

# **BIJ0207-15**

## **Bases Conceituais da Energia**

Prof. Dr. José Antonio Souza

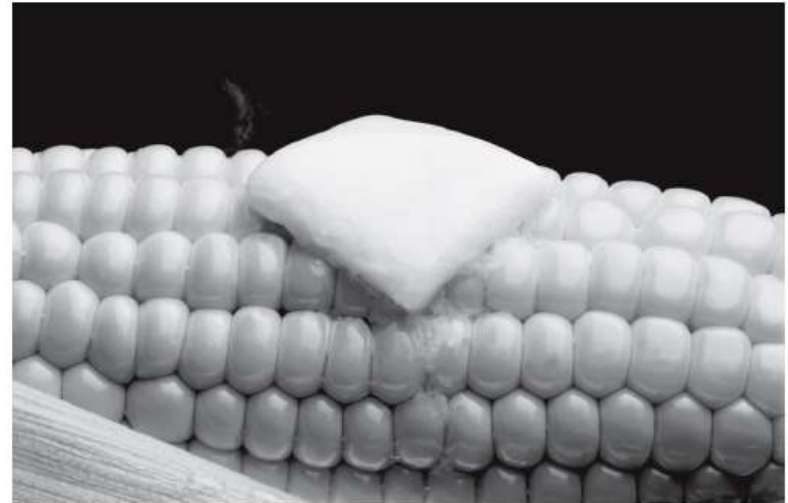
**Aula 7**





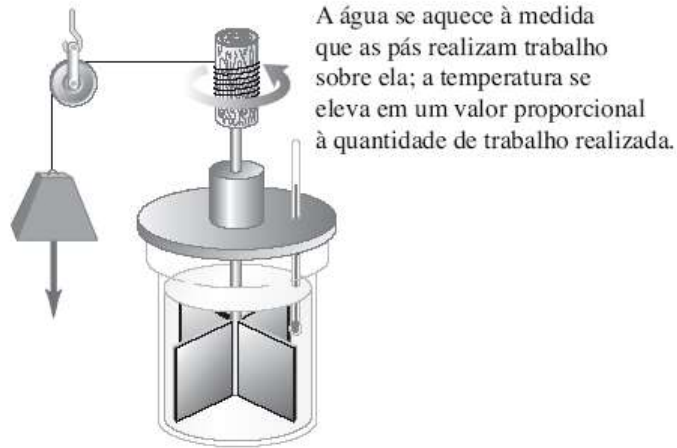
A primeira lei da termodinâmica explica o funcionamento de uma locomotiva a vapor. A água é aquecida e ferve, e o vapor em expansão realiza o trabalho que impulsiona a locomotiva para a frente. Seria possível o vapor impulsionar a locomotiva realizando trabalho ao *condensar*?

$$\Delta U = Q - W$$

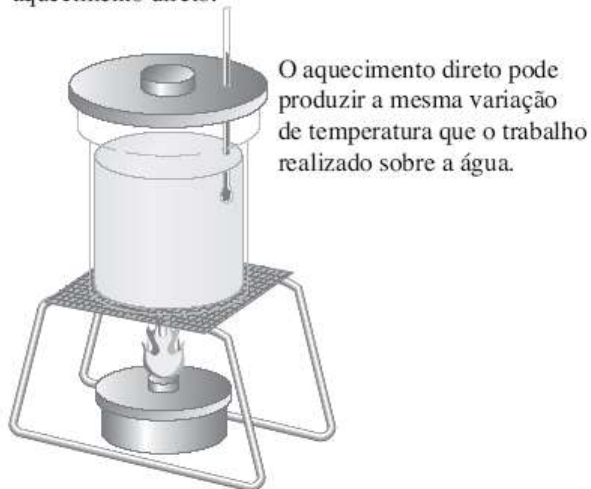


A segunda lei da termodinâmica diz que o calor flui naturalmente de um corpo quente (como uma espiga recém-cozida de milho) para um corpo frio (como uma porção de manteiga). Será que existe *alguma* possibilidade de o calor passar de um corpo frio para um corpo quente?

## Quantidade de Calor



(b) Elevando a temperatura da água por aquecimento direto.



**Figura 17.15** A mesma variação de temperatura produzida em um mesmo sistema pode ser obtida (a) realizando-se um trabalho sobre o sistema e (b) transferindo-se calor para o sistema.

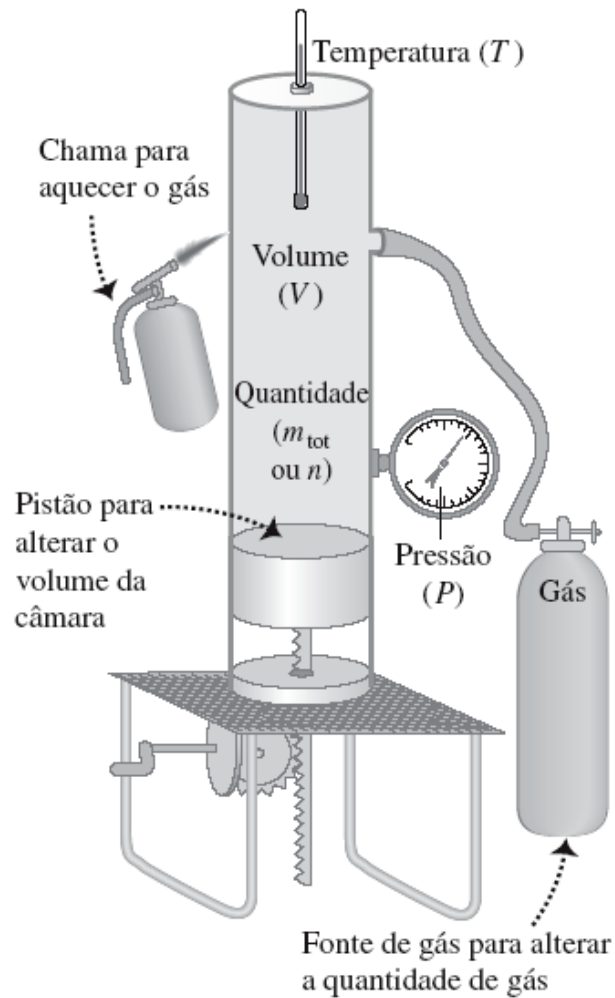
Transferência de energia por variação de temperatura denomina-se fluxo de calor.

$$\Delta U = Q - W$$

Definição de calor:

Transferência de energia de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura.

