



Termodinâmica e Estrutura da Matéria

Aula 10 – Processos Termodinâmicos

Carlos A. Santos Silva

Professor Associado Convidado

Cátedra WS – Energia

Departamento de Física

carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt



Sumário

- Processos
 - Isotérmicos
 - isocóricos
 - isobáricos
 - adiabáticos
 - politrópicos
 - isentrópicos
- Ciclo de Carnot

PROCESSOS TERMODINÂMICOS

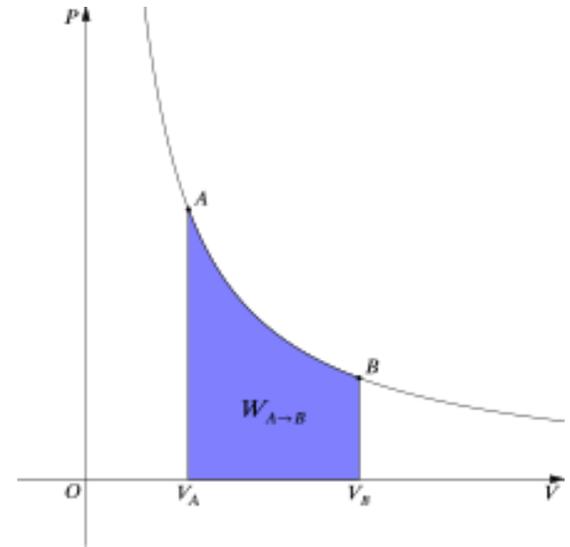
Processo

- Mudança de um sistema de um estado para outro
- Para descrever um processo, é preciso especificar:
 - Estado inicial
 - Estado final
 - Estados intermédios (*caminho*)

PROCESSOS ISOTÉRMICOS

Processos isotérmicos (1)

- Processo que ocorre a temperatura constante (e.g. mudança de fase)
 - Existência de um reservatório térmico com o qual há uma troca de calor suficientemente devagar para que o sistema se ajuste à temperatura do reservatório sem se alterar
 - $\Delta T = 0$
 - $\Delta U = 0$



Processos isotérmicos (2)

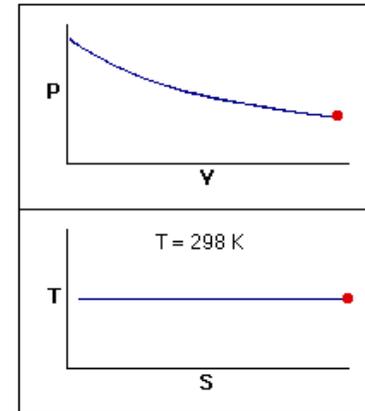
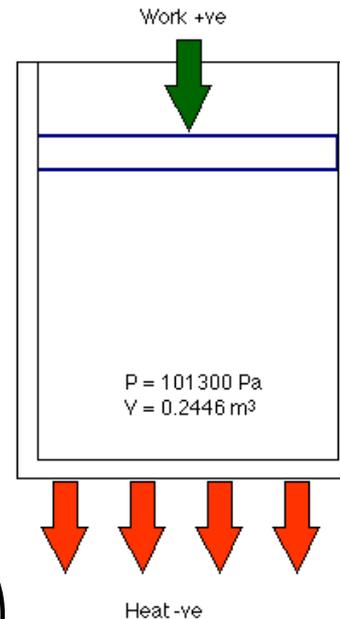
- Da 1ª lei da termodinâmica

$$Q - W = \Delta U \xleftrightarrow{\Delta U=0} Q = W$$

$$W = \int_1^2 P dV$$

- Se gás perfeito

$$W = \int_1^2 P dV = \int_1^2 \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$



- 2ª lei da termodinâmica

$$T dS = dU + P dV \Leftrightarrow dS = \frac{P dV}{T} = nR \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

