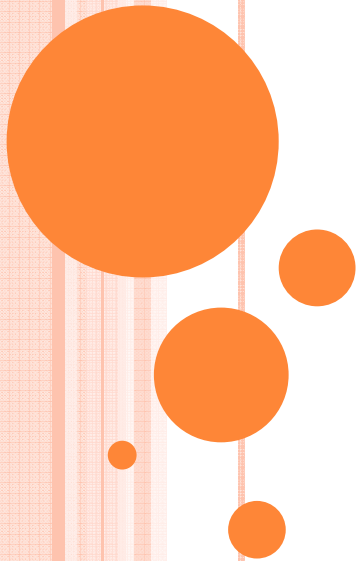


# ENERGIA E 1ª LEI DA TERMODINÂMICA

Prof. Mauro César Rabuski Garcia



# ENERGIA

- A **energia** pode ser armazenada no interior de sistemas sob várias formas.
- A energia pode também ser transferida entre os sistemas e também transformada de uma forma para outra.
- A energia pode ser transferida por meio de calor e por meio de trabalho.
- A quantidade total de energia permanece constante em todas as transformações e transferências.



# TRABALHO E ENERGIA CINÉTICA

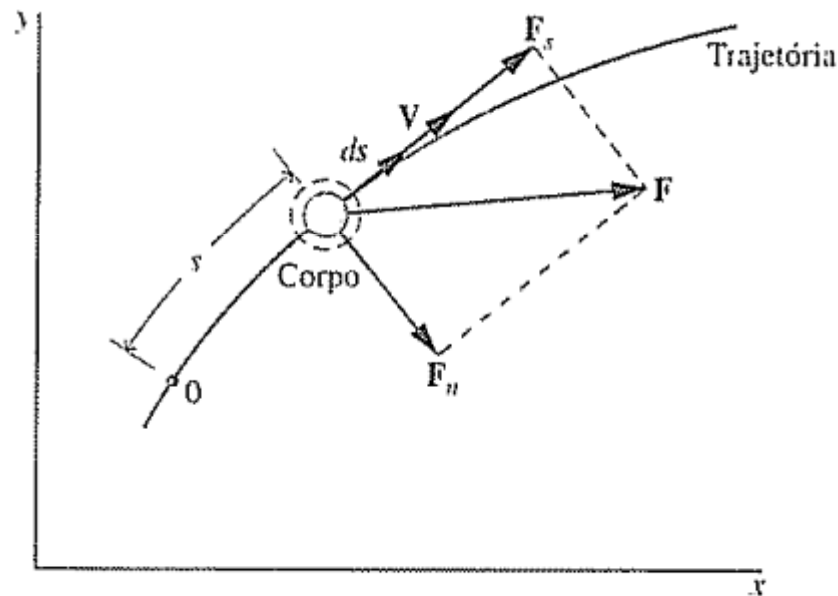


Fig. 2.1 Forças atuando sobre um sistema em movimento.

A curva representa a trajetória percorrida por um corpo de massa  $m$ .

A velocidade do centro de massa do corpo é dada por  $V$ .  $F$  é a força resultante que varia em magnitude ao longo do caminho.

$F_s$  é a componente de força tangente a trajetória.

$F_n$  é a componente de força normal a trajetória.

O corpo se move da posição  $s_1$  para  $s_2$ , e as velocidades respectivas são dadas por  $V_1$  e  $V_2$

A única interação entre o corpo e a sua vizinhança envolve a força  $F$

# TRABALHO E ENERGIA CINÉTICA

- Pela segunda lei do movimento de Newton, a magnitude da componente  $F_s$  está relacionada com a variação da magnitude de  $V$  por:

$$F_s = m \frac{dV}{dt}$$

Usando a regra da cadeia, a equação anterior pode ser escrita como

$$F_s = m \frac{dV}{ds} \frac{ds}{dt} = mV \frac{dV}{ds}$$

onde  $V = ds/dt$  Rearranjando a Eq 2.2 e integrando de  $s_1$  a  $s_2$ , obtém-se

$$\int_{V_1}^{V_2} mV dV = \int_{s_1}^{s_2} F_s ds$$

A integral no lado esquerdo da Eq 2.3 é calculada como se segue:

$$\int_{V_1}^{V_2} mV dV = \left. \frac{1}{2} mV^2 \right|_{V_1}^{V_2} = \frac{1}{2} m(V_2^2 - V_1^2)$$



# TRABALHO E ENERGIA CINÉTICA

A quantidade  $\frac{1}{2} mV^2$  é a energia cinética (EC) do corpo. A energia cinética é uma grandeza escalar. A variação da EC,  $\Delta EC$  é dada por:

$$\Delta EC = EC_1 - EC_2 = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) \quad (2.5)$$

A integral ao lado direito da eq 2.3 é o trabalho realizado pela força  $F_s$ . O trabalho também é uma grandeza escalar.

$$\frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) = \int_{s_1}^{s_2} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} \quad (2.6)$$

onde a expressão para o trabalho foi escrita em termos do produto escalar do vetor força  $\mathbf{F}$  pelo vetor deslocamento  $d\mathbf{s}$ . A Eq 2.6 estabelece que o trabalho realizado pela força resultante sobre o corpo é igual à variação da sua energia cinética. Quando o corpo é acelerado pela força resultante, o trabalho realizado sobre o corpo pode ser considerado como uma *transferência* de energia para o corpo, *armazenada* sob a forma de energia cinética.

A energia cinética é uma **propriedade extensiva** do corpo



# ENERGIA POTENCIAL

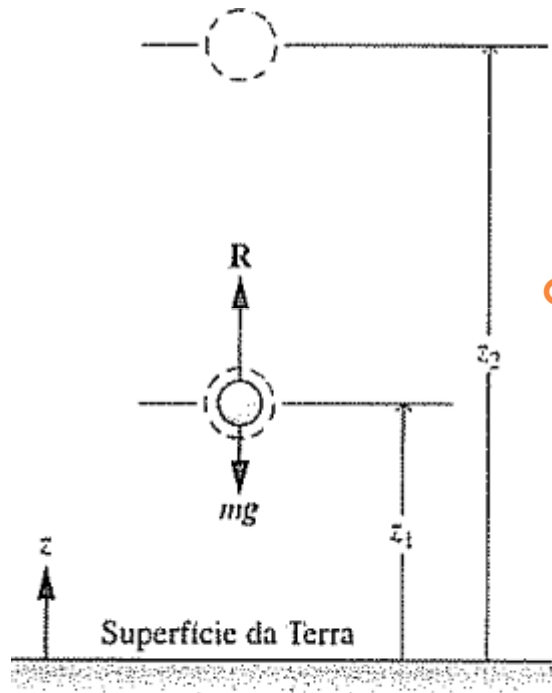


Fig. 2.2 Ilustração utilizada para apresentar o conceito de energia potencial.