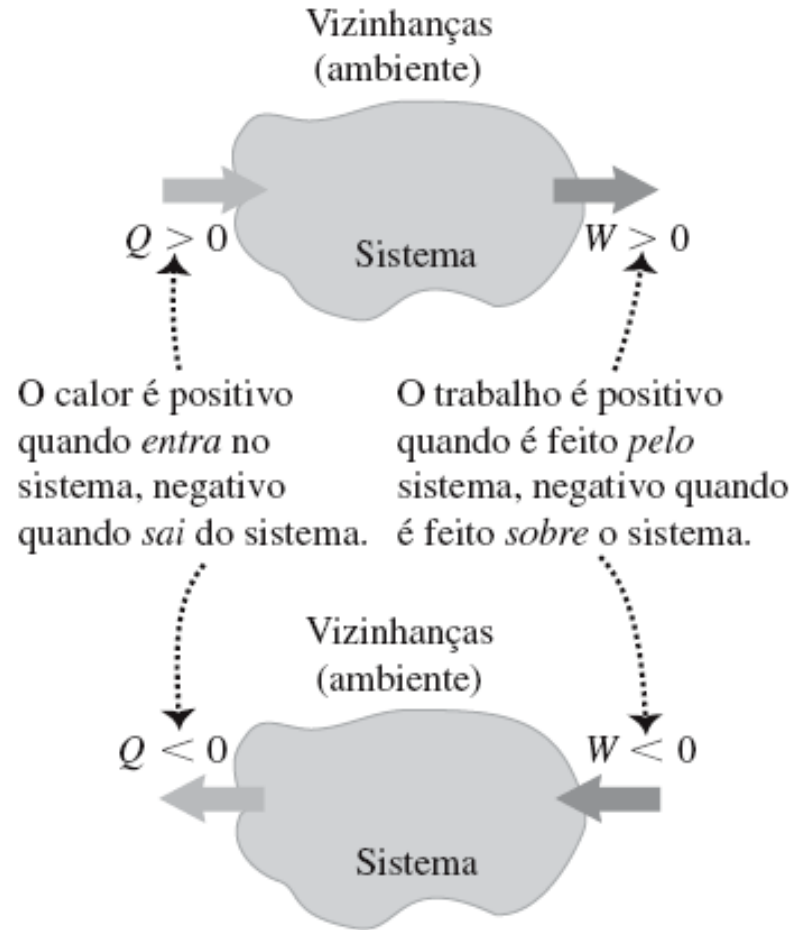
# GASES



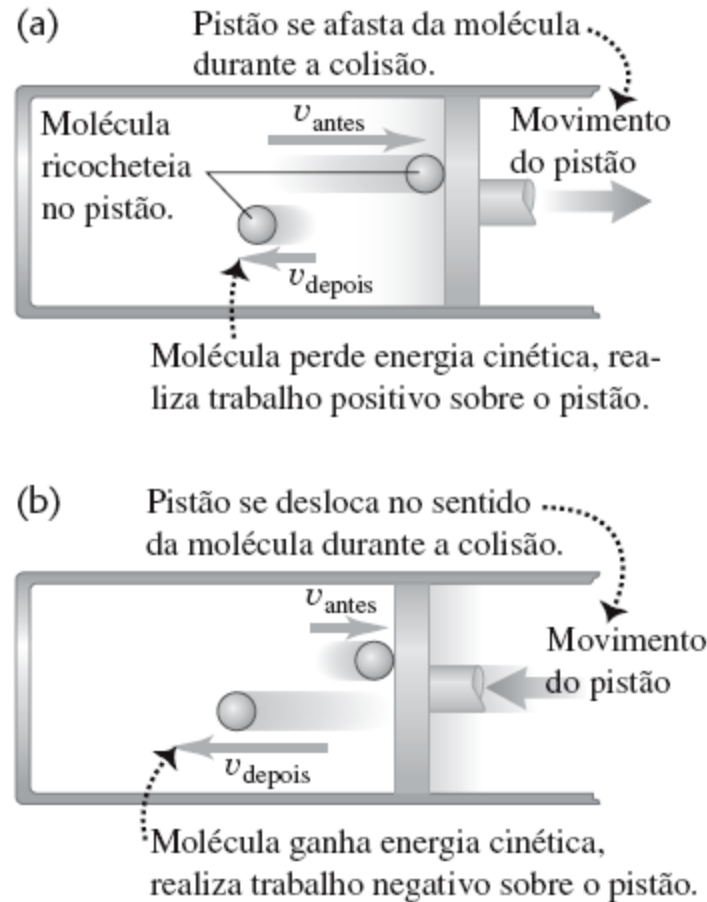
$$PV = nRT$$

**Figura 18.1** Um dispositivo hipotético para estudar o comportamento de gases. Aquecendo o gás, variando o volume com um pistão móvel e acrescentando mais gás, podemos controlar a pressão  $P$ , o volume  $V$ , a temperatura  $T$  e o número de moles  $n$ .

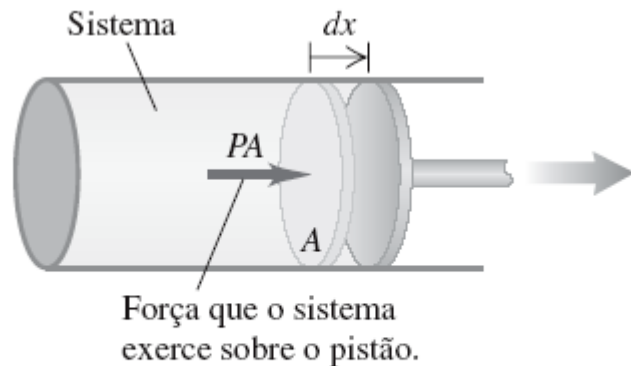
## Sistema termodinâmico



**Figura 19.3** Um sistema termodinâmico pode trocar energia sob forma de calor, de trabalho ou de ambos com suas vizinhanças (ambiente). Observe as convenções de sinais para  $Q$  e  $W$ .



**Figura 19.4** (a) Quando uma molécula colide com um pistão, ela (a) realiza trabalho positivo se o pistão estiver se afastando da molécula e (b) realiza trabalho negativo se o pistão estiver se movendo na direção da molécula. Logo, um gás realiza trabalho positivo quando se expande, como em (a), e negativo quando se comprime, como em (b).

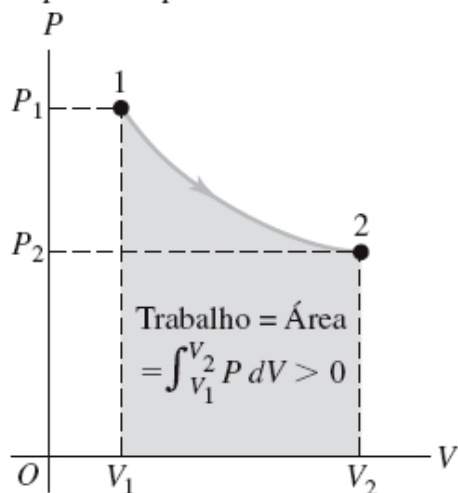


<https://www.youtube.com/watch?v=WTmmvs3uIv0>

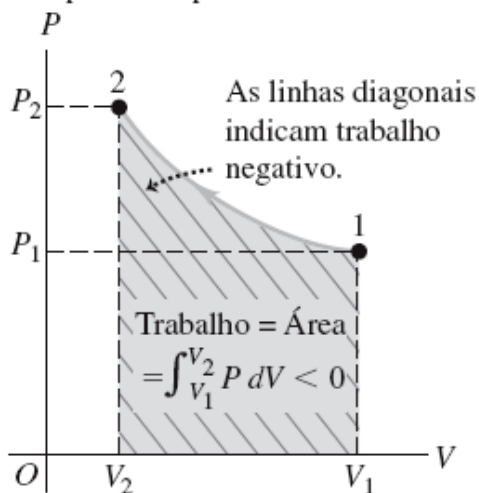
<https://www.youtube.com/watch?v=XIOhuRmEhFo>

**Figura 19.5** O trabalho infinitesimal realizado pelo sistema durante a pequena expansão  $dx$  é  $dW = PA dx$ .

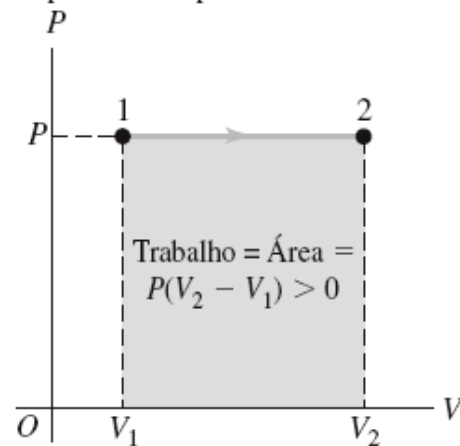
(a) Diagrama  $PV$  de um sistema passando por uma expansão a pressão variável.