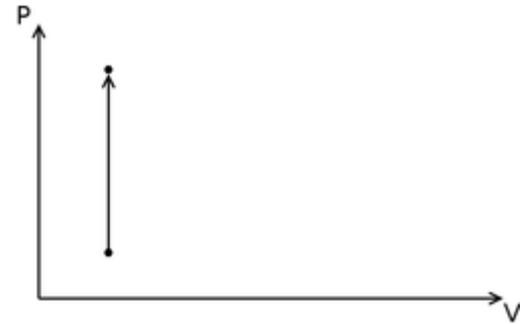
Se $W=0$, expansão livre de um gás (processo irreversível)

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T} \xleftrightarrow{\text{int rev}} \Delta S = \frac{Q}{T}$$

PROCESSOS ISOCÓRICOS

Processos isocórico (1)

- Processo que ocorre a volume constante
 - Como a energia é transferida a volume constante, não há realização de trabalho
 - $\Delta V = 0$
 - $\Delta W = 0$
 - $\Delta U = Q$



Processos isocóricos (2)

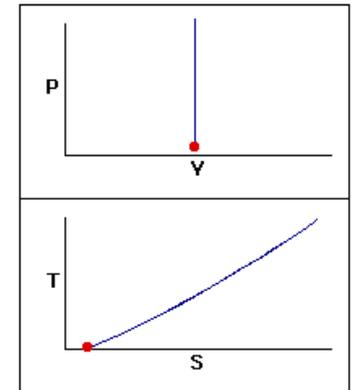
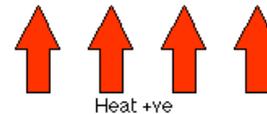
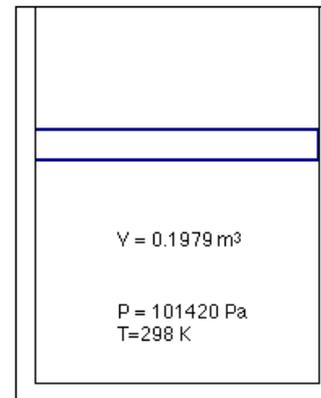
- Como vimos anteriormente

$$c_v = \left(\frac{\delta u}{\delta T} \right)_v$$

– Então

$$dU = mC_v dT$$

$$dU = Q = mC_v \Delta T$$



- Da 2ª lei da termodinâmica

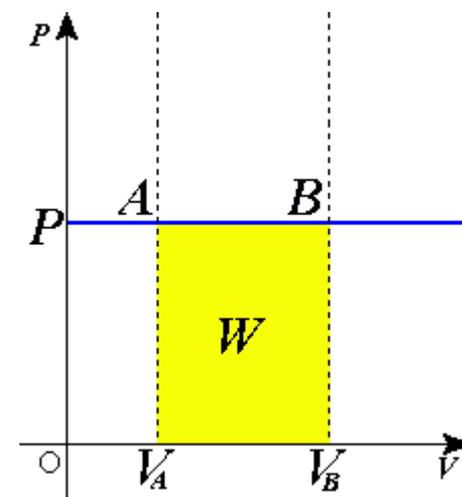
$$T dS = dU \Leftrightarrow dS = \frac{C_v dT}{T} = C_v \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

PROCESSOS ISOBÁRICOS

Processos isobárico (1)

- Processo que ocorre a pressão constante
 - Neste caso, varia não só o trabalho mas também a energia interna do sistema
 - Da 1ª lei da termodinâmica

$$\Delta U = Q - W$$



Processos isobáricos (2)