- Um corpo de massa  $m$  se move verticalmente de uma altura  $z_1$  para  $z_2$ . Há duas forças atuando sobre o sistema: uma força para baixo devido a gravidade ( $m.g$ ) e uma força vertical de magnitude  $R$  (resultante de outras forças)
- O trabalho total é dado por:

$$\frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) = \int_{z_1}^{z_2} R dz - \int_{z_1}^{z_2} mg dz \quad (2.7)$$

A primeira integral representa o trabalho realizado pela força  $R$  sobre o corpo. A segunda integral é calculada como segue:

$$\int_{z_1}^{z_2} mg dz = mg(z_2 - z_1) \quad (2.8)$$



# ENERGIA POTENCIAL

Incorporando-se a eq 2.8 na 2.7 e rearranjando tem-se: (2.9)

$$\frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) + mg(z_2 - z_1) = \int_{z_1}^{z_2} R dz$$

A quantidade  $mgz$  é chamada energia potencial (EP). Enquanto  $\Delta EP$  é a variação na energia potencial gravitacional.

$$\Delta EP = EP_2 - EP_1 = mg(z_2 - z_1) \quad (2.10)$$

A energia potencial é considerada uma propriedade extensiva do corpo



## UNIDADES PARA ENERGIA

- As unidades de energia cinética e da energia potencial são as mesmas do trabalho.
- • SI: 1 J (Joule) = 1 N.m e 1 kJ =  $10^3$  J
- • Sistema Inglês: 1 btu = 778,17 lbf.ft





## CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

- Utilizando o princípio da conservação de energia e considerando o caso especial de um corpo sobre o qual a única força atuante é aquela resultante da gravidade a eq 2.9 transforma-se em:

$$\frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) + mg(z_2 - z_1) = 0$$

(2.11)

$$\frac{1}{2}mV_2^2 + mgz_2 = \frac{1}{2}mV_1^2 + mgz_1$$

- Nesta condição a soma das energias cinética e potencial gravitacional permanece constante. A energia também pode ser convertida de uma forma em outra.



## TRABALHO

- O trabalho realizado por ou sobre um sistema avaliado em termos de força e deslocamento é dado por:

$$W = \int_{s_1}^{s_2} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} \quad (2.12)$$

- Esta relação é importante e será bastante utilizada.
- **Definição termodinâmica de trabalho:** Um sistema realiza trabalho sobre suas vizinhanças se o único efeito sobre tudo aquilo externo ao sistema puder ser o levantamento de um peso.
- **Convenção de Sinais e Notação**
- $W > 0$ : realizado pelo sistema (sobre a vizinhança)  
 $W < 0$ : realizado sobre o sistema (pela vizinhança)



# POTÊNCIA

- A taxa de transferência de energia por meio de trabalho é denominada potência, representada por  $\dot{W}$ .

$$\dot{W} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{V} \quad (2.13)$$

- Taxas temporais serão representadas pelo ponto ( $\cdot$ ) acima da letra representativa. O trabalho realizado durante o intervalo de tempo pode ser dado por:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} \dot{W} dt = \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F} \cdot \mathbf{V} dt \quad (2.14)$$

- Unidades de potência:
  - · SI: 1 W (Watt) = 1 J/s e 1 kW =  $10^3$  W
  - · Sistema Inglês: 1 btu/h, 1 lbf.ft/s e 1 hp = 746 W.
- A convenção de sinais é a mesma aplicada para o trabalho ( $W$ ).



# TRABALHO DE EXPANSÃO OU COMPRESSÃO

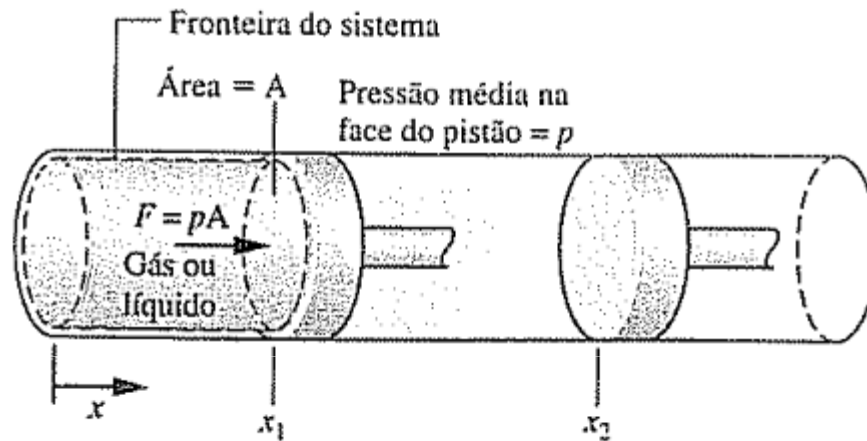


Fig. 2.4 Expansão ou compressão de um gás ou líquido.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (2.17)$$

- O trabalho realizado pelo sistema a medida que o pistão é deslocado de uma distância  $dx$  é:

$$\delta W = p A dx \quad (2.15)$$

- Como  $dV = A dx$  a expressão fica:

$$\delta W = p dV \quad (2.16)$$

- Como  $dV$  é positivo quando o volume aumenta, o trabalho também é positivo. Para compressão  $dV$  será negativo, assim como o trabalho realizado. Para uma variação de volume de  $V_1$  a  $V_2$  o trabalho será dado por:

# TRABALHO DE EXPANSÃO OU COMPRESSÃO

- **Nos processos reais**
- ·  $p$  é difícil de obter (ex. motor de automóvel)
- · medidas de  $p$  podem ser realizadas usando transdutores de pressão.
- · alternativamente, o trabalho pode ser obtido através de um balanço de energia
  
- **Trabalho em Processos Quase-estáticos de Expansão e Compressão**
- Um processo modelado como um tipo idealizado é chamado de processo em **quase-equilíbrio ou quase-estático**.
- Um gás ou um líquido poderia ser expandido ou comprimido (sistema ao lado) retirando-se ou colocando-se pequenas massas, permitindo que o gás se expanda ou comprima de modo a não se afastar muito do equilíbrio. O trabalho realizado pode ser calculado pela integral abaixo, que é a área sob a curva  $p \times V$

$$\int p \cdot dV$$

Massas infinitesimais removidas durante a expansão de um gás ou líquido

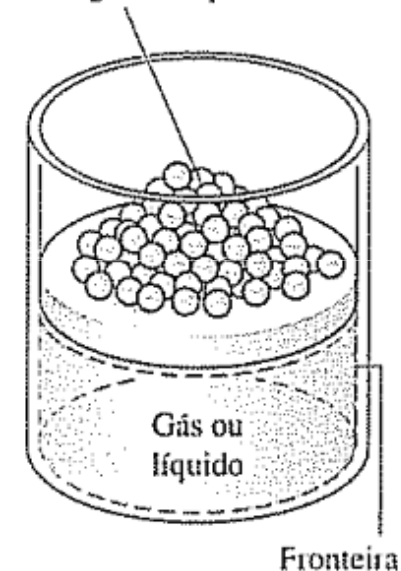


Fig. 2.6 Ilustração de uma expansão ou compressão em quase-equilíbrio



# PROCESSO EM QUASE-EQUILÍBRIO

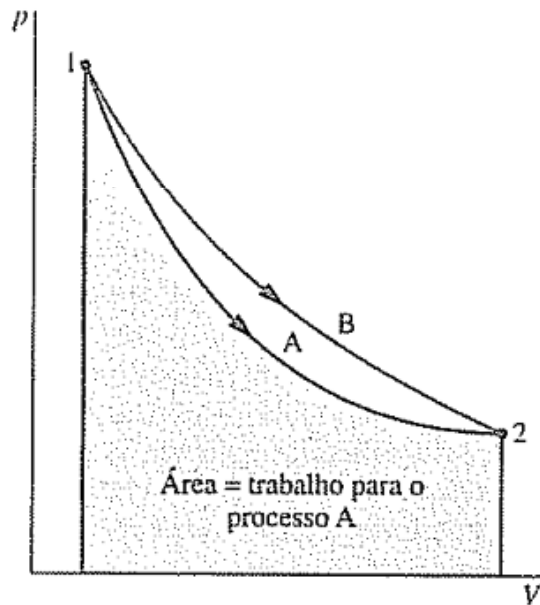


Fig. 2.8 Ilustração de que o trabalho depende do processo.

