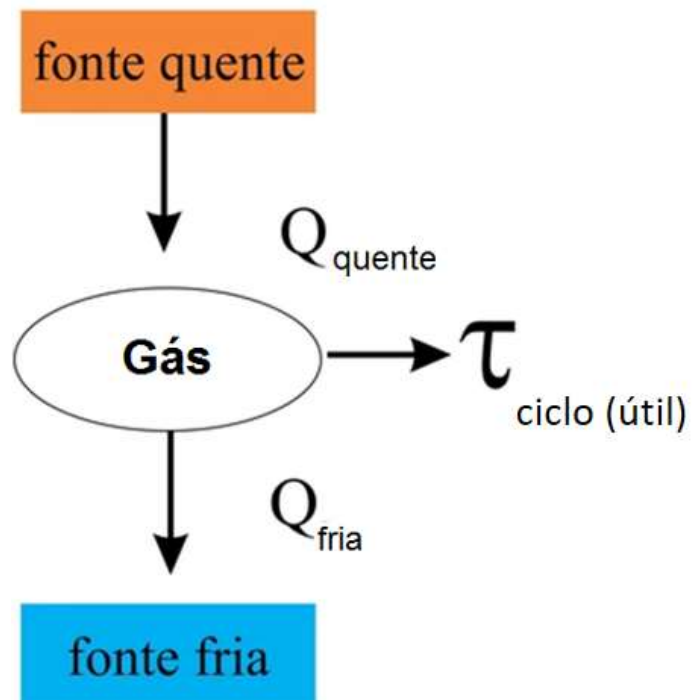
CORRETO



1. (UEPG-PR) Em relação às máquinas térmicas, assinale o que for correto.

(02) O motor a combustão de um automóvel é um exemplo de máquina térmica.

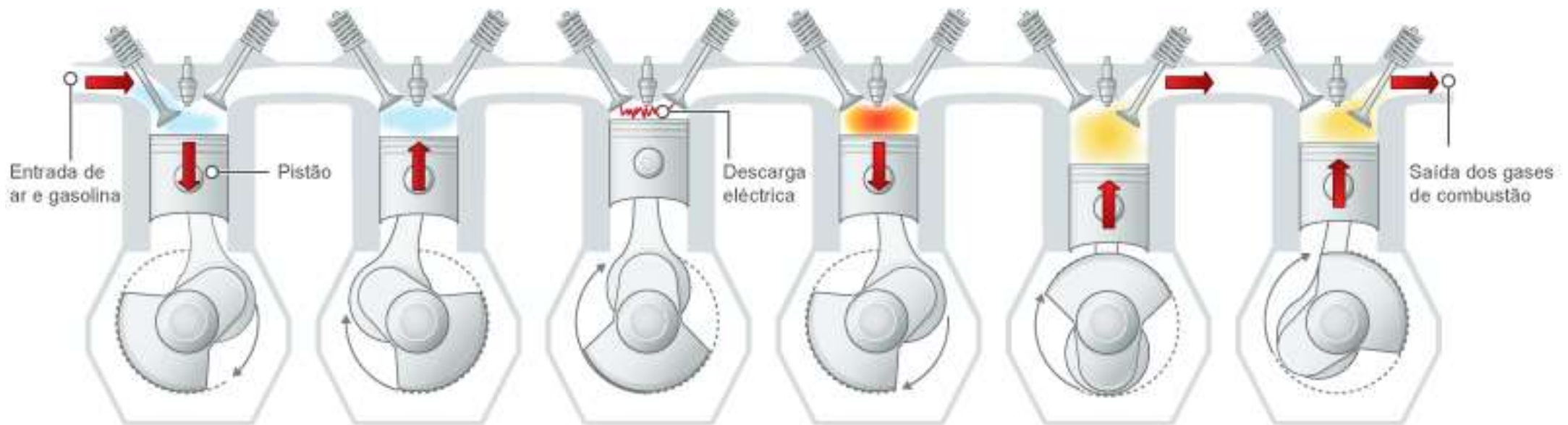
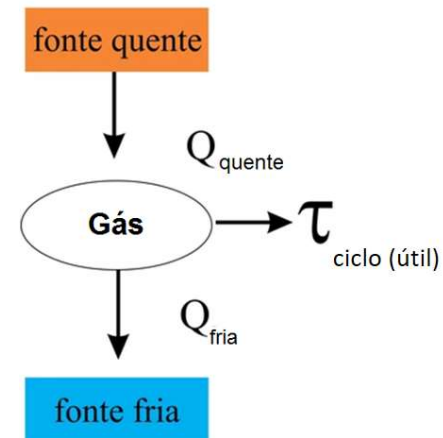
CORRETO



