

BCJ0205-15

Fenômenos Térmicos

Prof. Paramita Barai

**Modulo 4: Máquinas Térmicas, Entropia e
a Segunda Lei da Termodinâmica**

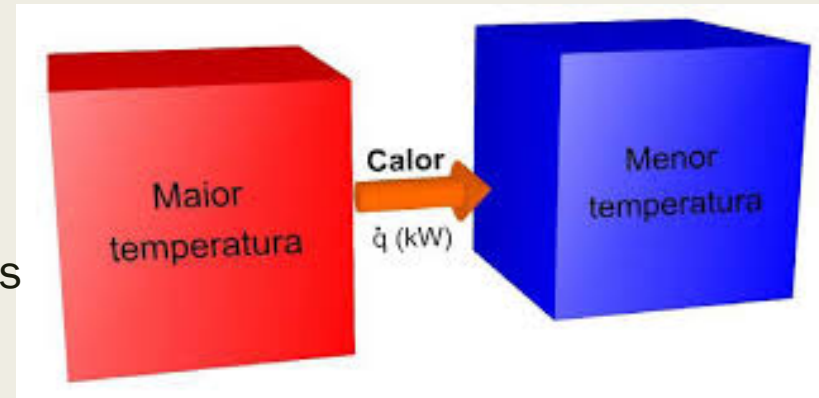
Capítulo 18 do livro texto
(Princípios de Física, Serway, Vol. 2)

Unidades 18.1, 18.2 (páginas 200 - 203)

Processos Irreversíveis

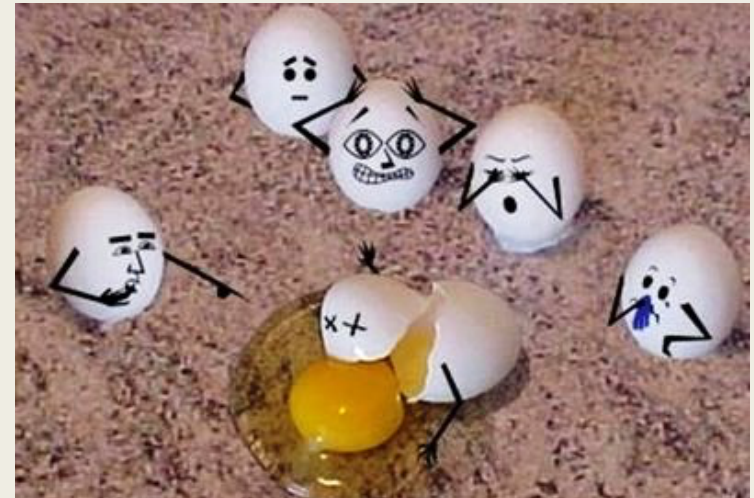
➤ Apenas alguns tipos de processos de conservação de energia ocorrem na natureza.

- 1) Transferência de energia pelo calor sempre ocorre do objeto mais quente para o mais frio.
 - Nunca do objeto mais frio para o mais quente.



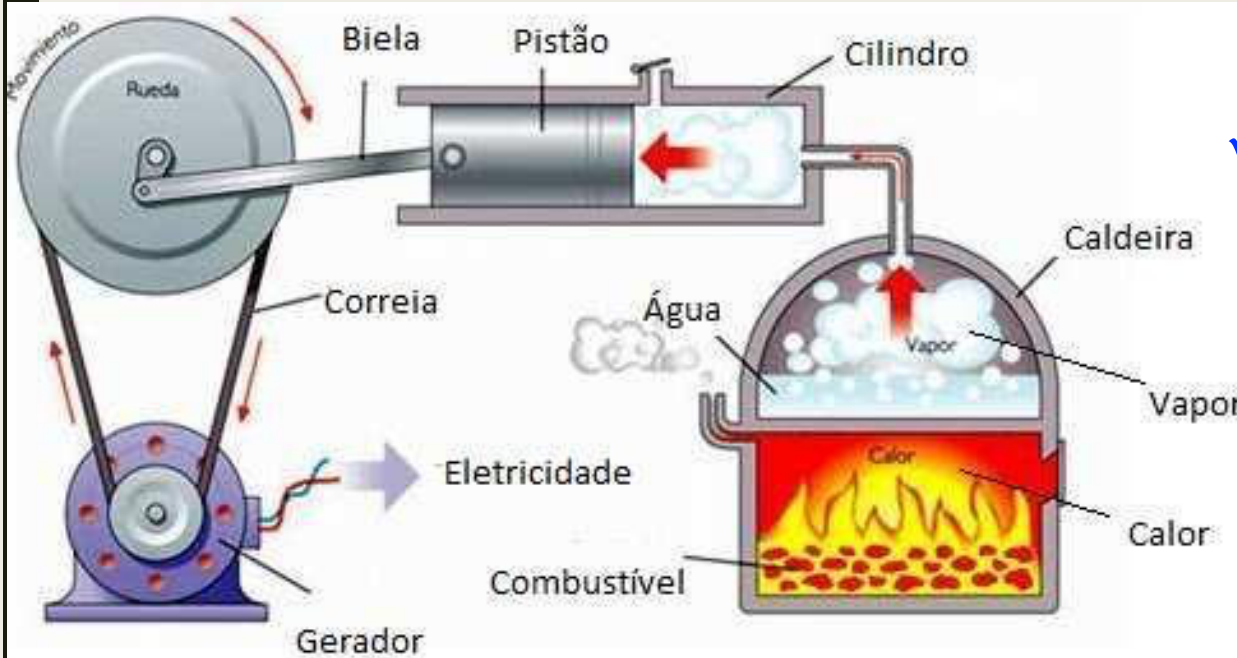
- 2) Um ovo se quebra.
 - Nunca um ovo quebrado pode ser colocado junto para formar um ovo inteiro.