- Como vimos anteriormente

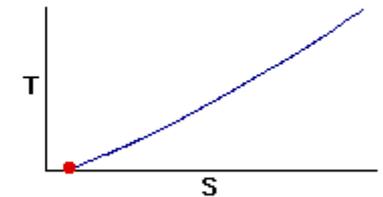
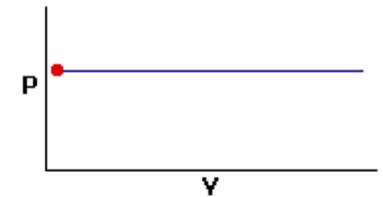
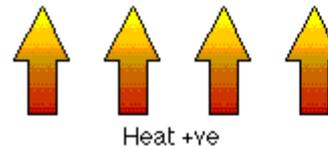
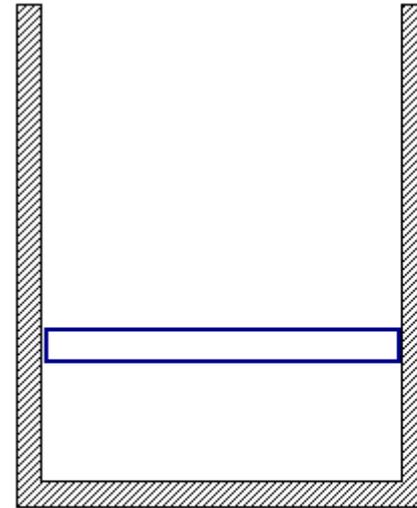
$$W = \int_1^2 P dV$$

$$Q = \Delta U + P\Delta v$$

$$Q = \Delta H$$

$$c_p = \left(\frac{\delta h}{\delta T} \right)_p$$

$$Q = mC_p\Delta T$$



P = 250000 Pa
T = 298 K
V = 0.0991 m³

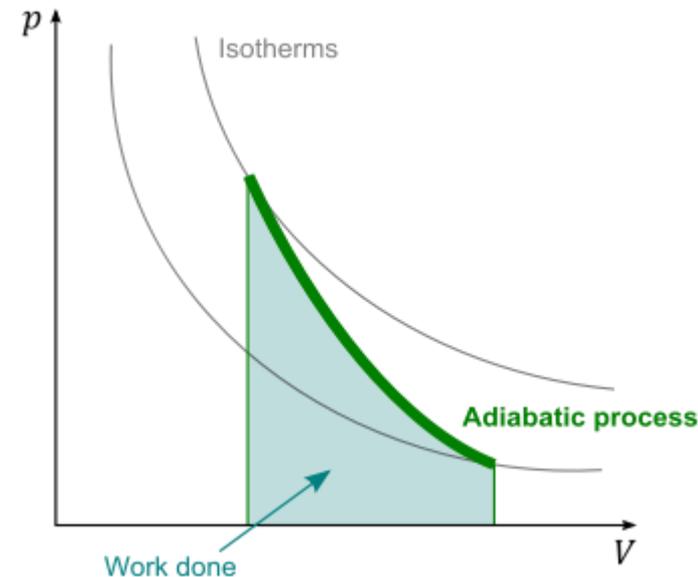
- Da 2ª lei da termodinâmica

$$dS = \frac{mC_p dT}{T} = mC_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

PROCESSOS ADIABÁTICOS

Processos adiabáticos (1)

- Processo que ocorre sem trocas de calor com o exterior
 - Ocorre quando a fronteira do sistema está isolada ou quando é feito a uma velocidade muito grande
 - $\Delta Q = 0$
 - $\Delta U = -W$



Processos adiabáticos (2)

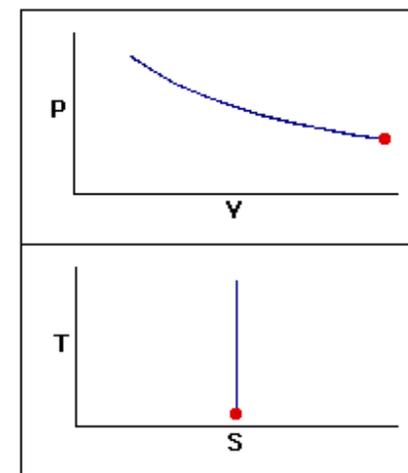
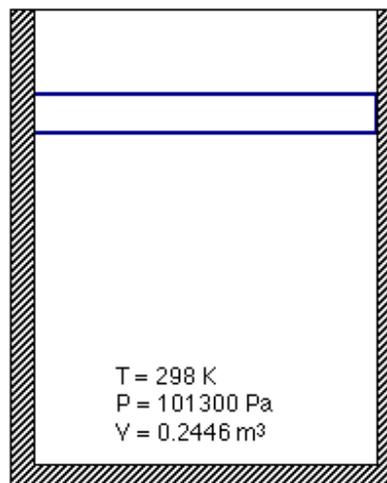
- Da 2ª lei da termodinâmica