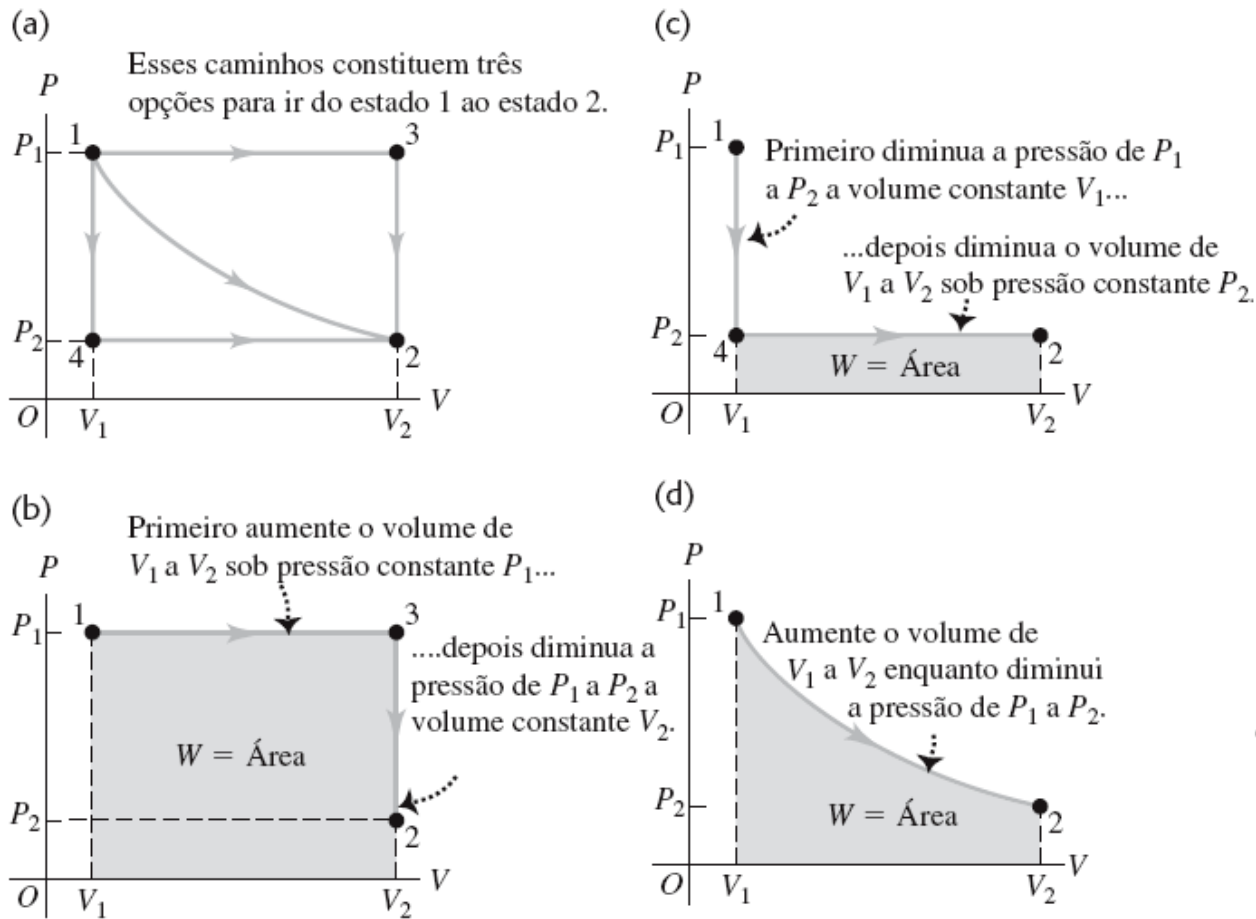
(b) Diagrama  $PV$  de um sistema passando por uma compressão à pressão variável.



(c) Diagrama  $PV$  de um sistema passando por uma expansão sob pressão constante.



**Figura 19.6** O trabalho realizado é dado pela área embaixo da curva em um diagrama  $PV$ .



**Figura 19.7** O trabalho realizado pelo sistema durante uma transição entre dois estados depende do caminho escolhido.

<https://www.youtube.com/watch?v=WTmmvs3uIv0>

<https://www.youtube.com/watch?v=XlOhuRmEhFo>

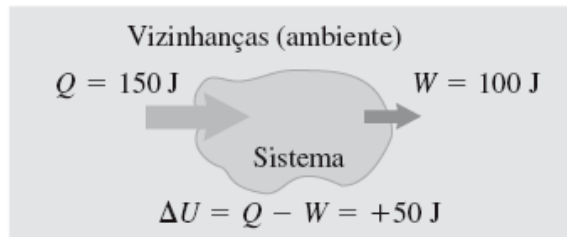


# Energia Interna

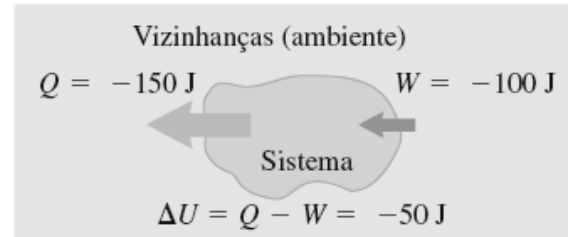
$$\Delta U = Q - W$$

Primeira lei da termodinâmica

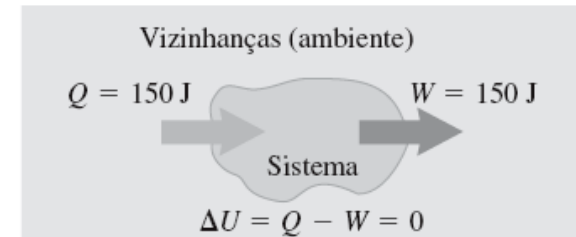
(a) O calor fornecido ao sistema é maior do que o trabalho realizado: a energia interna do sistema aumenta.



(b) O calor transferido para fora do sistema é maior do que o trabalho realizado: a energia interna do sistema diminui.

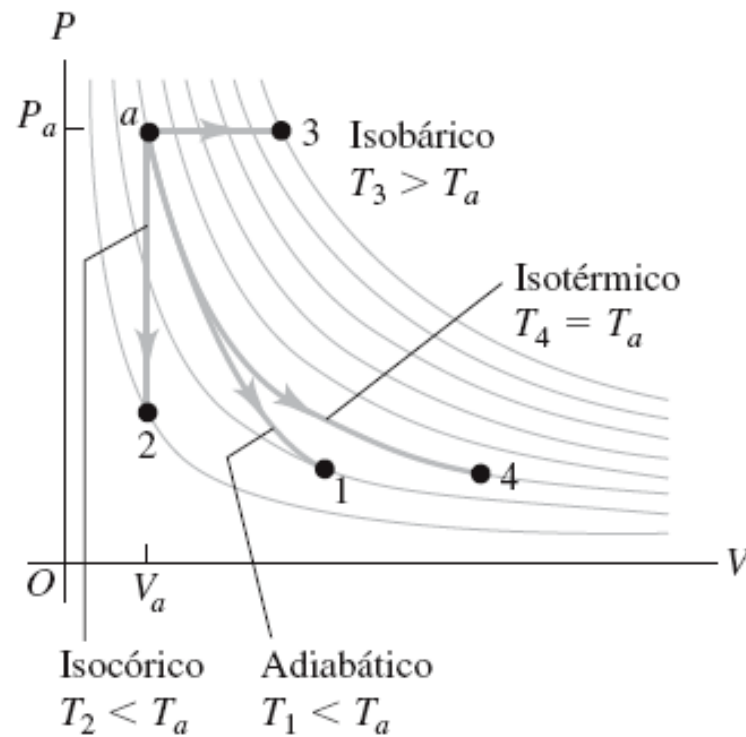


(c) O calor fornecido ao sistema é igual ao trabalho realizado: a energia interna do sistema não se altera.

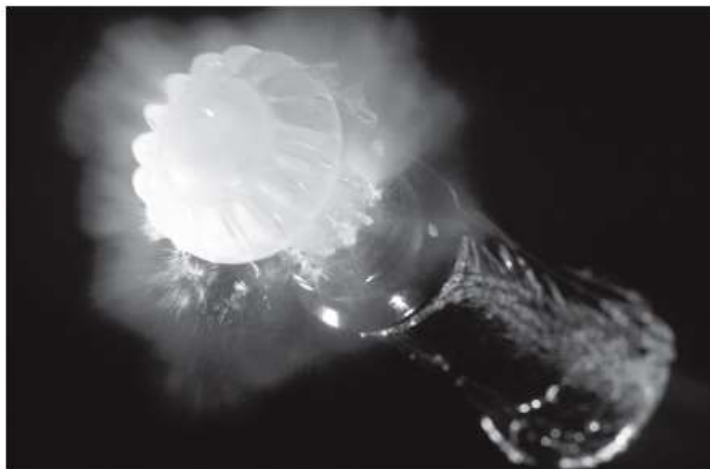


**Figura 19.9** Em um processo termodinâmico, a energia interna  $U$  de um sistema pode (a) aumentar ( $\Delta U > 0$ ); (b) diminuir ( $\Delta U < 0$ ); ou (c) permanecer constante ( $\Delta U = 0$ ).