- O trabalho não é uma propriedade. O valor do trabalho depende da natureza do processo entre os estados inicial e final. Um processo de quase-equilíbrio descrito por  $pV^n = \text{constante}$ , onde  $n$  é uma constante, é chamado de **processo politrópico**.
- Os caminhos A e B são diferentes apresentando trabalhos diferentes.



## PROCESSO POLITRÓPICO

- onde o expoente "n" pode variar de  $-\infty$  a  $+\infty$ , dependendo do tipo de processo. Alguns exemplos:

$n = 0$ ; processo isobárico, qualquer substância;

- $n = \infty$ , processo isométrico, qualquer substância;

- $n = 1$ ; processo isotérmico de gás perfeito;

- $n = c_p/c_v$ ; processo adiabático reversível de gás perfeito.



# PROCESSO DE EXPANSÃO OU COMPRESSÃO EM QUASE

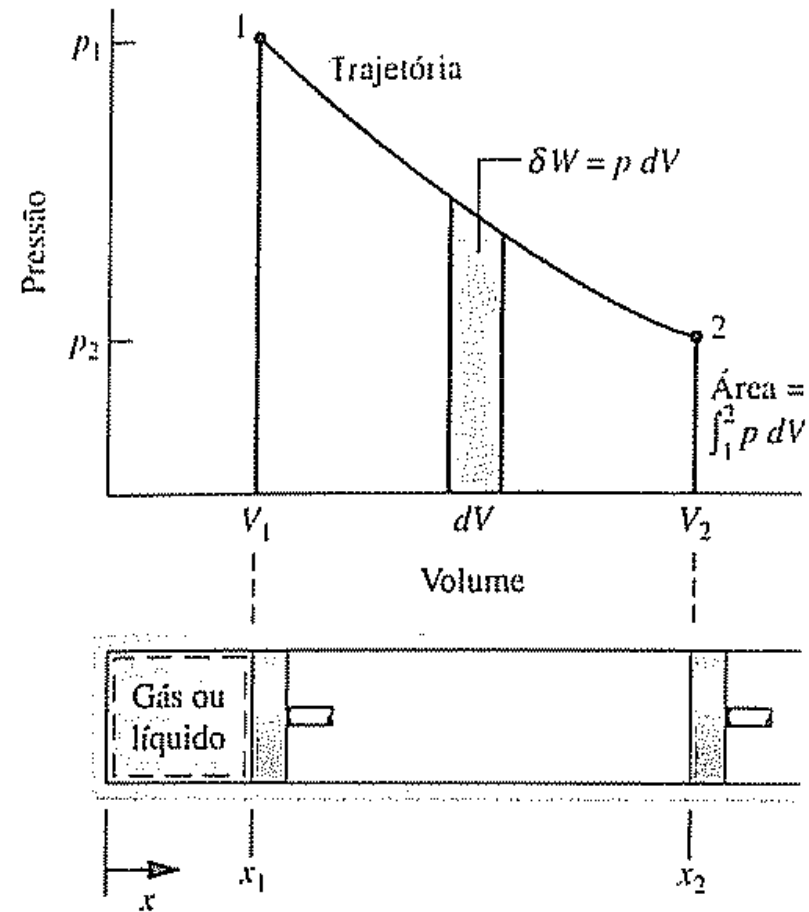


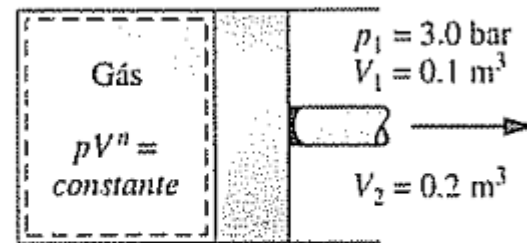
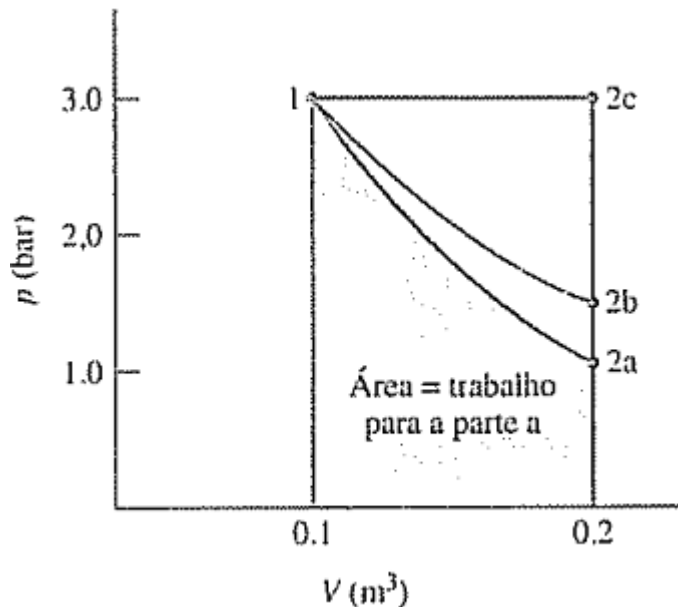
Fig. 2.7 Trabalho de um processo de expansão ou compressão em quase-equilíbrio





## EXEMPLO 2.1

- Um gás em um conjunto cilindro-pistão passa por um processo de expansão, cuja relação entre a pressão e o volume é dada por  $pV^n = \text{constante}$ .
- A pressão inicial é de 3 bar, o volume inicial é de  $0,1\text{m}^3$ , o volume final é de  $0,2\text{m}^3$ . determine o trabalho para o processo, em kJ no caso de a)  $n=1,5$ , b)  $n=1,0$ , c)  $n=0$ .