- Processo reversível

$$dS = 0$$

- Processo irreversível

$$dQ < TdS$$



PROCESSOS POLITRÓPICOS

Definição

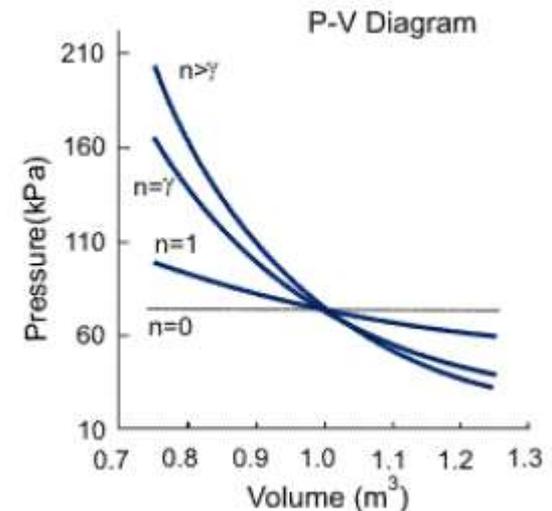
- Existem processos de expansão e compressão de gases reais em que a pressão e o volume podem ser descritos através da seguinte relação:

$$PV^n = C \Leftrightarrow P_1V_1^n = P_2V_2^n$$

- Assumimos que o processo é quasi-equilíbrio
- Para processos politrópicos de um gás perfeito:

$$W_b = \frac{mR_{gas}(T_2 - T_1)}{1 - n}, n \neq 1$$

- $n=1$ é equivalente a um processo isotérmico
- $n=0$ é um processo isobárico (pressão constante)



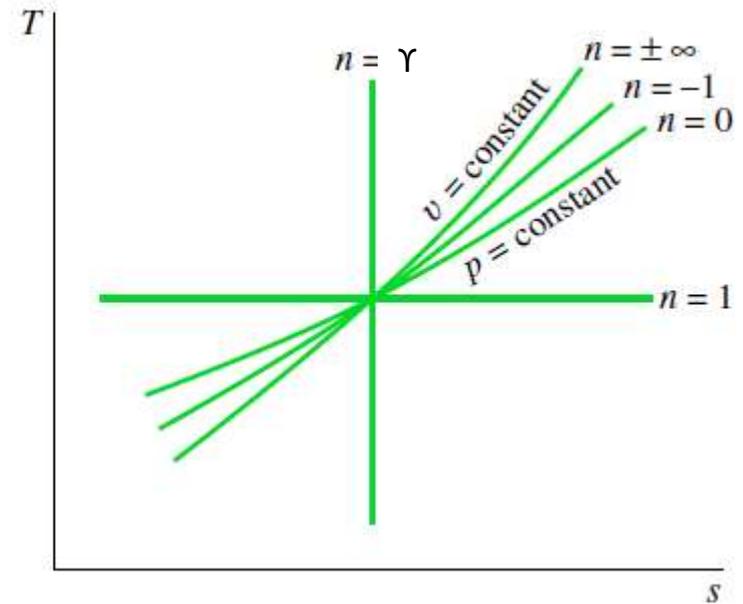
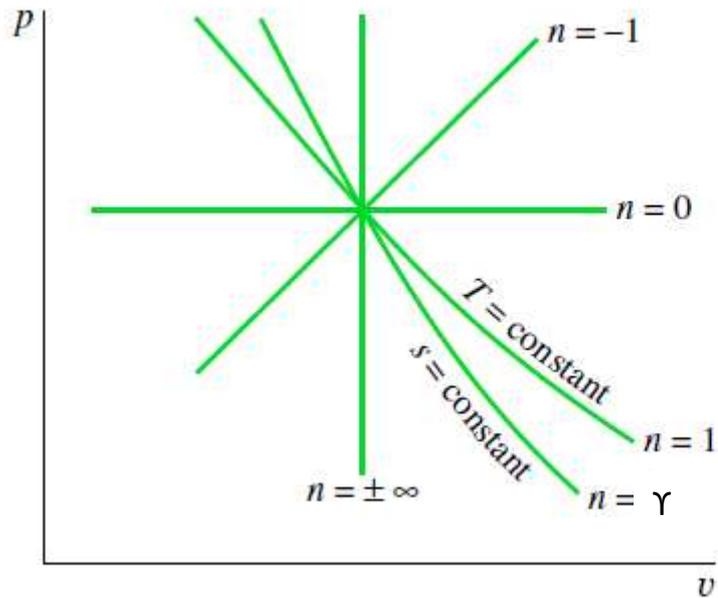
Processos politr\u00f3picos (1)