## Tipos de processos termodinâmicos



**Figura 19.16** Quatro processos diferentes para uma quantidade constante de um gás ideal, todos iniciando no estado  $a$ . No processo adiabático,  $Q = 0$ ; no processo isocórico,  $W = 0$ ; e no processo isotérmico,  $\Delta U = 0$ . A temperatura aumenta somente no caso da expansão isobárica.



**Figura 19.14** Quando a rolha estoura em uma garrafa de champanhe, os gases pressurizados dentro da garrafa se expandem para o ar externo com tanta rapidez que não há tempo para haver troca de calor com o meio ambiente. Logo, a expansão é adiabática. À medida que os gases em expansão realizam trabalho sobre o meio ambiente, sua energia interna e temperatura caem; a temperatura reduzida faz com que o vapor d'água condense e forme uma nuvem em miniatura.

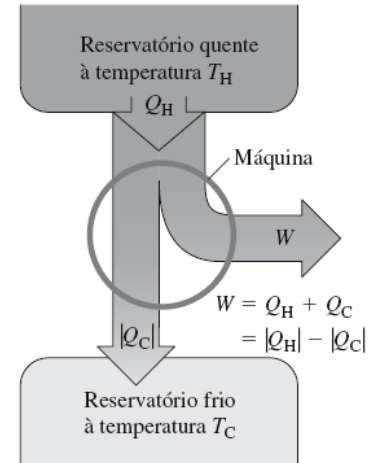


**Figura 19.15** Grande parte da arte de cozinhar envolve processos isobáricos. É por isso que a pressão do ar permanece essencialmente constante acima de uma panela ou no interior de um forno de microondas enquanto a comida é aquecida.

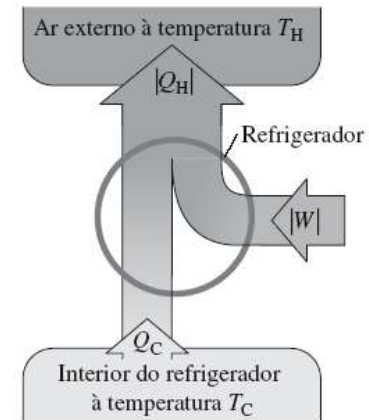
# Máquinas térmicas



**Figura 20.2** Todos os veículos motorizados (exceto os veículos com motor elétrico) usam máquinas térmicas para propulsão. (Os veículos híbridos usam o motor de combustão interna para ajudar a carregar as baterias do motor elétrico.)

