

SEM0360

Fundamentos Termodinâmicos

AULA 12: Sistemas de Potência a Vapor

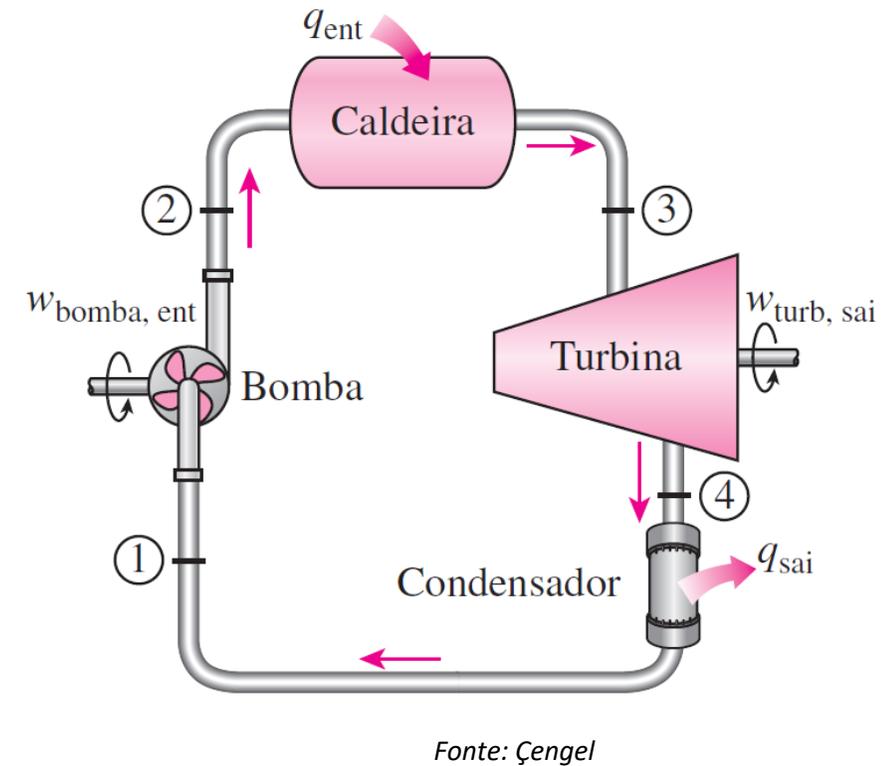
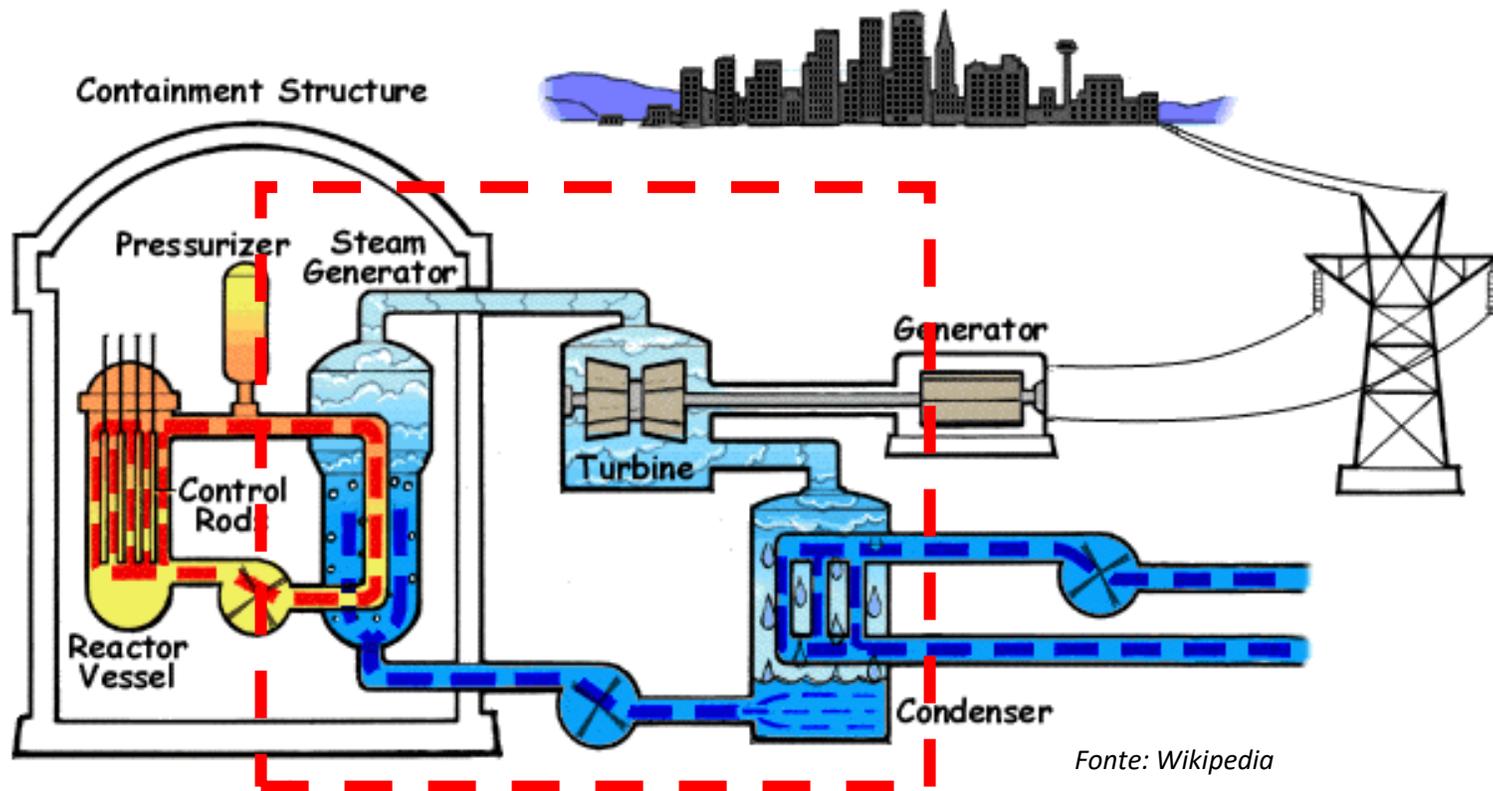
Arthur V. S. Oliveira
(avs.oliveira@usp.br)