- Exemplos de Processos Irreversíveis.
 - Ocorrem em apenas uma direção.



- ✓ A Segunda Lei da Termodinâmica.
 - Quais processos naturais ocorrem e quais não ocorrem.

4.1 - Máquinas Térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica



✓ Máquina Térmica : Dispositivo que recebe energia de alguma forma (ex. calor) e, operando em um ciclo, expele uma fração dessa energia por meio do trabalho.

- Ex.: Produção de eletricidade em uma usina:
 - 1) *Carvão (ou outro combustível) é queimado*
 - 2) *Energia interna resultante é usada para converter água em vapor.*
 - 3) *Este vapor gira as lâminas de uma turbina.*
 - 4) *Energia mecânica associada a esta rotação é usada para acionar um gerador elétrico.*

Máquinas Térmicas



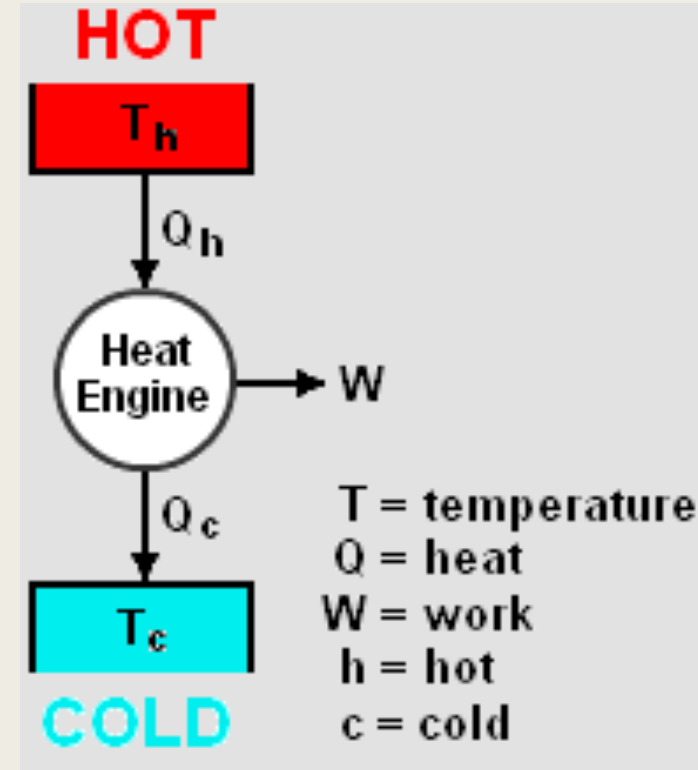
- Energia de saída é chamada:
 - Energia desperdiçada,
 - Energia de exaustão,
 - Poluição térmica.

- Alguma substância de trabalho funciona por um processo cíclico:
 - 1) Absorve a energia térmica de um reservatório de alta temperatura.
 - 2) Trabalho é feito pela máquina.
 - 3) Energia é expelida pelo calor para um reservatório com temperatura mais baixa.
- Ex.: Uma Máquina a Vapor usa água como substância de trabalho.
 - 1) Água em uma caldeira absorve energia do combustível que está sendo queimado e evapora.
 - 2) Este vapor então faz o trabalho expandindo contra um pistão.
 - 3) Depois que o vapor esfria e se condensa, a água líquida produzida retorna à caldeira.

→ O ciclo se repete.