- Processo revers\u00edvel onde se verifica que $PV^n = C$

$n = 0$	$PV^0 = C$	Processo isob\u00e1rico
$n = 1$	$PV^1 = nRT$	Processo isot\u00e9rmico
$1 < n < \gamma$		Processo quasi-adiab\u00e1tico
$n = \gamma$	$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	Processo adiab\u00e1tico
$n = \infty$		Processo isoc\u00f3rico

$$W = \int_1^2 PdV = \frac{mR(T_2 - T_1)}{n - 1}, n \neq 1$$

Processos politrópicos (2)

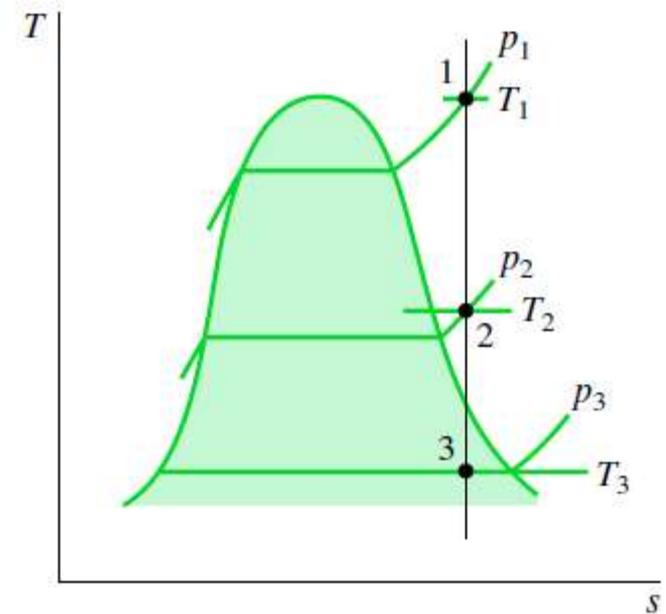


PROCESSOS ISENTRÓPICOS

Processos isentrópicos

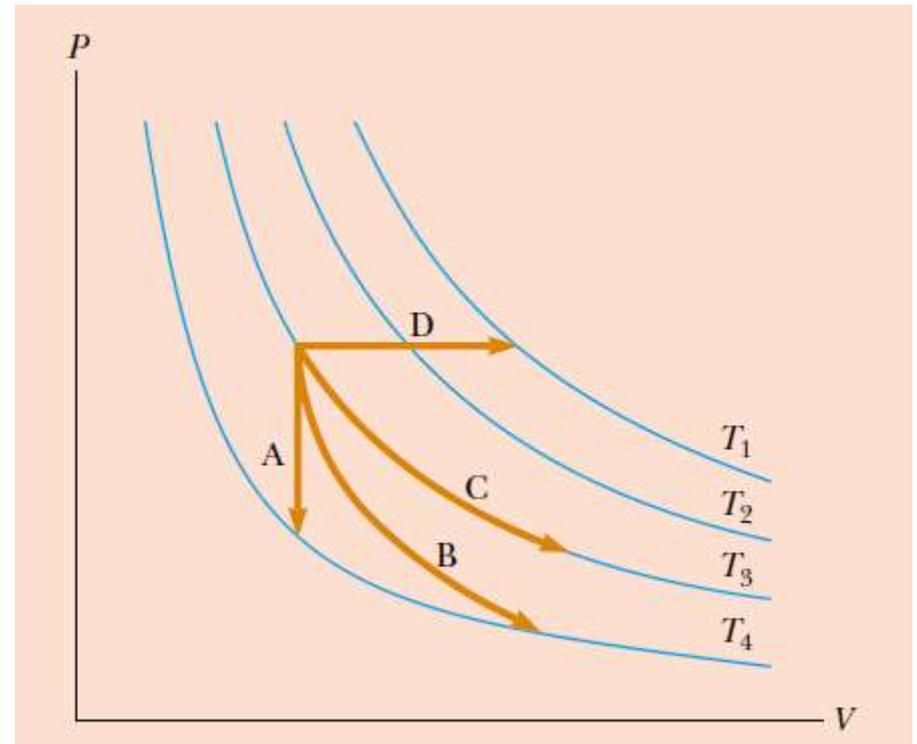
- Processos onde a entropia se mantém constante
 - Processos adiabáticos reversíveis

$$\Delta S=0$$



Exemplos

- Classifique os processos:
 - A: isocórico
 - B: adiabático
 - C: isotérmico
 - D: isobárico