1. (UEPG-PR) Em relação às máquinas térmicas, assinale o que for correto.

(02) O motor a combustão de um automóvel é um exemplo de máquina térmica.

CORRETO



1. (UEPG-PR) Em relação às máquinas térmicas, assinale o que for correto.

(04) De acordo com a primeira lei da Termodinâmica, o calor adicionado a um sistema é numericamente igual à variação da energia interna do sistema mais o trabalho externo realizado pelo sistema.

CORRETO

1ª Lei da termodinâmica

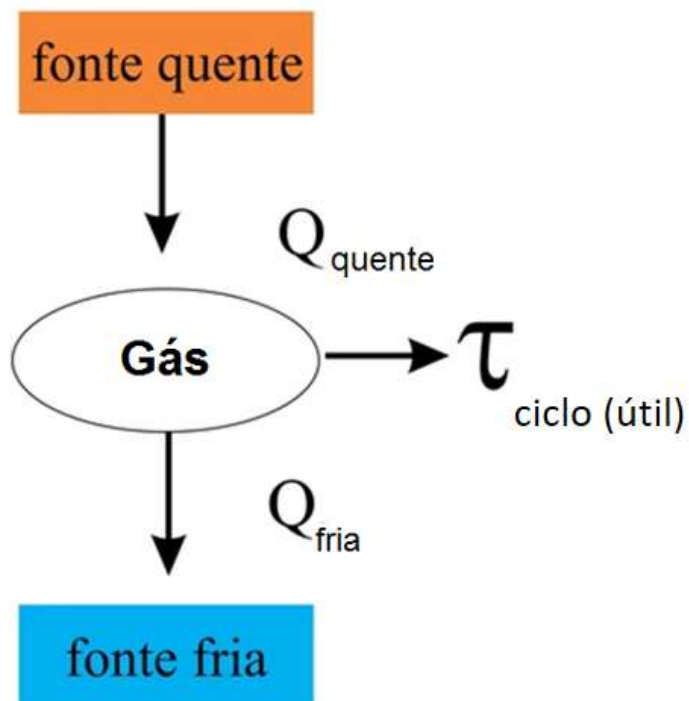
$$\Delta U = Q - \tau$$

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

1. (UEPG-PR) Em relação às máquinas térmicas, assinale o que for correto.

(08) As máquinas térmicas mais eficientes transformam todo o calor recebido de um reservatório quente em trabalho mecânico.

INCORRETO



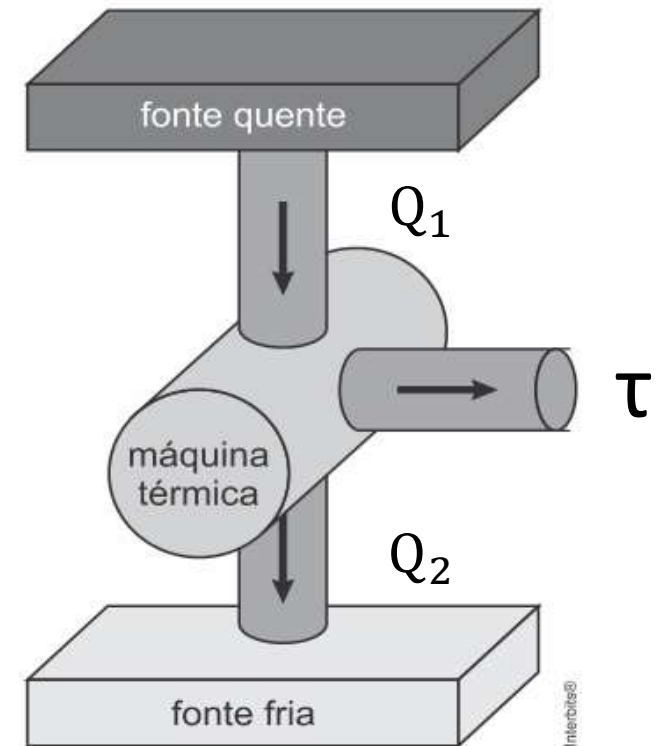
$$n = \frac{|\tau_{\text{útil}}|}{|Q_q|}$$