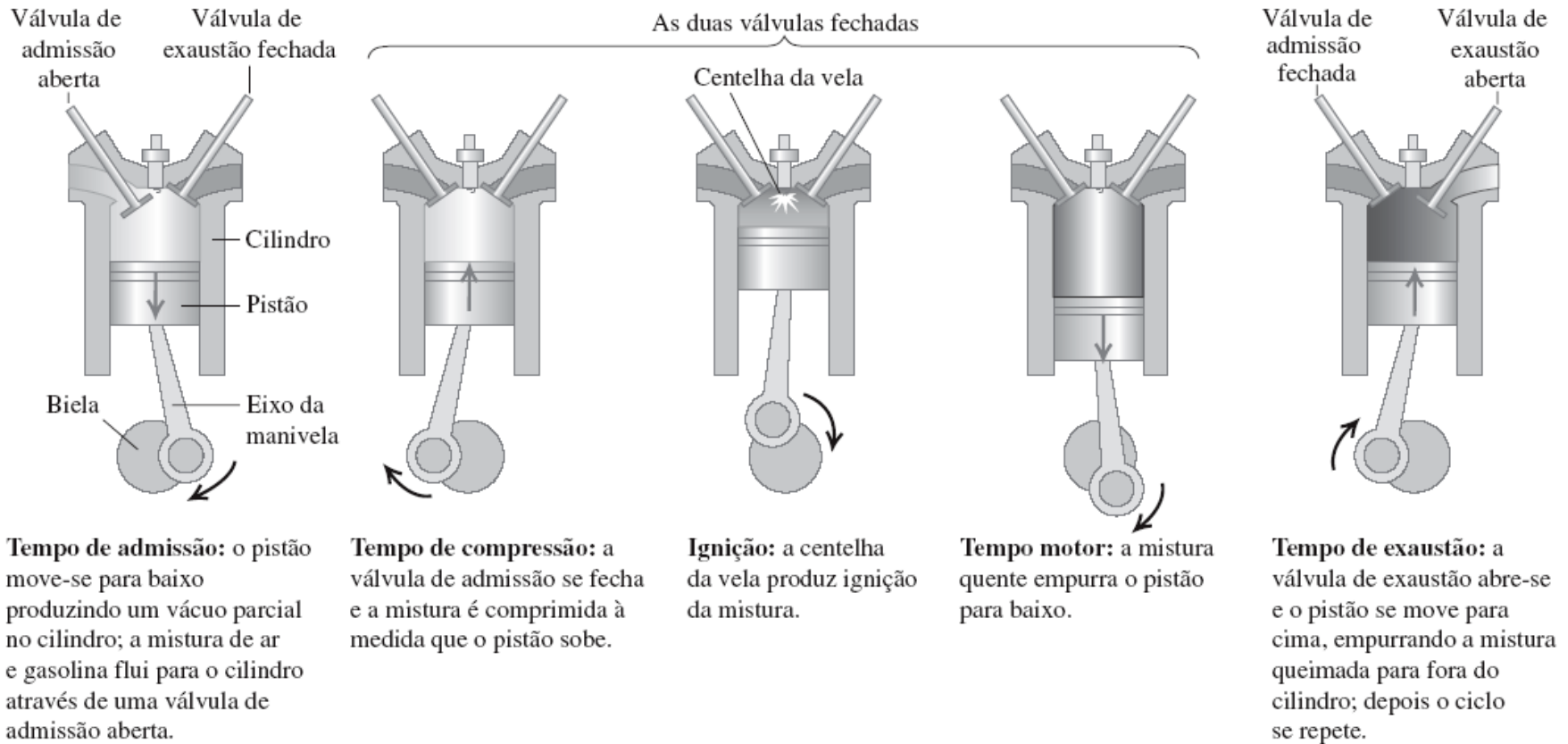


**Figura 20.3** Diagrama esquemático do fluxo de energia de uma máquina térmica.



**Figura 20.8** Diagrama esquemático do fluxo de energia de um refrigerador.

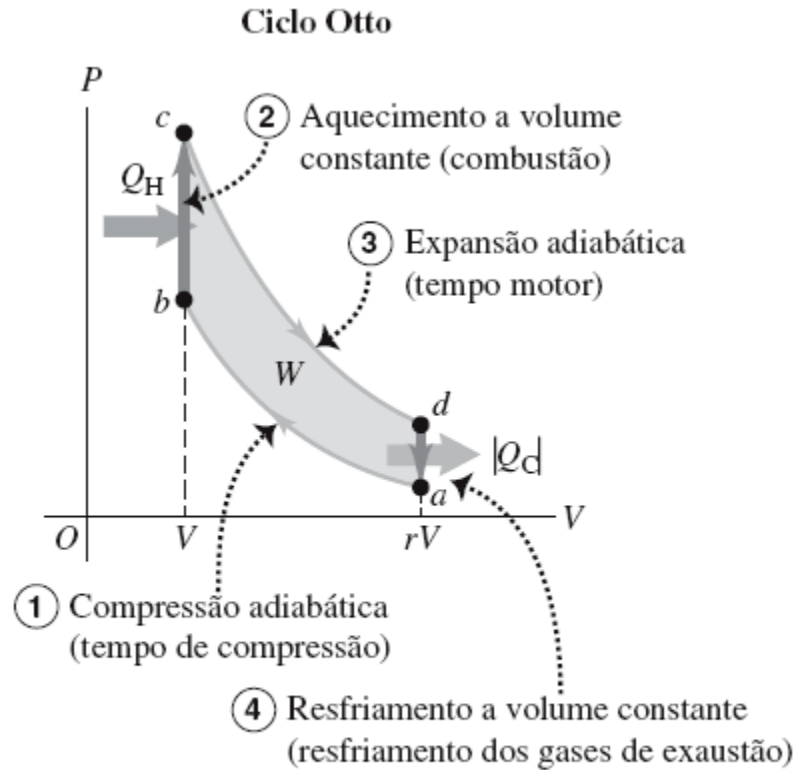
# Máquinas térmicas



**Figura 20.5** Ciclo de um motor de combustão interna com quatro tempos.

<https://www.youtube.com/watch?v=emRxXykWB3Y>

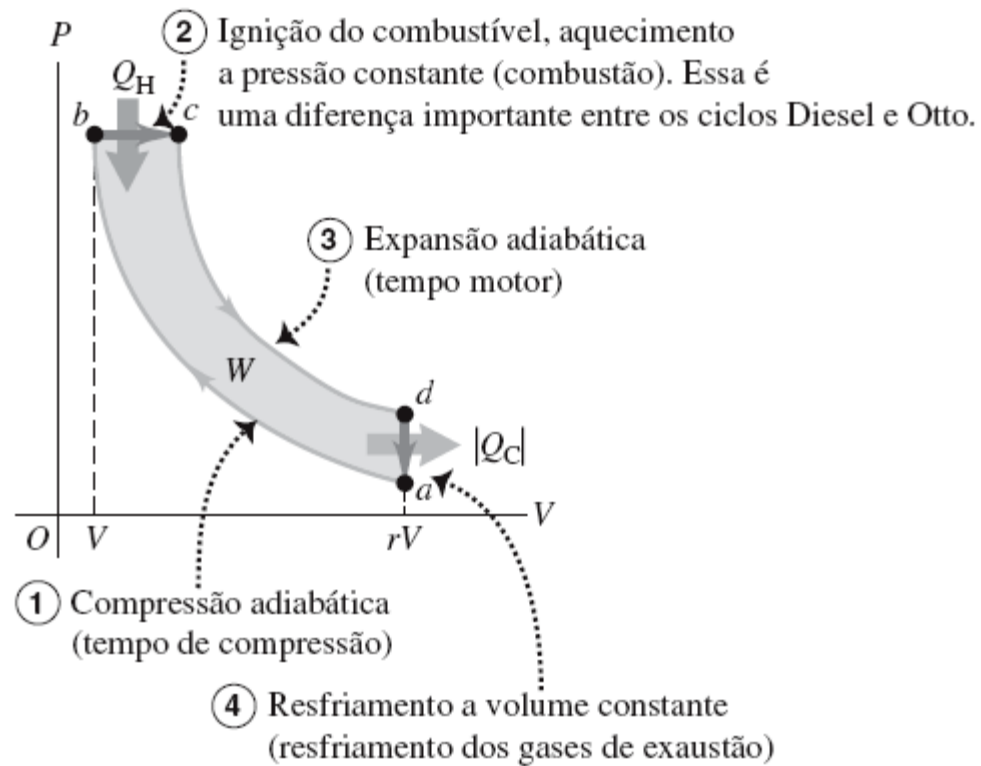
## Máquinas térmicas



**Figura 20.6** Diagrama  $PV$  de um ciclo Otto, modelo do ciclo idealizado de um motor a gasolina.

# Máquinas térmicas

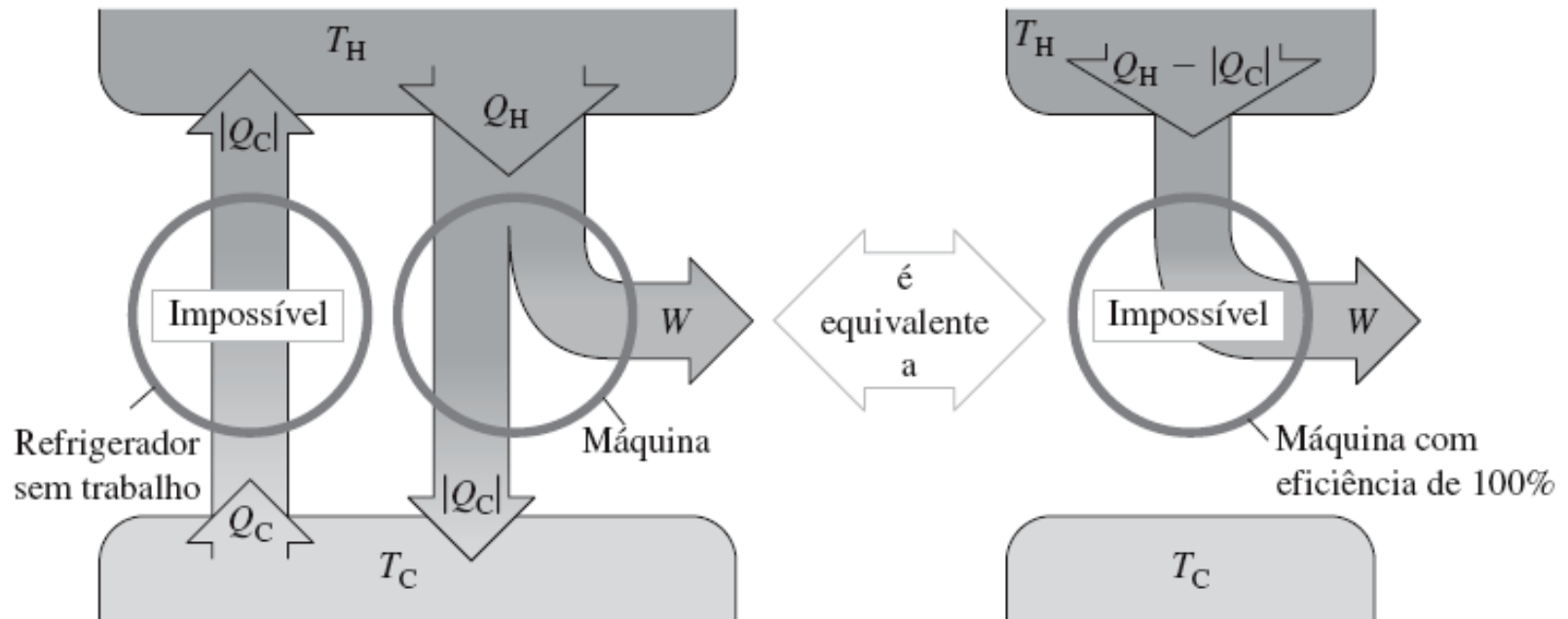