Máquinas Térmicas

- Energia absorvida do reservatório quente = $|Q_h|$
- Trabalho feito por máquina térmica = W_{eng}
 - Trabalho feito na máquina, $W = -W_{\text{eng}}$
- Energia dada ao reservatório frio = $|Q_c|$
- A substância de trabalho passa por um ciclo.
 - *Suas Energias Internas inicial e final são iguais.*
- A máquina pode ser modelada como um sistema não isolado em estado estacionário.
- Usando a Primeira Lei da termodinâmica →
- Trabalho realizado por uma máquina térmica é igual à energia resultante por ela absorvida.



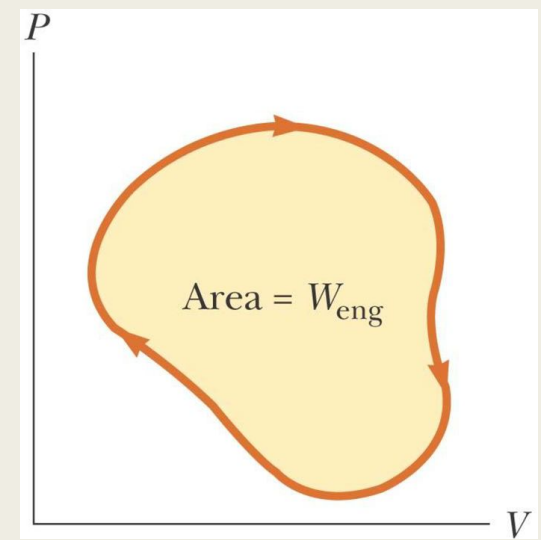
$$\Delta E_{\text{int}} = 0 = Q + W$$

$$Q_{\text{líquido}} = -W = W_{\text{eng}}$$

$$W_{\text{eng}} = Q_{\text{net}} = |Q_h| - |Q_c|$$

Máquinas Térmicas

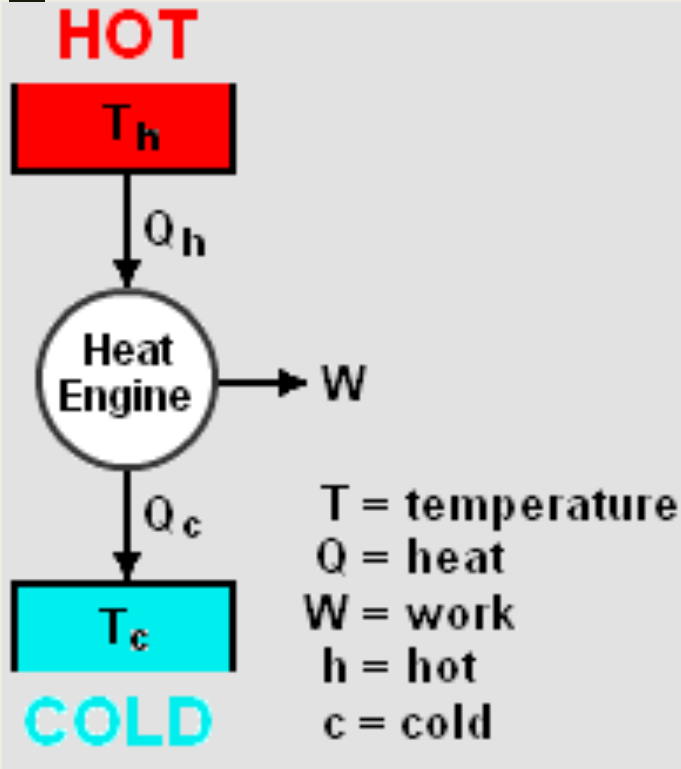
- Se a substância de trabalho = gás, o trabalho total realizado por uma máquina para um processo cíclico é a área delimitada pela curva que representa o processo no diagrama $PV \rightarrow$
- **Eficiência térmica (e) da máquina:**
Proporção do trabalho realizado pela máquina com a energia absorvida na temperatura mais alta durante um ciclo.
- $e=1$ (ou, 100% eficiente) só se $Q_c=0$
 - Se a energia não for expelida para o reservatório frio.
- Uma máquina térmica perfeitamente eficiente teria que expelir toda a energia que entrava por meio do trabalho mecânico.