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

2. (Famerp 2017) A figura representa o diagrama de fluxo de energia de uma máquina térmica que, trabalhando em ciclos, retira calor (Q_1) de uma fonte quente. Parte dessa quantidade de calor é transformada em trabalho mecânico (τ) e a outra parte (Q_2) transfere-se para uma fonte fria. A cada ciclo da máquina, Q_1 e Q_2 são iguais, em módulo, respectivamente, a 4000J e 2.800J .

Sabendo que essa máquina executa 3.000 ciclos por minuto, calcule:

- a) o rendimento dessa máquina.
- b) a potência, em watts, com que essa máquina opera.



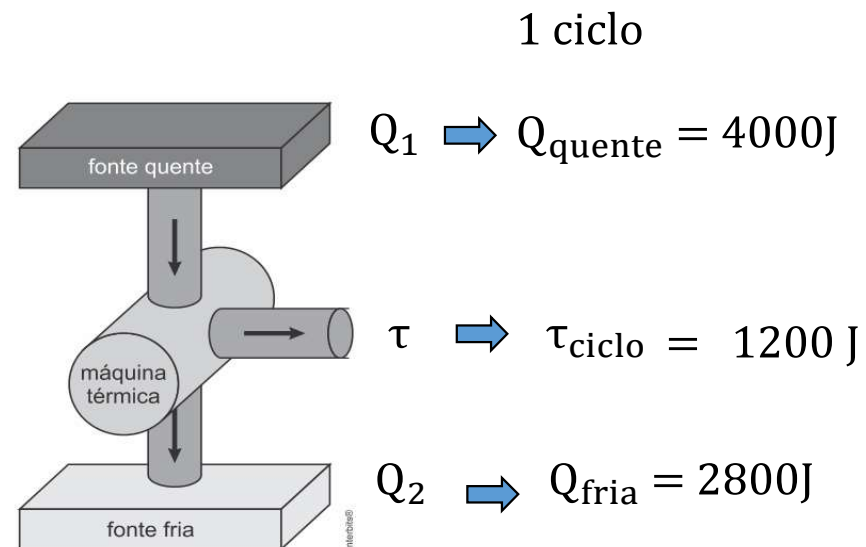
2. (Famerp 2017) A figura representa o diagrama de fluxo de energia de uma máquina térmica que, trabalhando em ciclos, retira calor (Q_1) de uma fonte quente. Parte dessa quantidade de calor é transformada em trabalho mecânico (τ) e a outra parte (Q_2) transfere-se para uma fonte fria. A cada ciclo da máquina, Q_1 e Q_2 são iguais, em módulo, respectivamente, a 4000J e 2.800J .

Sabendo que essa máquina executa 3.000 ciclos por minuto, calcule:

a) o rendimento dessa máquina.

$$n = \frac{|\tau_{\text{ciclo}}|}{|Q_q|} = \frac{1200}{4000} = 0,3$$

$n = 30\%$



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

$$4000 = |\tau_{\text{ciclo}}| + 2800$$

$$|\tau_{\text{ciclo}}| = 4000 - 2800$$

$$|\tau_{\text{ciclo}}| = 1200\text{ J}$$

2. (Famerp 2017) A figura representa o diagrama de fluxo de energia de uma máquina térmica que, trabalhando em ciclos, retira calor (Q_1) de uma fonte quente. Parte dessa quantidade de calor é transformada em trabalho mecânico (τ) e a outra parte (Q_2) transfere-se para uma fonte fria. A cada ciclo da máquina, Q_1 e Q_2 são iguais, em módulo, respectivamente, a 4000J e 2.800J .