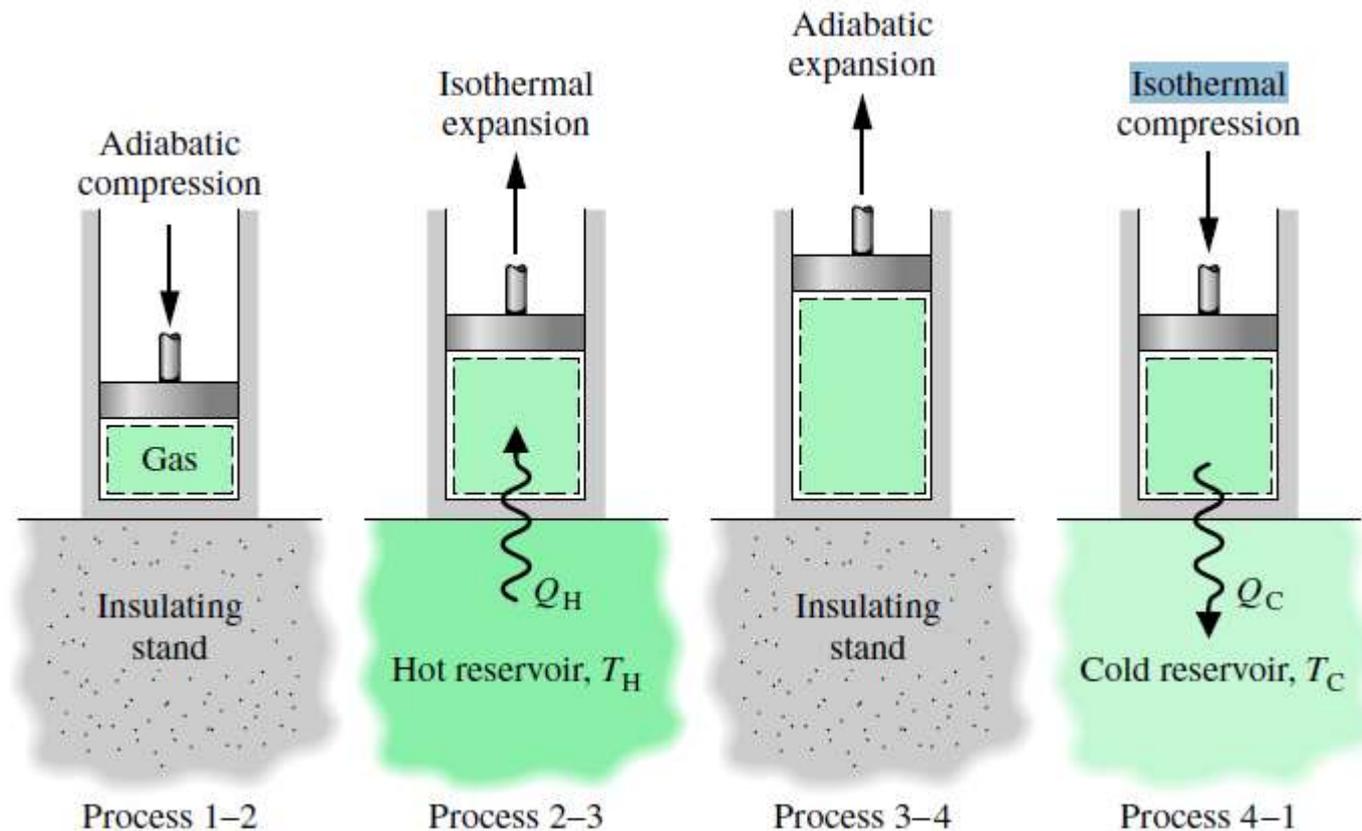


CICLO CARNOT

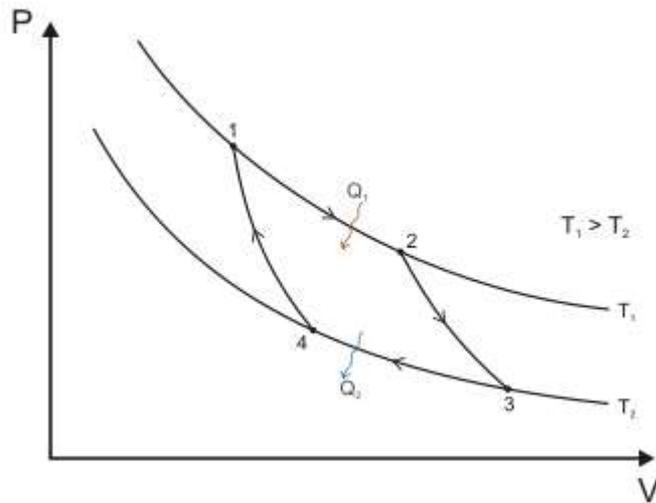
Definição

- Ciclo termodinâmico ideal entre dois reservatórios térmicos composto por 4 processos reversíveis
 - 1→2 : expansão isotérmica após entrar em contacto com reservatório quente T_H
 - 2→3 : Expansão adiabática até T_C
 - 3→4 : Compressão isotérmica após entrar em contacto com reservatório frio T_C
 - 4→1 : compressão adiabática de um gás perfeito até T_H