## Ciclo Diesel



**Figura 20.7** Diagrama  $PV$  de um ciclo Diesel ideal.

## Máquinas térmicas

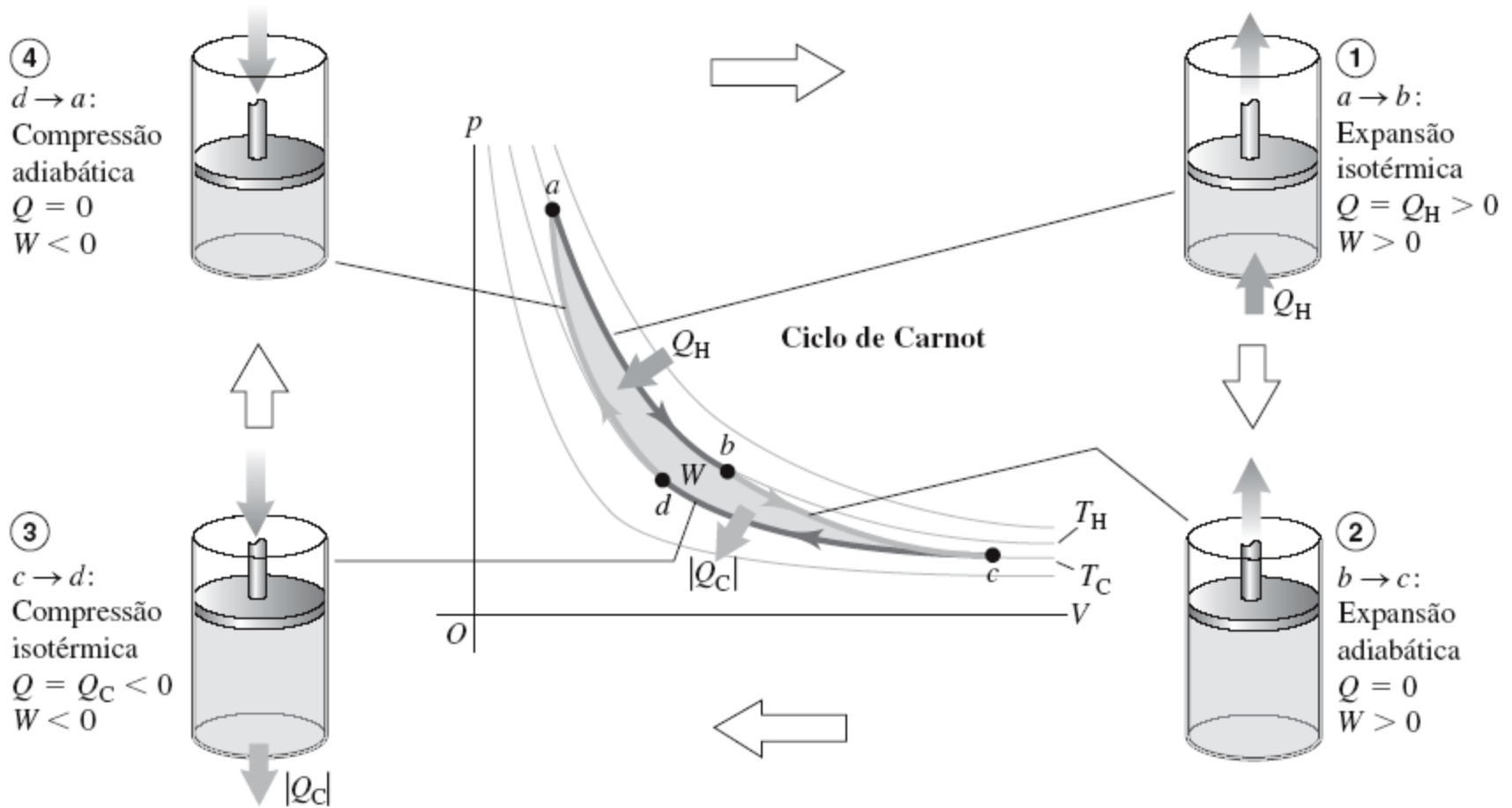
(a) O enunciado da 'máquina' da segunda lei da termodinâmica.



Se existisse um refrigerador que não precisasse de trabalho, ele poderia ser usado juntamente com uma máquina comum para formar um dispositivo com eficiência de 100%, convertendo o calor  $Q_H - |Q_C|$  completamente em trabalho.



## Máquinas térmicas

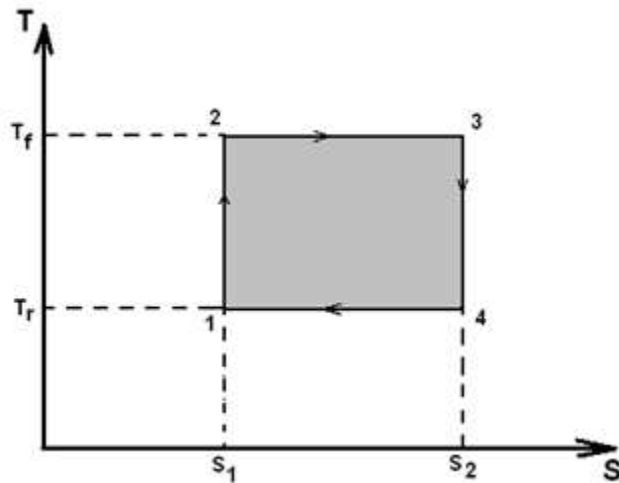


**Figura 20.13** Ciclo de Carnot para um gás ideal. No diagrama  $PV$ , as linhas finas são isotermas (curvas com temperatura constante) e as linhas grossas são curvas adiabáticas (curvas com transferência de calor igual a zero).