Sabendo que essa máquina executa 3.000 ciclos por minuto, calcule:

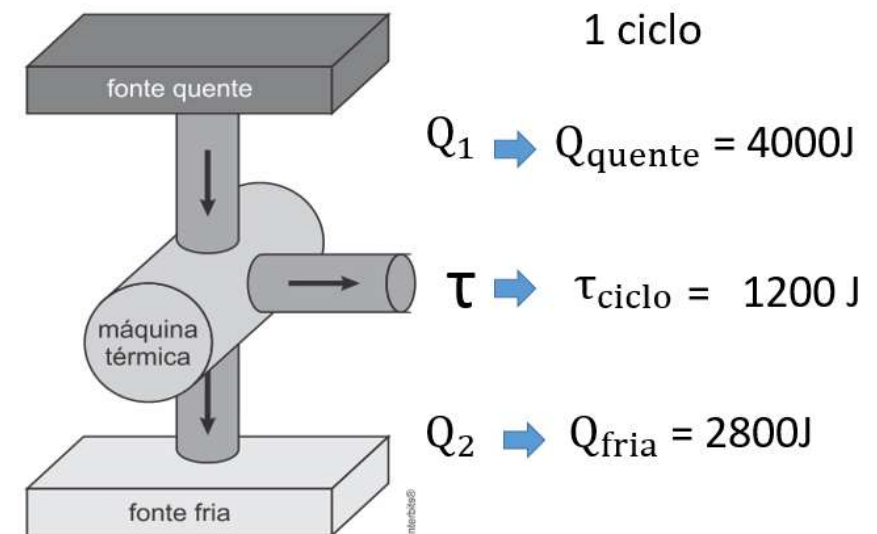
b) a potência, em watts, com que essa máquina opera.

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{3.600.000}{60} = 60000 \text{ W}$$

$$\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s} \rightarrow 3000 \text{ ciclos}$$

$$3000 \times \tau$$

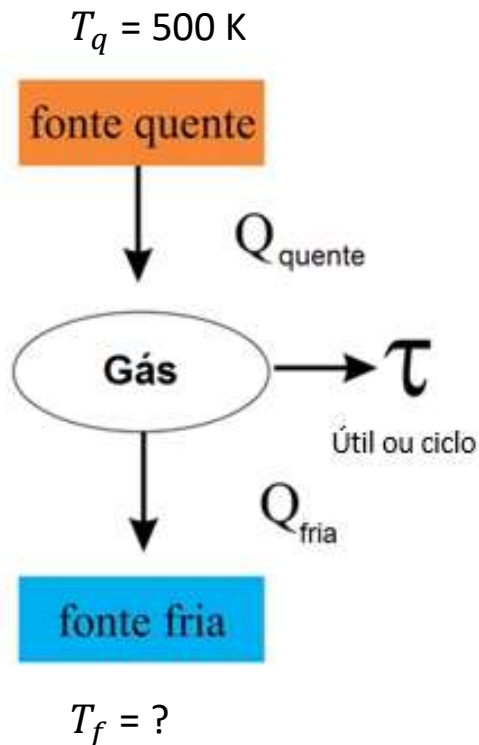
$$3000 \times 1200 = 3.600.000 \text{ J}$$



3. (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

3. (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?