## OUTROS EXEMPLOS DE TRABALHO

- Alongamento de uma película líquida

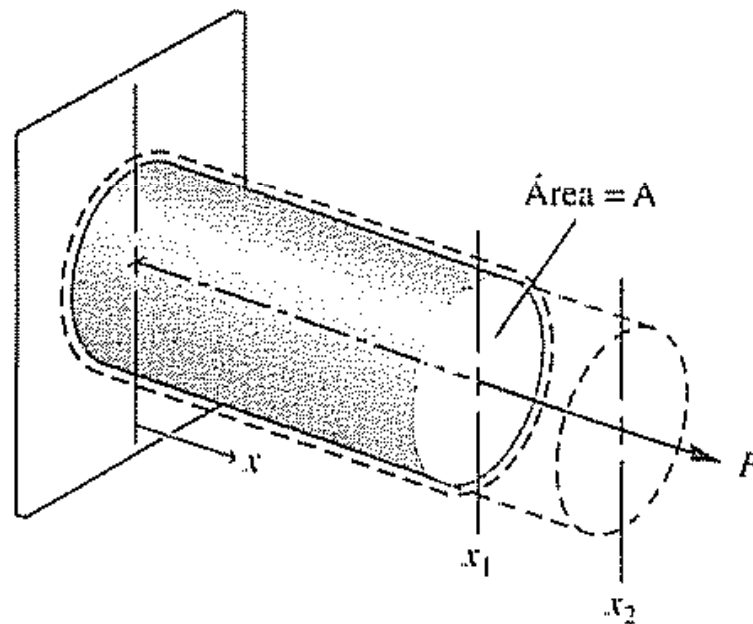


Fig. 2.9 Alongamento de uma barra sólida.



# OUTROS EXEMPLOS DE TRABALHO

- Estiramento de uma película líquida

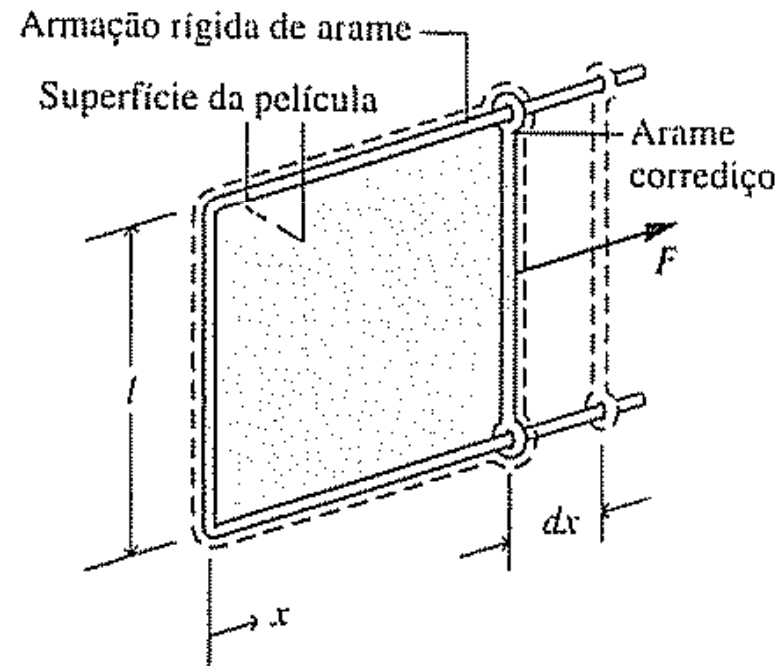
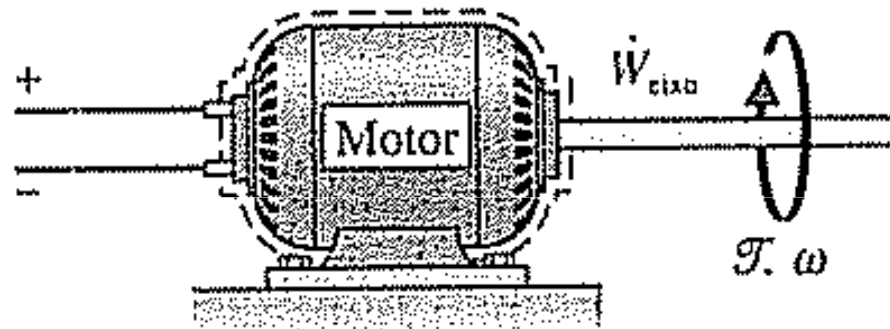


Fig. 2.10 Estiramento de uma película líquida.



## OUTROS EXEMPLOS DE TRABALHO

- Potência transmitida por um eixo



## ENERGIA INTERNA

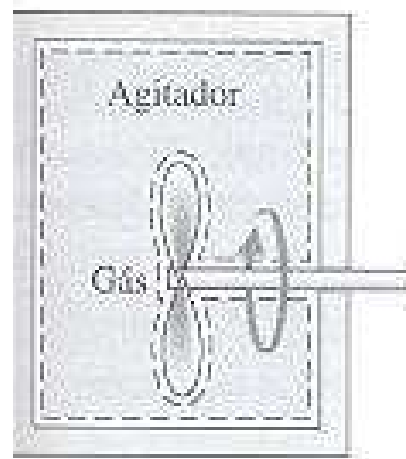
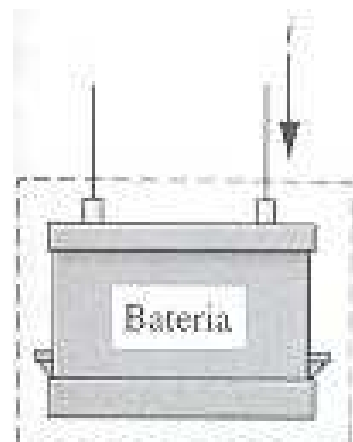
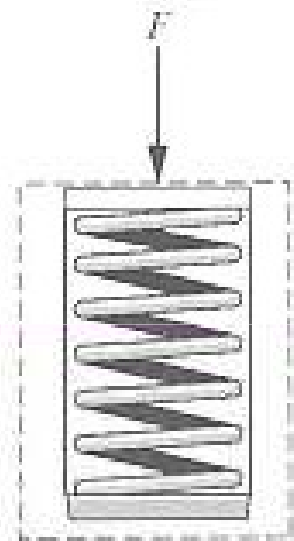
- A variação de energia total de um sistema é composta de três contribuições macroscópicas:
- - variação de energia cinética;
- - variação de energia potencial gravitacional;
- - energia interna do sistema
- A energia interna é representada pelo símbolo  $U$ , e a variação de energia interna em um processo é  $U_2 - U_1$ .
- A energia interna específica é simbolizada por  $u$  ou  $\bar{u}$  unidade de massa ou molar

$$E_2 - E_1 = (U_2 - U_1) + (EC_2 - EC_1) + (EP_2 - EP_1)$$

$$\Delta E = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$$



# VARIAÇÕES DE ENERGIA INTERNA



## TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA POR CALOR

- Calor = energia transferida para ou de um sistema, unicamente por diferença de temperatura.  $Q$  indica o calor
- Convenção de sinais:
  - $Q > 0$ , transferência de calor **para** o sistema.
  - $Q < 0$ , transferência de calor **do** sistema.
- Esta convenção é inversa aquela do trabalho.



## TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA POR CALOR

- A quantidade de calor transferida depende dos detalhes do processo, da mesma forma que o trabalho, o calor não é uma propriedade e sua diferencial é escrita como  $\delta Q$ . A quantidade de energia transferida por calor é dada por:

$$Q = \int_1^2 \delta Q$$

- A taxa de transferência de calor é dada por

$$\dot{Q} = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q} dt$$

- Utilizando o fluxo de calor

$$Q = \int_A \dot{q} dA$$





## UNIDADES DE CALOR

- As unidades de transferência de calor são as mesmas do trabalho
- • SI:  $Q = J$ ;  $Q_{\text{ponto}} = W$ ;  $q_{\text{ponto}} = W/m^2$
- • Sistema Inglês:  $Q = \text{BTU}$ ;  $Q_{\text{ponto}} = \text{BTU/h}$ ;  $q_{\text{ponto}} = \text{BTU/h.ft}^2$
  
- Quando não há transferência de calor com a vizinhança o processo é chamado ***processo adiabático***



# MODOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

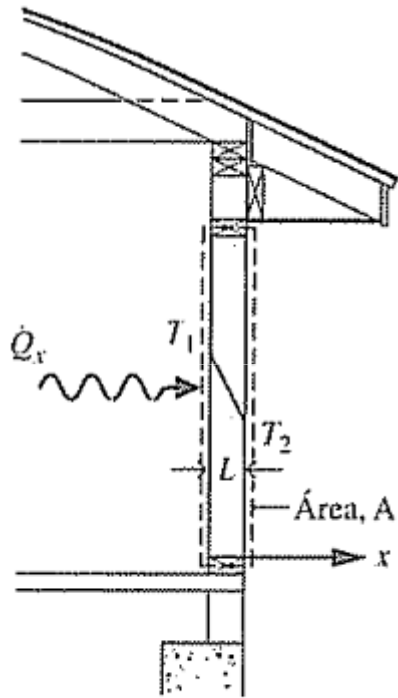


Fig. 2.12 Ilustração da lei de Fourier da condução de calor.

- **Condução** - A transferência de energia pode ocorrer em sólidos, líquidos e gases. É a transferência de energia de partículas mais energéticas de uma substância para partículas adjacentes menos energéticas, devido a interação entre as partículas. Pela lei de Fourier tem-se:

$$\dot{Q}_x = -\kappa A \frac{dT}{dx}$$

- $k$  = condutividade térmica (tabela A-19)
- O sinal negativo indica a transferência de energia no sentido decrescente da temperatura
- Substâncias com elevado valor de  $k$  são bons condutores de calor e as baixas são maus condutores.



## MODOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

- **Radiação** – é emitida pela matéria como resultado de mudanças na configuração eletrônica dos átomos ou moléculas no seu interior. A energia é transportada por ondas eletromagnéticas, não necessitando de meio de propagação.

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q}_e = \varepsilon \sigma A T_b^4$$

- $\varepsilon$  = emissividade, propriedade da superfície que indica a eficiência da superfície irradiante ( $0 \leq \varepsilon \leq 1,0$ ), e  $\sigma$  = constante de Boltzmann

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 = 0,1714 \times$$

- Troca radiante entre superfícies

$$\dot{Q}_e = \varepsilon \sigma A [T_b^4 - T_s^4]$$

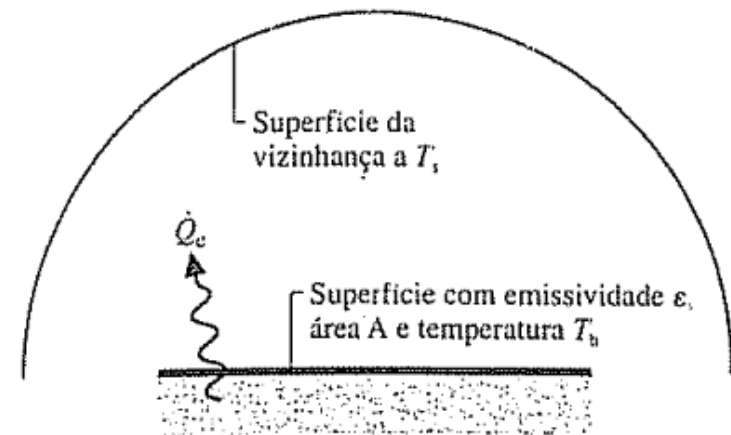


Fig. 2.13 Troca líquida de radiação.

# CONVECÇÃO

- Efeito combinado da troca de energia entre o sistema e o meio líquido ou gasoso condução e transporte.  
O sistema aquece o fluido por condução e as moléculas do fluido transportam essa energia pela corrente de fluido.
- Lei do Resfriamento de Newton
- $h$  = coeficiente de transferência de calor  $\dot{Q}_c = hA(T_b - T_f)$
- Este coeficiente não é uma propriedade termodinâmica, ele é empírico.

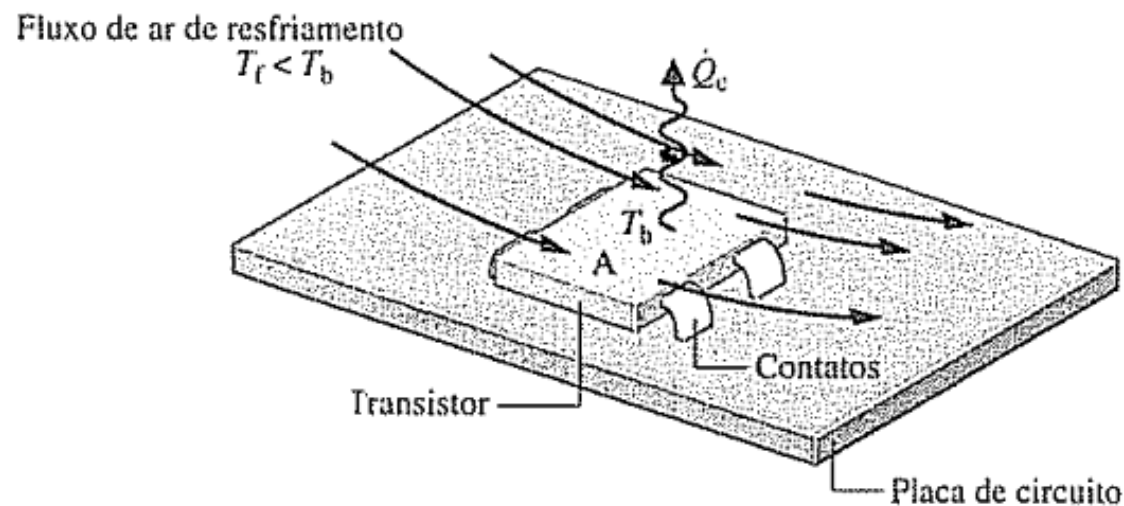


Fig. 2.14 Ilustração da lei do resfriamento de Newton.

# COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

*Tabela 2.1*

Valores Típicos do Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção

Aplicações	$h$ ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )	$h$ ( $\text{Btu}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{R}$ )
Convecção livre		
Gases	2–25	0,35–4,4
Líquidos	50–1000	8,8–180
Convecção forçada		
Gases	25–250	4,4–44
Líquidos	50–20.000	8,8–3500



# ASPECTOS DO CALOR

- A energia se conserva.
- Para o sistema experimentar precisamente a mesma variação de energia durante os processos não-adiabáticos e durante o processo adiabático, a transferência de energia líquida para o sistema em cada um destes processos tem que ser a mesma.
- As interações de calor envolvem transferência de energia.
- A quantidade de energia  $Q$  transferida para o sistema fechado por meios que não através de trabalho tem que ser igual à soma da variação de energia do sistema com a quantidade de energia transferida do sistema sob a forma de trabalho.

$$Q = (E_2 - E_1) + W$$

$$E_2 - E_1 = Q - W \quad *$$

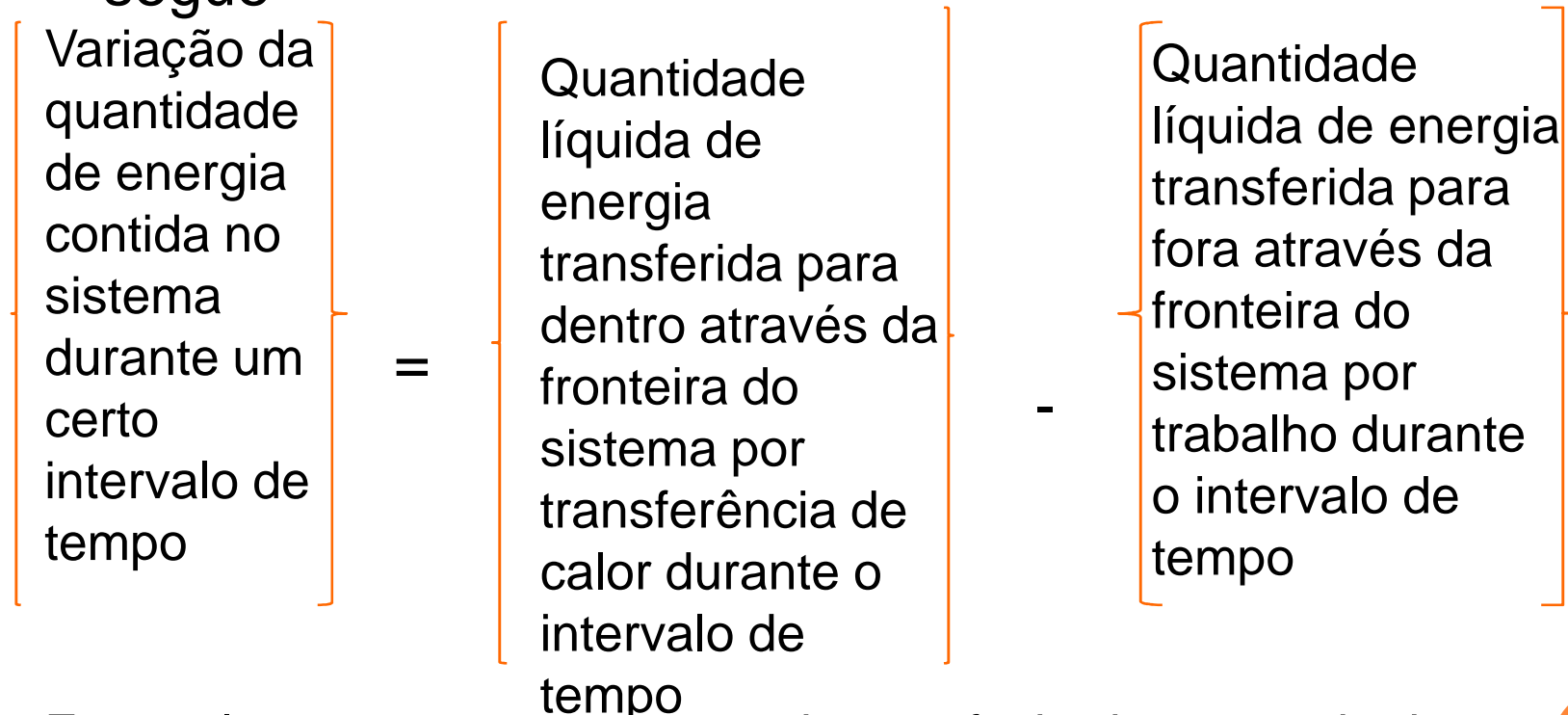
- \* Princípio da conservação da energia ou 1ª Lei da Termodinâmica



# BALANÇO DE ENERGIA PARA SISTEMAS FECHADOS

$$E_2 - E_1 = Q - W$$

Esta equação pode ser expressa em palavras como segue



Em qualquer processo para um sistema fechado a energia do sistema aumenta ou diminui de uma quantidade igual à quantidade líquida de energia transferida através da fronteira



## UMA FORMA ALTERNATIVA DO BALANÇO DE ENERGIA

$$\Delta EC + \Delta EP + \Delta U = Q - W$$

Esta equação mostra que uma transferência de energia através da fronteira do sistema manifesta-se sob a forma de uma variação em uma ou mais das formas macroscópicas de energia: energia cinética, energia potencial gravitacional e energia interna.

O sinal algébrico (-) na frente de  $W$  indica que a transferência de energia ocorre por meio do trabalho *do sistema para* a vizinhança.

O sinal algébrico (+) na frente de  $Q$  indica que a transferência de energia por calor ocorre *da vizinhança para* o sistema.



## FORMAS DO BALANÇO DE ENERGIA

- Na forma diferencial

$$dE = \delta Q - \delta W$$

$dE$  é a diferencial de energia, uma propriedade. Uma vez que  $Q$  e  $W$  não são propriedades, suas diferenciais são escritas como  $\delta Q$  e  $\delta W$ , respectivamente.



# ASPECTOS IMPORTANTES DO BALANÇO DE ENERGIA

Em termos de taxa temporal

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$$

Balanço de energia na forma temporal

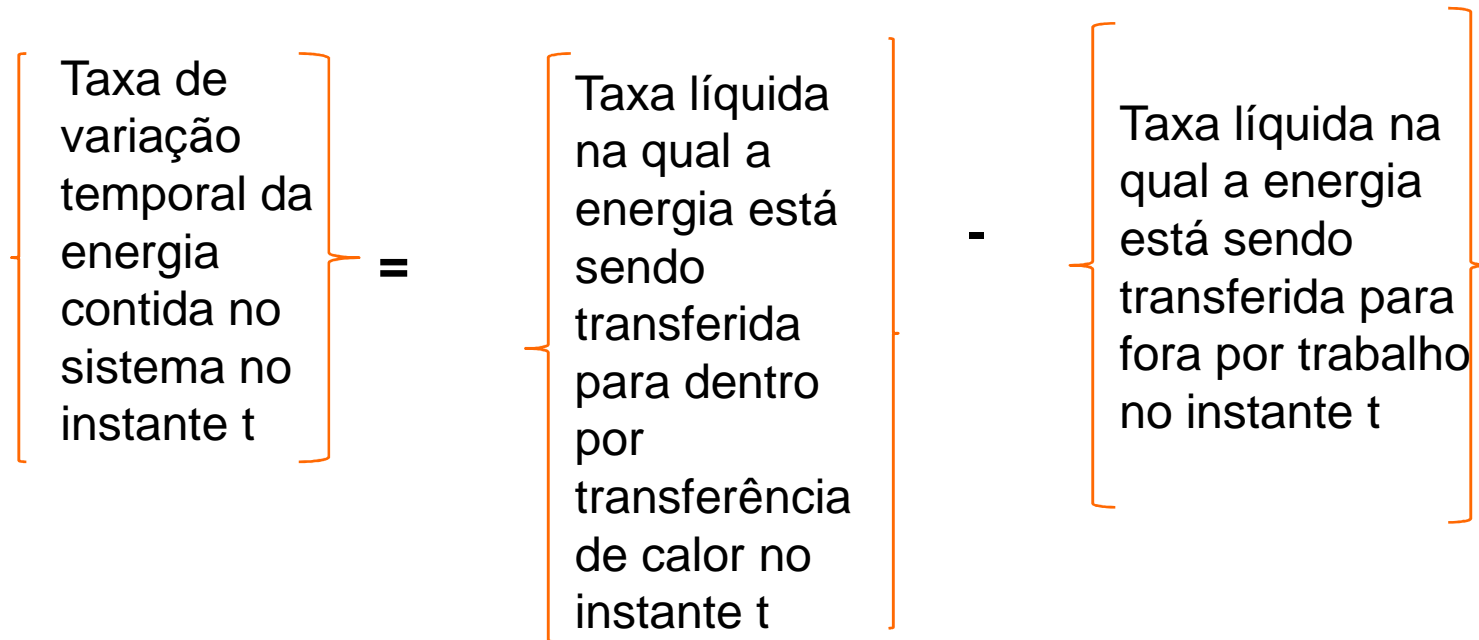
$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$$