$$e = \frac{W_{\text{eng}}}{|Q_h|} = \frac{|Q_h| - |Q_c|}{|Q_h|}$$

$$e = 1 - \frac{|Q_c|}{|Q_h|}$$

Declaração Kelvin-Planck da Segunda Lei da Termodinâmica

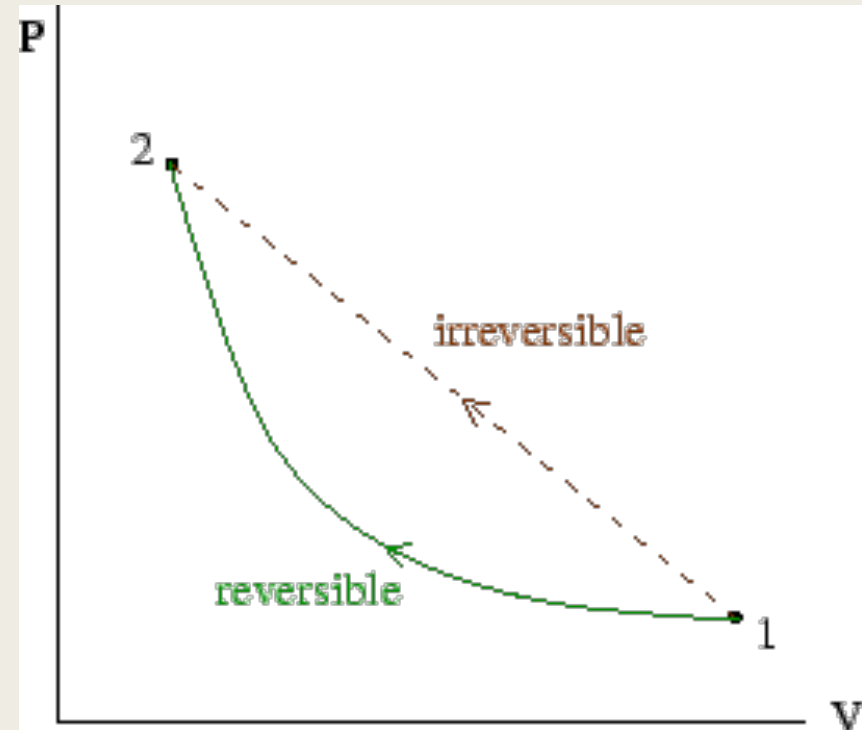


- É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclo, não tenha outro efeito senão absorver a energia térmica de um reservatório e realizar o mesmo trabalho.
- É teoricamente impossível construir uma máquina, que funcione com 100% de eficiência.
 - $Q_c=0$ não é possível.
- Todas as máquinas devem expelir alguma energia Q_c para o ambiente.

$$W_{\text{eng}} = Q_{\text{net}} = |Q_h| - |Q_c|$$

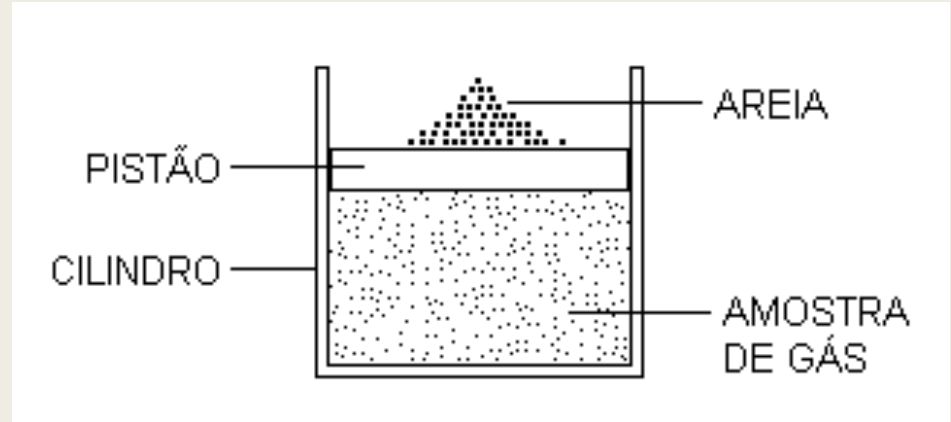
4.2– Processos Reversíveis e Irreversíveis

- **Processo Reversível** : O sistema pode retornar às suas condições iniciais seguindo o mesmo caminho, e cada ponto ao longo desse caminho é um estado de equilíbrio.
- **Processo Irreversível** : Um processo que não atenda a esses requisitos é irreversível.



- Um processo **reversível** é quase uma idealização.
- Todos os processos naturais na Terra são **irreversíveis**, e nós os observamos apenas em uma direção:
 - ✓ Transferência de energia pelo calor do objeto mais quente para o mais frio.
 - ✓ Quebra de um ovo.
 - ✓ Expansão livre de um gás → Quando a membrana é removida, o gás se expande para a metade vazia do recipiente, os arredores não são modificados.

Processo Reversível



- Se um processo real ocorre muito lentamente, de forma que o sistema esteja sempre perto do equilíbrio, o processo pode ser modelado como reversível.
- Ex.: Comprimir um gás muito lentamente, soltando alguns grãos de areia no pistão sem atrito.
 - ❑ *A pressão, o volume e a temperatura do gás são bem definidos durante esta compressão isotérmica.*
 - ❑ *Cada grão de areia adicionado representa uma pequena mudança para um novo estado de equilíbrio.*
 - ❑ *O processo pode ser revertido removendo lentamente os grãos de areia do pistão.*