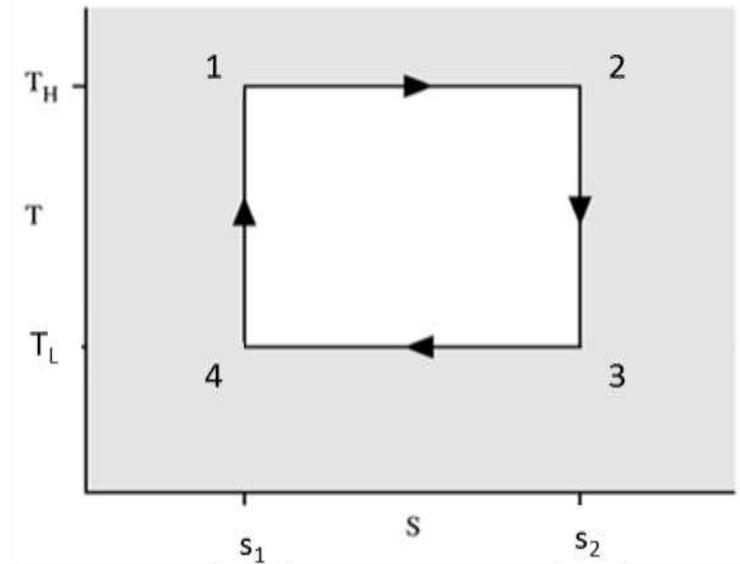
Ciclo Carnot



Representação nos diagramas



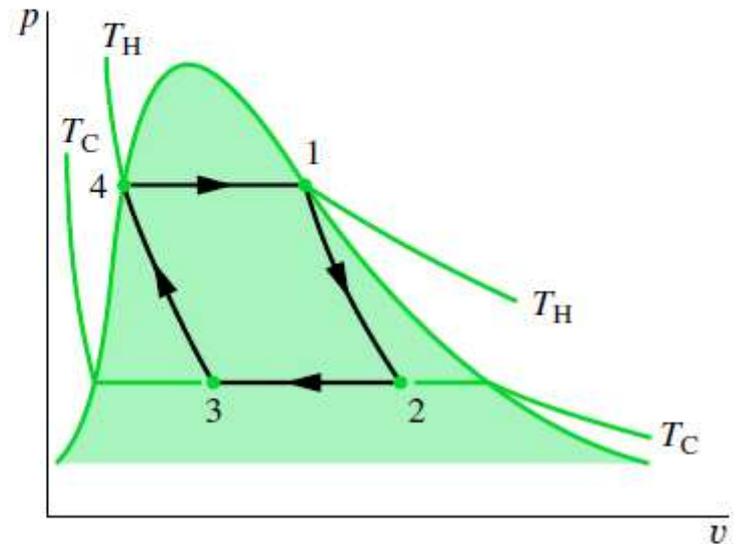
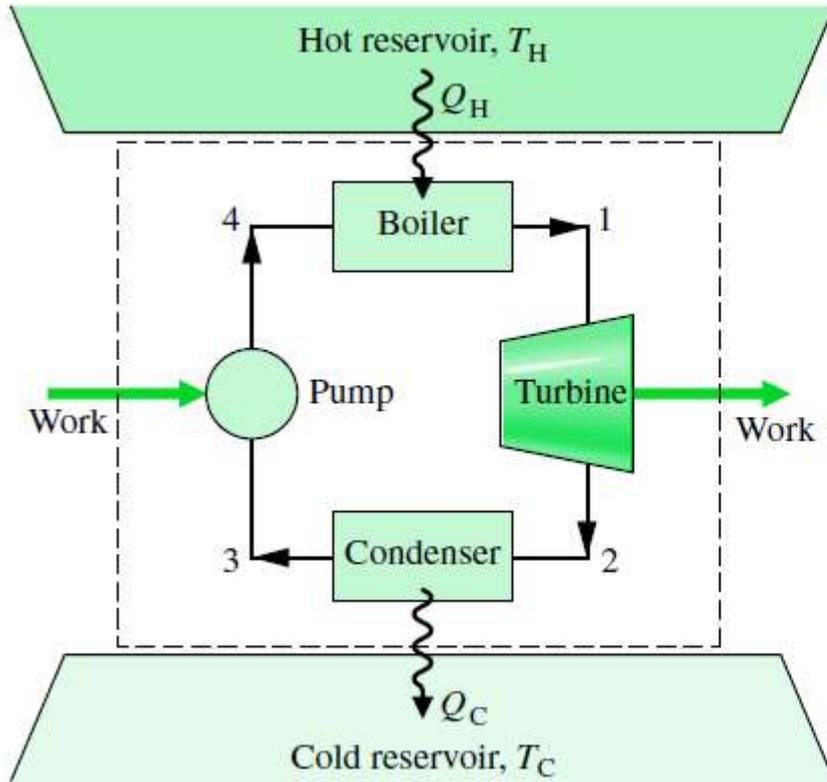
- 1→2 : Recebe Q
- 2→3 : Produz W
- 3→4 : Perde Q
- 4→1 : Consome W



Considerações sobre o ciclo

- Máquina térmica
 - Ciclo no sentido horário
- Ciclo frigorífico / bomba de calor
 - Ciclo no sentido anti-horário
- Ciclo de eficiência máxima entre dois reservatórios

Ciclo de Carnot a vapor



Ciclo de Carnot de Bomba de Calor