ou

$$\frac{dEC}{dt} + \frac{dEP}{dt} + \frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$$



# BALANÇO DE ENERGIA



Uma vez que a taxa temporal de variação de energia é dada por

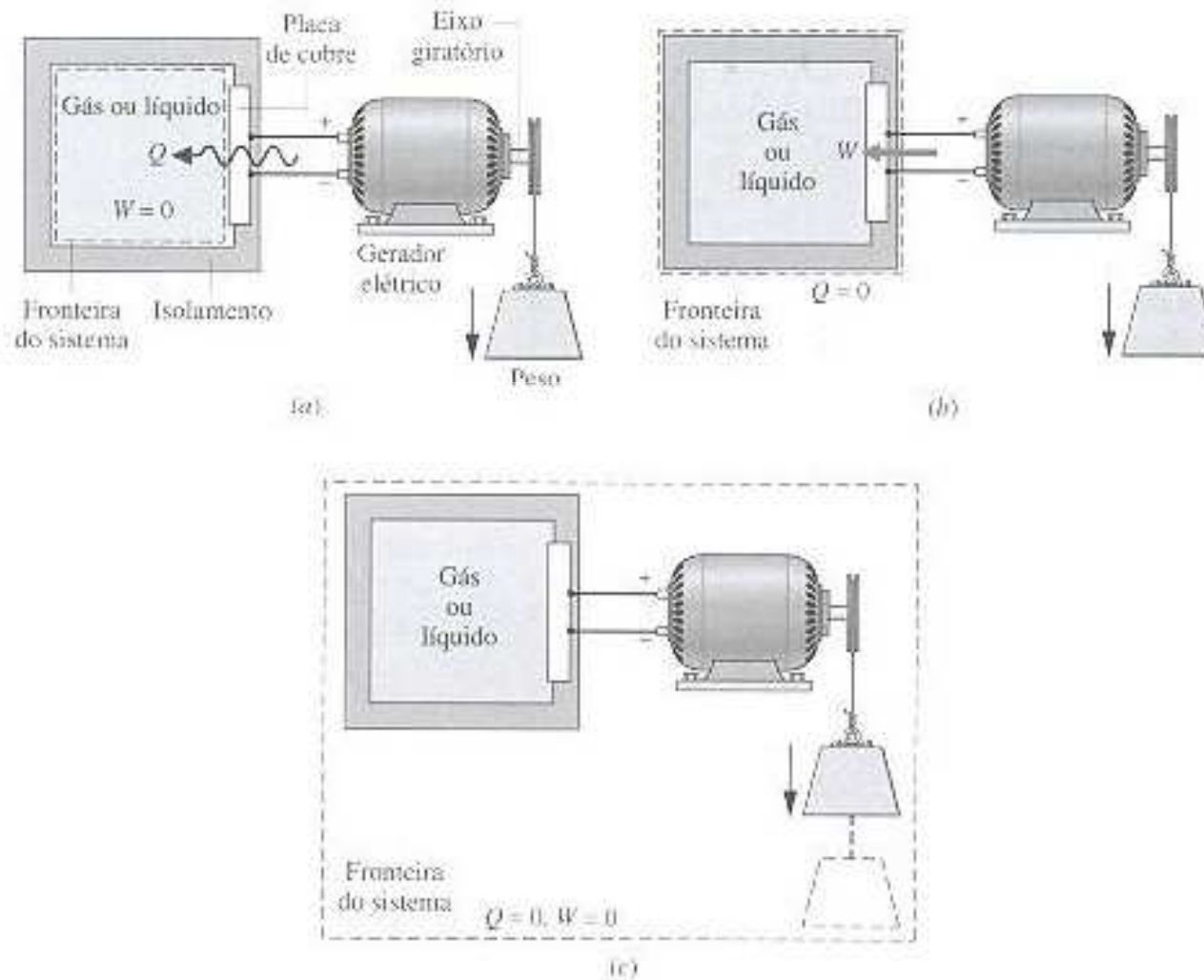
$$\frac{dE}{dt} = \frac{dEC}{dt} + \frac{dEP}{dt} + \frac{dU}{dt}$$

Ou então

$$\frac{dEC}{dt} + \frac{dEP}{dt} + \frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$$



# ESCOLHAS ALTERNATIVAS PARA A FRONTEIRA DE UM SISTEMA



## ANÁLISE DE ENERGIA PARA CICLOS

- O balanço de energia para qualquer sistema sujeito a um ciclo termodinâmico é dado por:

$$\Delta E_{\text{ciclo}} = Q_{\text{ciclo}} - W_{\text{ciclo}}$$

- $Q_{\text{ciclo}}$  e  $W_{\text{ciclo}}$  representam quantidades líquidas de energia na forma de calor e de trabalho. Como o sistema retorna ao seu estado inicial após o ciclo, não há variação líquida de energia ( $\Delta E_{\text{ciclo}} = 0$ )