$$T_f = ?$$

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

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

$$200 = 500 - T_f$$

$$T_f = 500 - 200$$

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

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

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

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

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

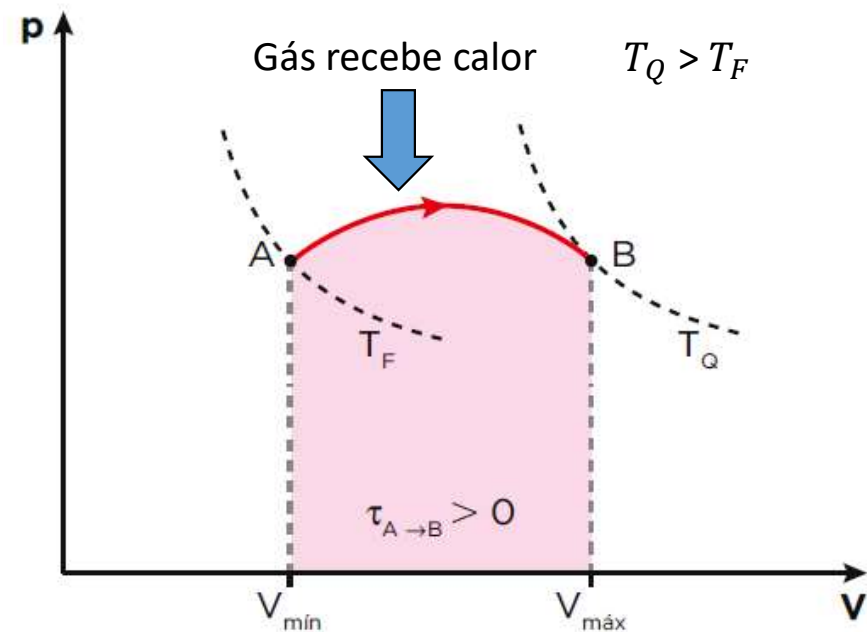
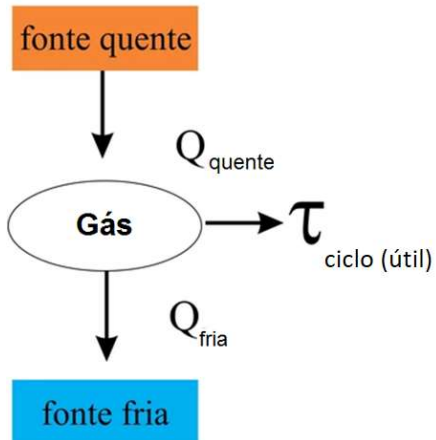
$$\tau_{10 \text{ ciclos}} = 4200 \text{ J}$$