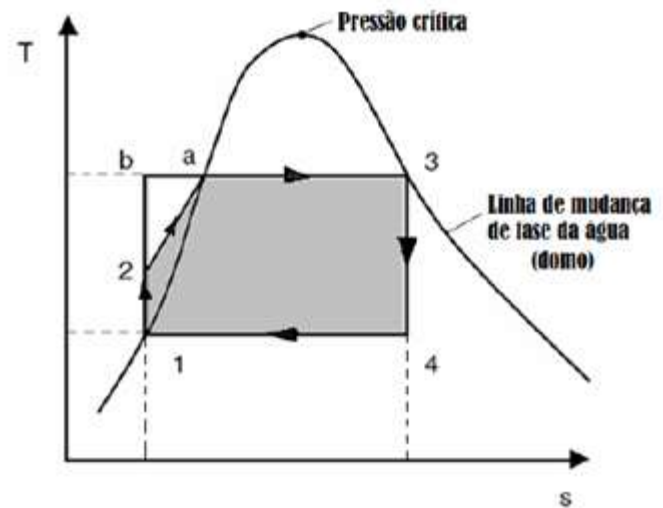
# Ciclo Rankine

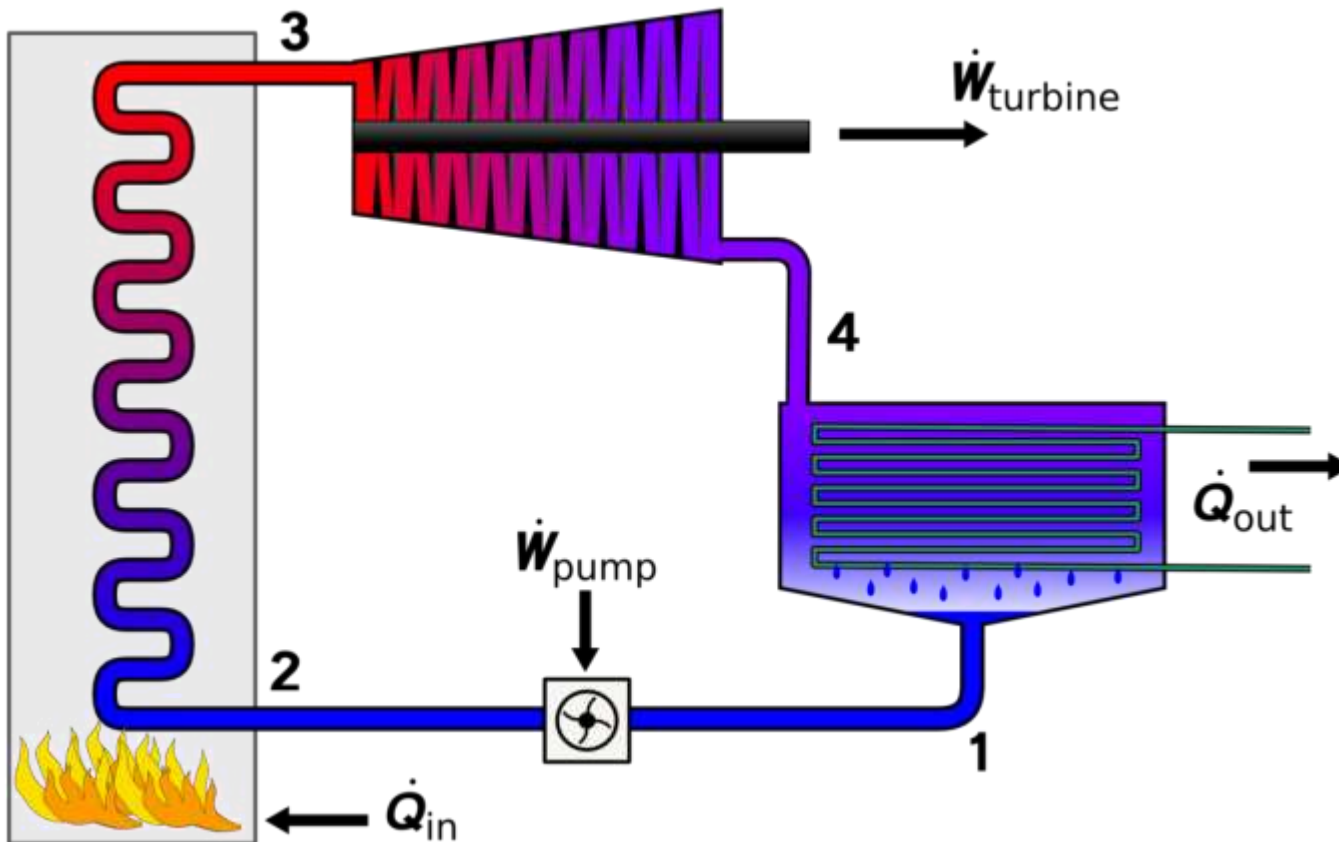
## Ciclo a vapor

Ciclo de Carnot

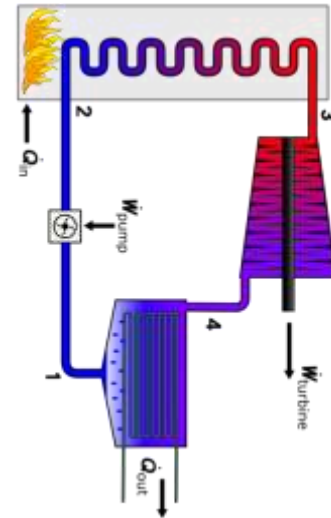
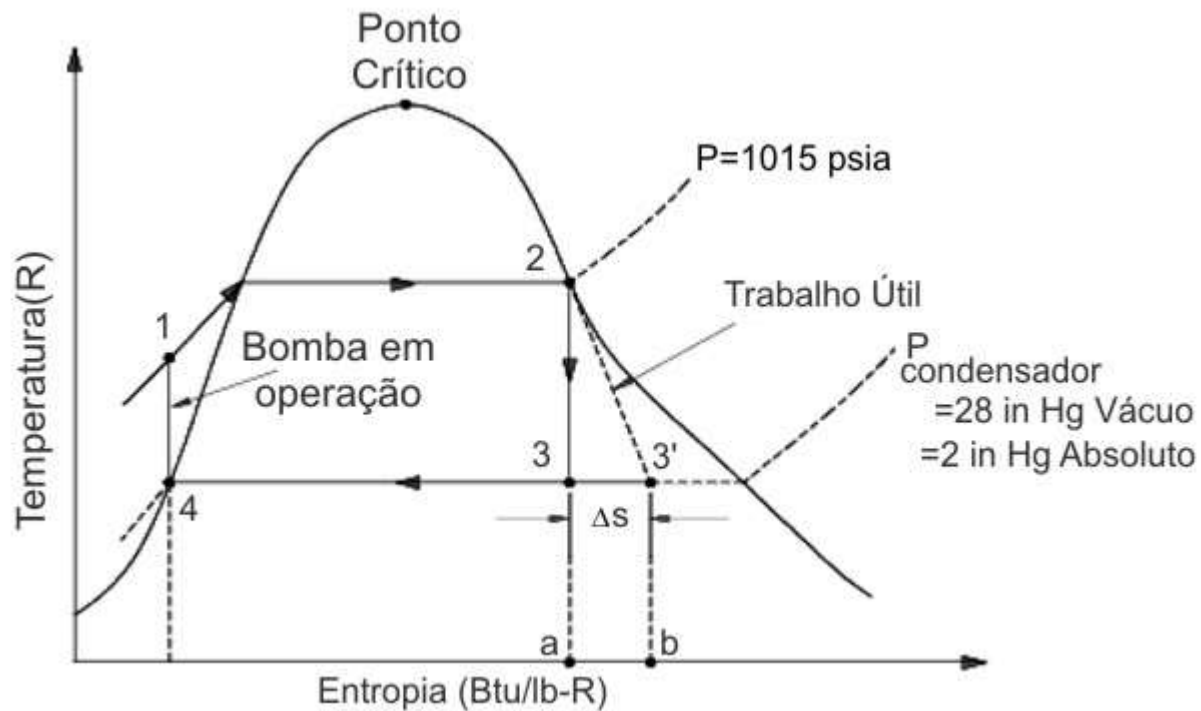


Ciclo de Rankine





$dQ_{in}$  = taxa de entrada de calor (energia por unidade de tempo);  
 $dm$  = fluxo mássico (massa por unidade de tempo);  
 $dW$  = trabalho mecânico usado pelo ou proveniente do sistema  
 (energia por unidade de tempo);  
 $\eta$  eficiência termodinâmica do processo (adimensional).



Existem quatro processos<sup>2</sup> num ciclo Rankine, cada um alterando as propriedades do fluido de trabalho. Estas propriedades são identificadas pelos números no diagrama acima.

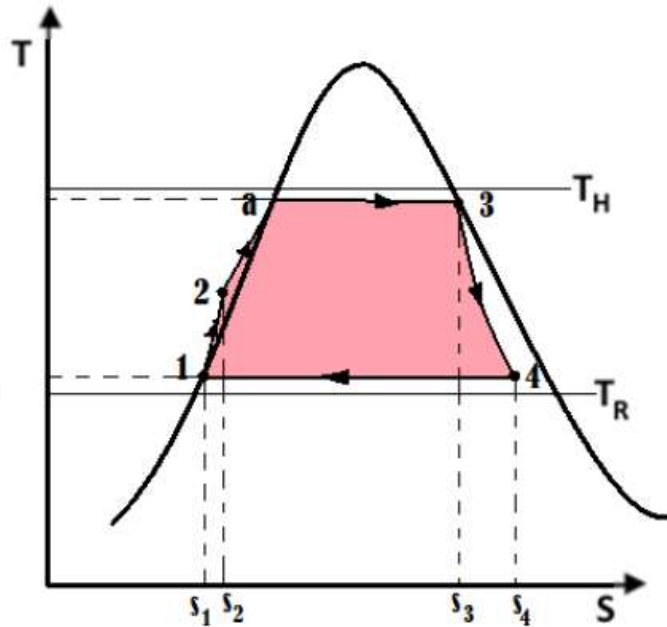
**Processo 4-1:** Primeiro, o fluido de trabalho é bombeado (idealmente numa forma isoentropica de uma pressão baixa para uma pressão alta utilizando-se uma bomba. O bombeamento requer algum tipo de energia para se realizar.

**Processo 1-2:** O fluido pressurizado entra numa caldeira, onde é aquecido a pressão constante até se tornar vapor superaquecido. Fontes comuns de calor incluem carvão, gás natural, e energia nuclear.

**Processo 2-3:** O vapor superaquecido expande através de uma turbina para gerar trabalho. Idealmente, esta expansão é isoentrópica. Com esta expansão, tanto a pressão quanto a temperatura se reduzem.

**Processo 3-4:** O vapor então entra num condensador, onde ele é resfriado até a condição de líquido saturado. Este líquido então retorna à bomba e o ciclo se repete.