$$W_{\text{ciclo}} = Q_{\text{ciclo}}$$



# DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE CICLOS

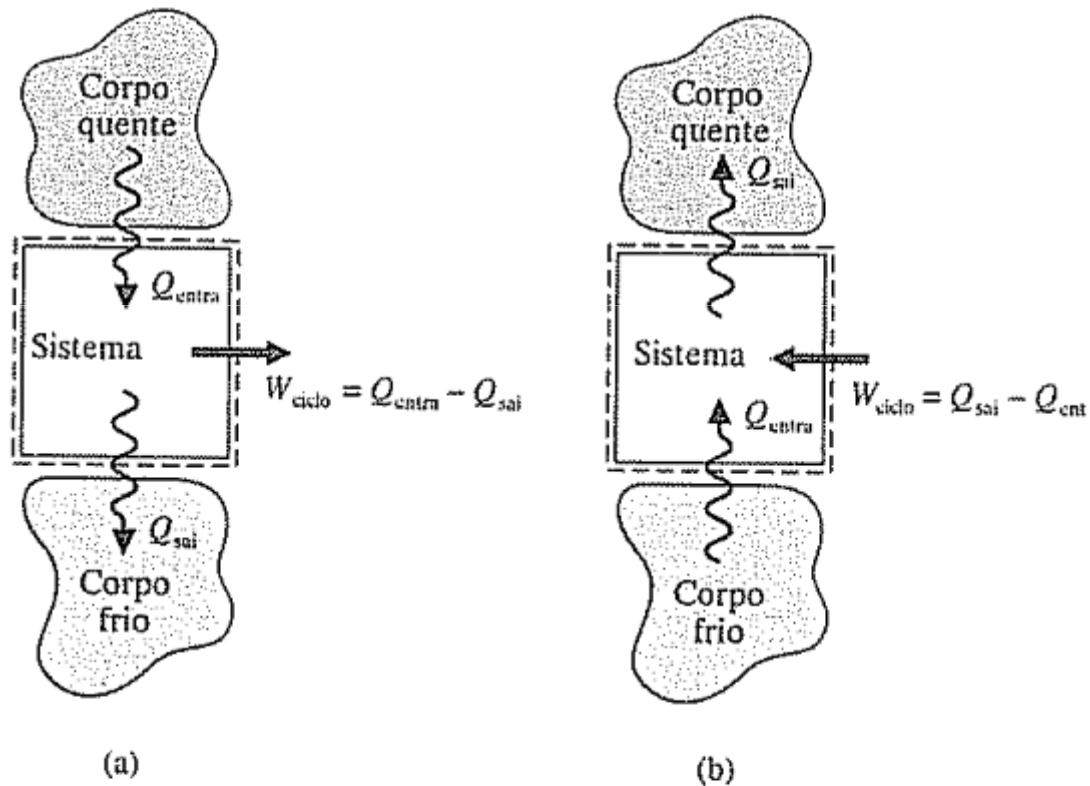


Fig. 2.17 Diagramas esquemáticos de duas classes importantes de ciclos. (a) Ciclos de potência (b) Ciclos de refrigeração e bomba de calor.



## CICLO DE POTÊNCIA

- $Q_{entra} > Q_{sai}$
- Energia oriunda de queima de combustível, de radiação solar, etc. A energia  $Q_{sai}$  é descarregada para a atmosfera circundante.
- A energia adicionada na forma de calor  $Q_{entra}$  é convertida em trabalho líquido na saída  $W_{ciclo}$

$$W_{ciclo} = Q_{entra} - Q_{sai} \quad (\text{ciclo de potência})$$



## EFICIÊNCIA TÉRMICA CICLO DE POTÊNCIA

$$\eta = \frac{W_{\text{ciclo}}}{Q_{\text{entra}}} \quad (\text{ciclo de potência})$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{entra}} - Q_{\text{saí}}}{Q_{\text{entra}}} = 1 - \frac{Q_{\text{saí}}}{Q_{\text{entra}}} \quad (\text{ciclo de potência})$$

A eficiência térmica de todo ciclo tem que ser menor que a unidade  $\eta < 1$ .





# CICLO DE REFRIGERAÇÃO E BOMBA DE CALOR

- Para ocorrer transferência de energia é necessária a entrada de trabalho líquido  $W_{\text{ciclo}}$
- $W_{\text{ciclo}} = Q_{\text{sai}} - Q_{\text{entra}}$  (ciclo de refrigeração e bomba de calor)
- Os ciclos de refrigeração e bomba de calor possuem objetivos diferentes.
- O ciclo de refrigeração tem por objetivo reduzir a temperatura de um espaço refrigerado, ou manter a temperatura do interior de um espaço (domicílio, empresa) abaixo daquela do ambiente.
- O objetivo da bomba de calor é manter a temperatura do interior de um espaço (domicílio, empresa) acima daquela do ambiente.
- Os coeficientes de desempenho são definidos de forma diferente.



# COEFICIENTES DE DESEMPENHO $\beta$ PARA REFRIGERAÇÃO

$$\beta = \frac{Q_{\text{entra}}}{W_{\text{ciclo}}} \quad (\text{ciclo de refrigeração})$$

$$\beta = \frac{Q_{\text{entra}}}{Q_{\text{sai}} - Q_{\text{entra}}} \quad (\text{ciclo de refrigeração})$$

Para um refrigerador doméstico  $Q_{\text{sai}}$  é descarregado para o ambiente onde se encontra o refrigerador.  $W_{\text{ciclo}}$  é fornecido na forma de energia elétrica para alimentar o motor que aciona o refrigerador.



# COEFICIENTES DE DESEMPENHO PARA BOMBAS DE CALOR

$$\gamma = \frac{Q_{\text{sai}}}{W_{\text{ciclo}}} \quad (\text{ciclo de bomba de calor})$$

$$\gamma = \frac{Q_{\text{sai}}}{Q_{\text{sai}} - Q_{\text{entra}}} \quad (\text{ciclo de bomba de calor})$$



## RESUMO

$$W, \dot{W} \begin{cases} > 0: \text{trabalho realizado pelo sistema} \\ < 0: \text{trabalho realizado sobre o sistema} \end{cases}$$
$$Q, \dot{Q} \begin{cases} > 0: \text{transferência de calor para o sistema} \\ < 0: \text{transferência de calor do sistema} \end{cases}$$



# EQUAÇÕES PRINCIPAIS

## *Equações Principais*

$\Delta E = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$	(2.27)	Varição da energia total de um sistema.
$\Delta EC = EC_2 - EC_1 = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2)$	(2.5)	Varição da energia cinética de uma massa $m$ .
$\Delta EP = EP_2 - EP_1 = mg(z_2 - z_1)$	(2.10)	Varição da energia potencial gravitacional de uma massa $m$ sujeita a $g$ constante.
$E_2 - E_1 = Q - W$	(2.35a)	Balanço de energia para sistemas fechados
$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$	(2.37)	Balanço da taxa de energia para sistemas fechados.
$W = \int_{s_1}^{s_2} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}$	(2.12)	Trabalho em virtude da ação de uma força $\mathbf{F}$ .
$\dot{W} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{V}$	(2.13)	Potência em virtude da ação de uma força $\mathbf{F}$ .
$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$	(2.17)	Trabalho de expansão ou compressão relacionado à pressão do fluido. Ver Fig 2.4



# EQUAÇÕES PRINCIPAIS

## Ciclos Termodinâmicos

$W_{\text{ciclo}} = Q_{\text{entra}} - Q_{\text{sai}}$	(2.41)	Balanço de energia para um <i>ciclo de potência</i> . Como na Fig 2.17a, todas as grandezas são registradas como positivas.
$\eta = \frac{W_{\text{ciclo}}}{Q_{\text{entra}}}$	(2.42)	Eficiência térmica de um ciclo de potência.
$W_{\text{ciclo}} = Q_{\text{sai}} - Q_{\text{entra}}$	(2.44)	Balanço de energia para um <i>ciclo de refrigeração</i> ou <i>bomba de calor</i> . Como na Fig 2.17b, todas as grandezas são registradas como positivas.
$\beta = \frac{Q_{\text{entra}}}{W_{\text{ciclo}}}$	(2.45)	Coefficiente de desempenho de um ciclo de refrigeração.
$\gamma = \frac{Q_{\text{sai}}}{W_{\text{ciclo}}}$	(2.47)	Coefficiente de desempenho de um ciclo de bomba de calor.