$$\tau_1 \text{ ciclo} = 420 \text{ J}$$

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

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

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

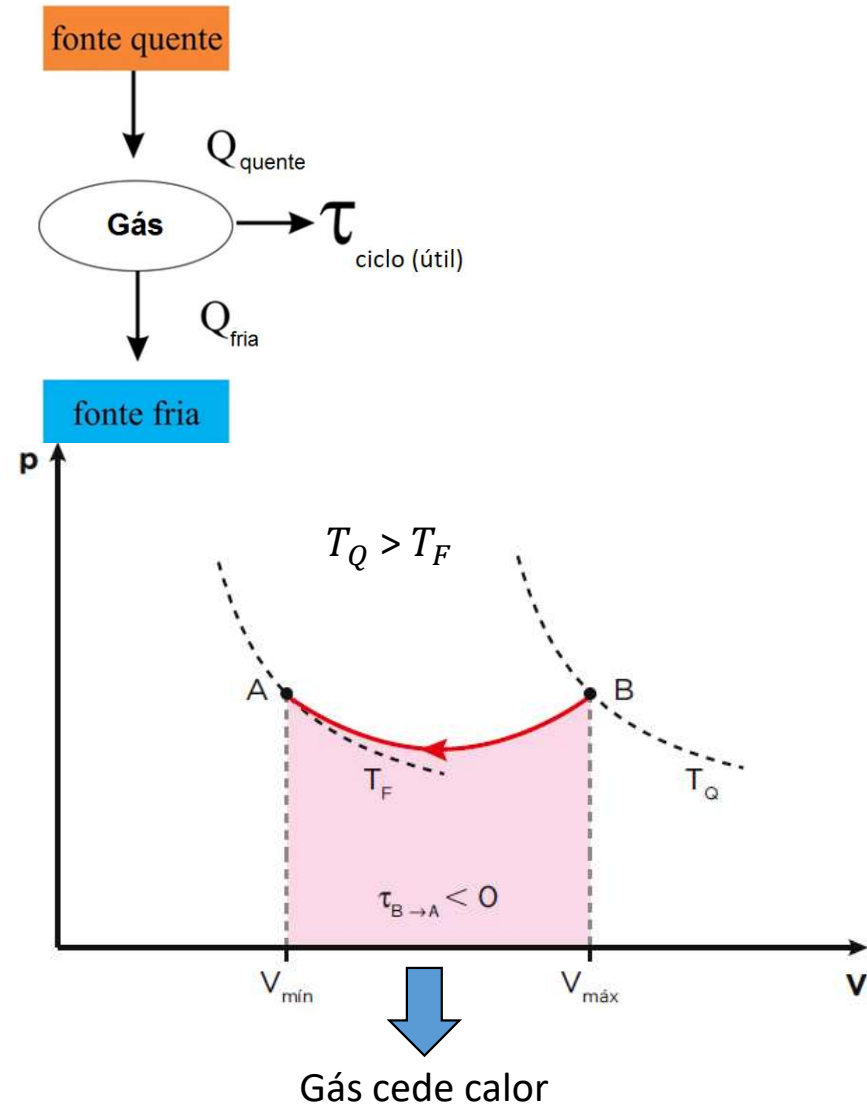
$$(+) = (+) + (+)$$

$$Q_{AB} > 0$$

O gás recebe calor da fonte quente

Q_{AB} é o Q_{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

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

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

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

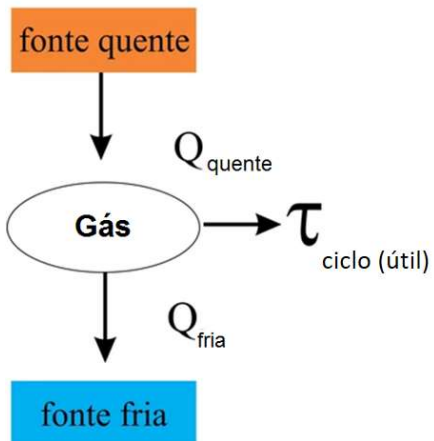
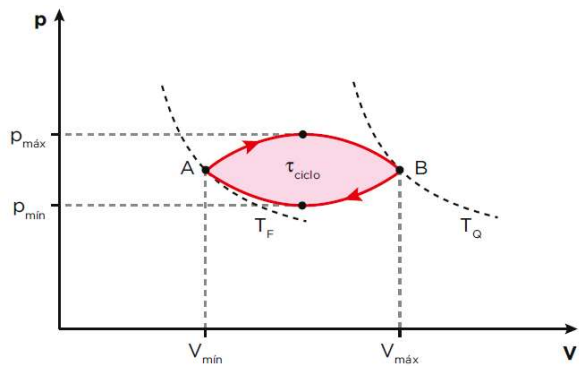
$$(-) = (-) + (-)$$