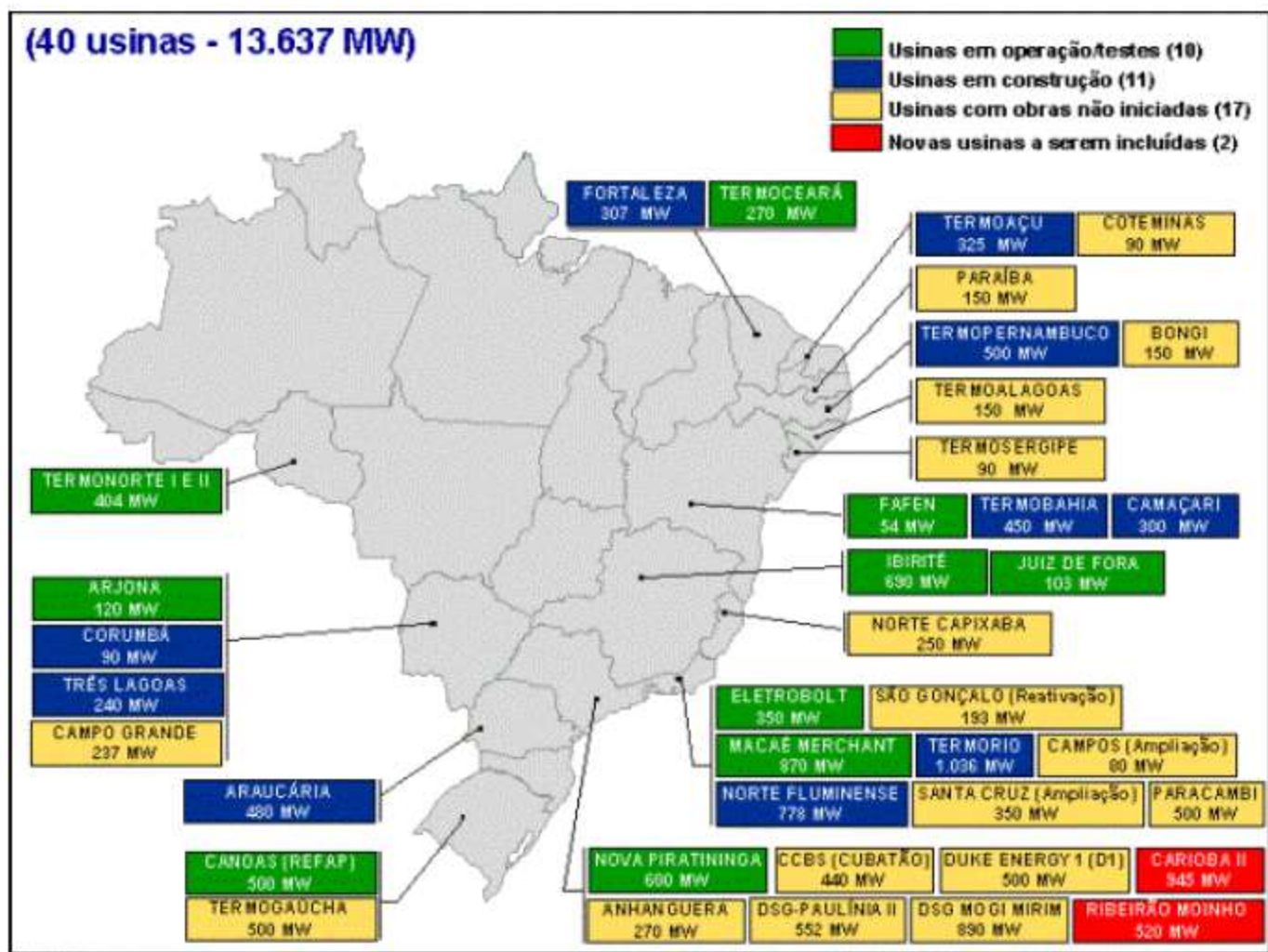
## Representação do ciclo Rankine com perdas



- Eficiências de bomba e turbina**
- Diferenças de temperatura entre a fonte de fornecimento de calor e o fluido de trabalho**
- Fornecimento de calor a temperatura variável, reduzindo a temperatura média de fornecimento**
- Diferenças de temperatura entre o fluido de trabalho e o sumidouro de calor**
- Perdas por atrito nas tubulações, reduzindo a pressão ao longo do escoamento**

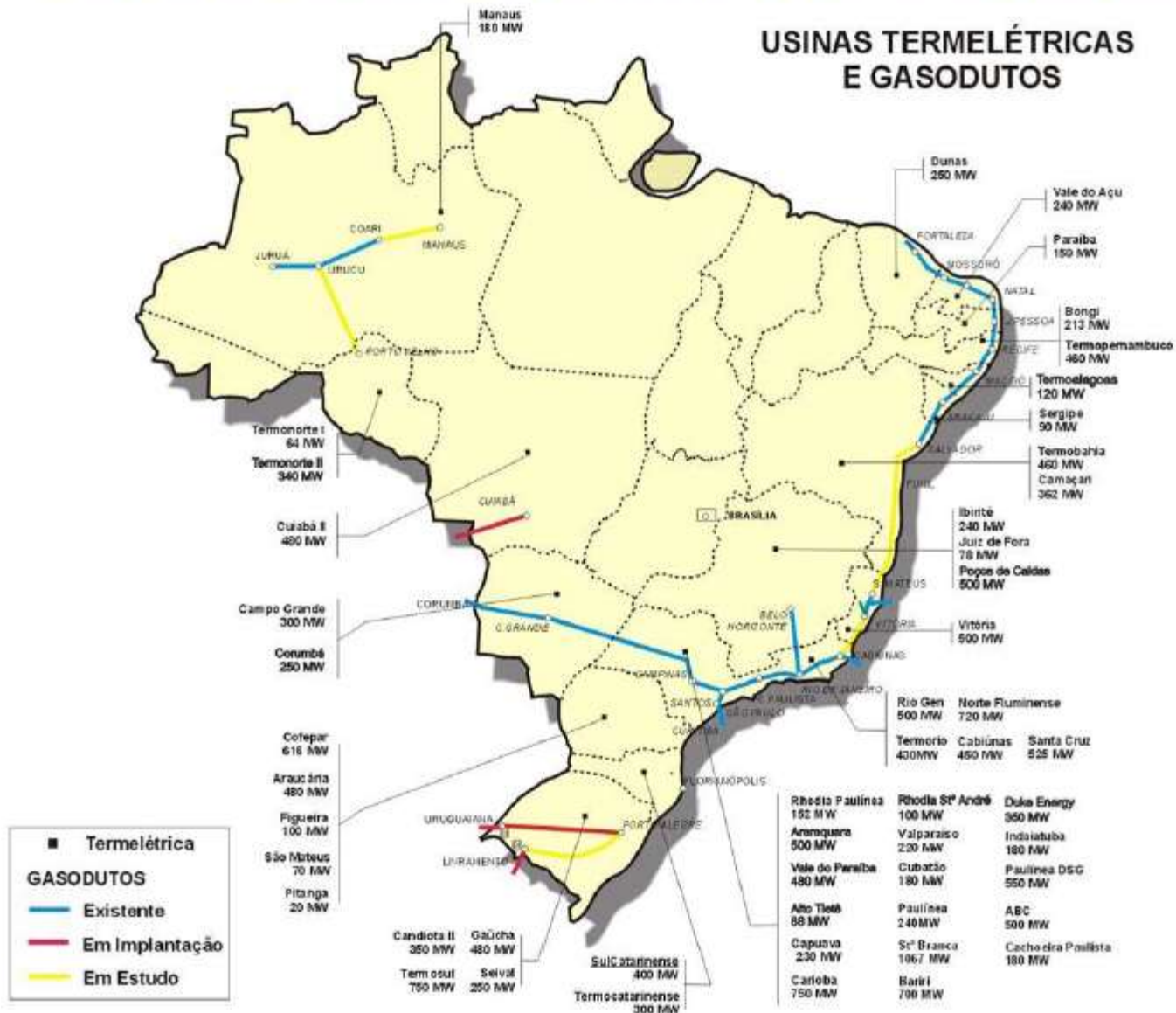
# TERMOELÉTRICAS NO BRASIL

(40 usinas - 13.637 MW)



# TERMOELÉTRICAS NO BRASIL

## USINAS TERMOELÉTRICAS E GASODUTOS



# Usinas Piratininga e Fernando Gasparian (SP)

Combustível: gás e óleo





# Usina de Candiota (RS)

Combustível: Carvão