$$Q_{BA} < 0$$

O gás cede calor à fonte fria

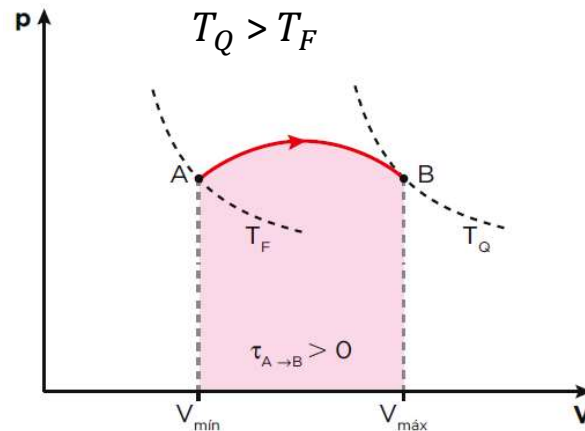
Q_{BA} é o Q_{fria}

Máquinas Térmicas - Motor



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

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



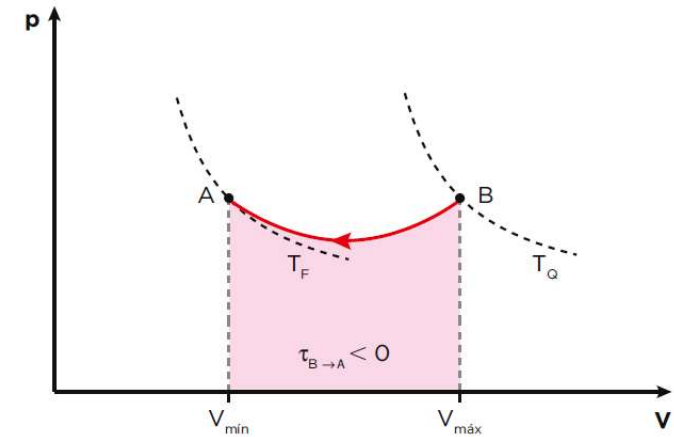
Expansão → $\tau_{AB} > 0$

O gás cede energia mecânica

$$Q_{AB} > 0$$

O gás recebe calor da fonte quente

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



Compressão → $\tau_{BA} < 0$

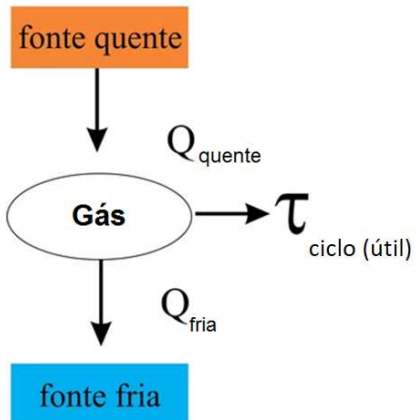
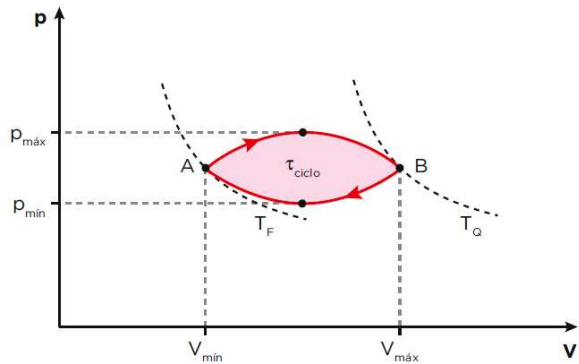
O gás recebe energia mecânica

$$Q_{BA} < 0$$

O gás cede calor à fonte fria

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

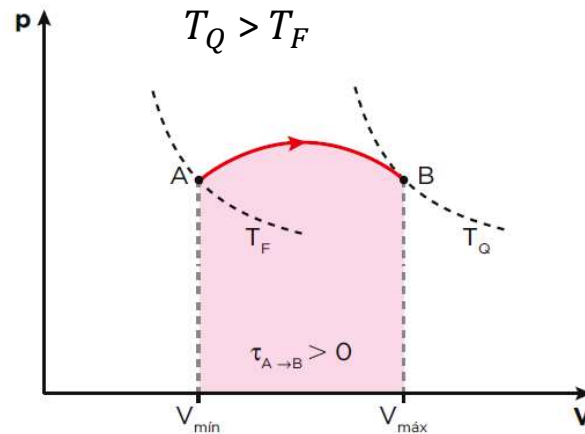
Máquinas Térmicas - Motor



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

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

$$|Q_q| > |Q_f|$$



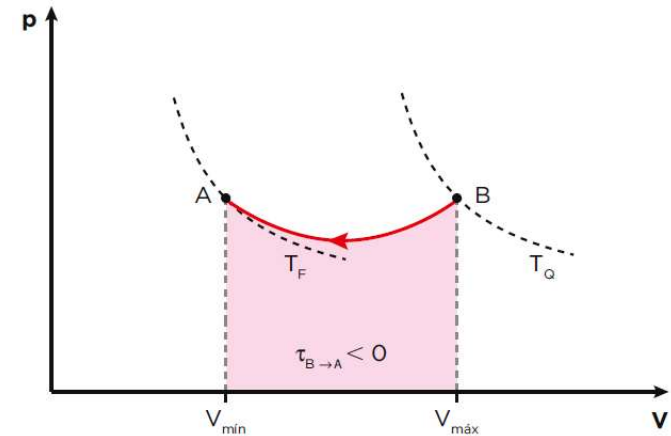
Expansão $\rightarrow \tau_{AB} > 0$

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

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