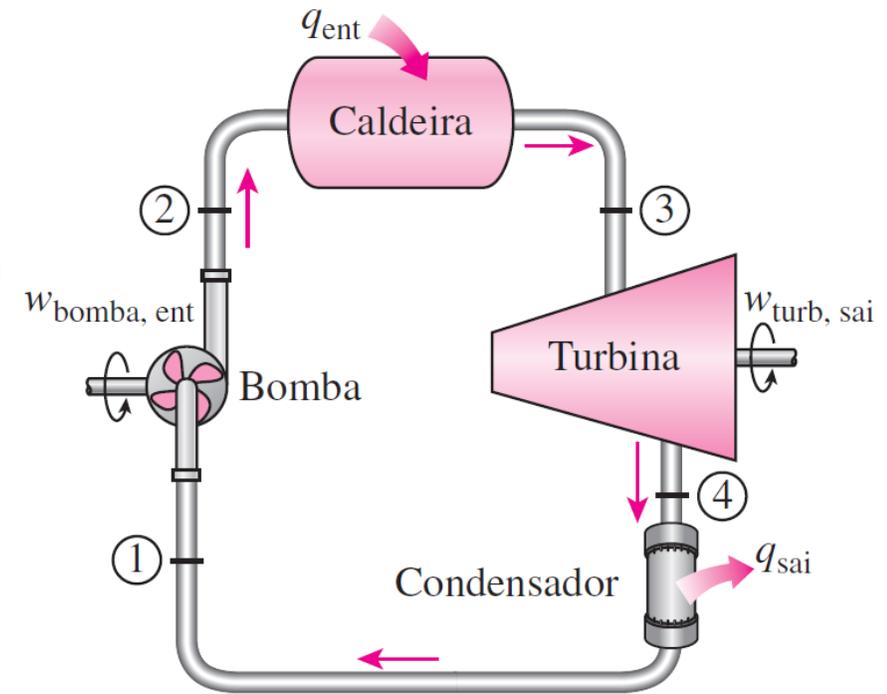
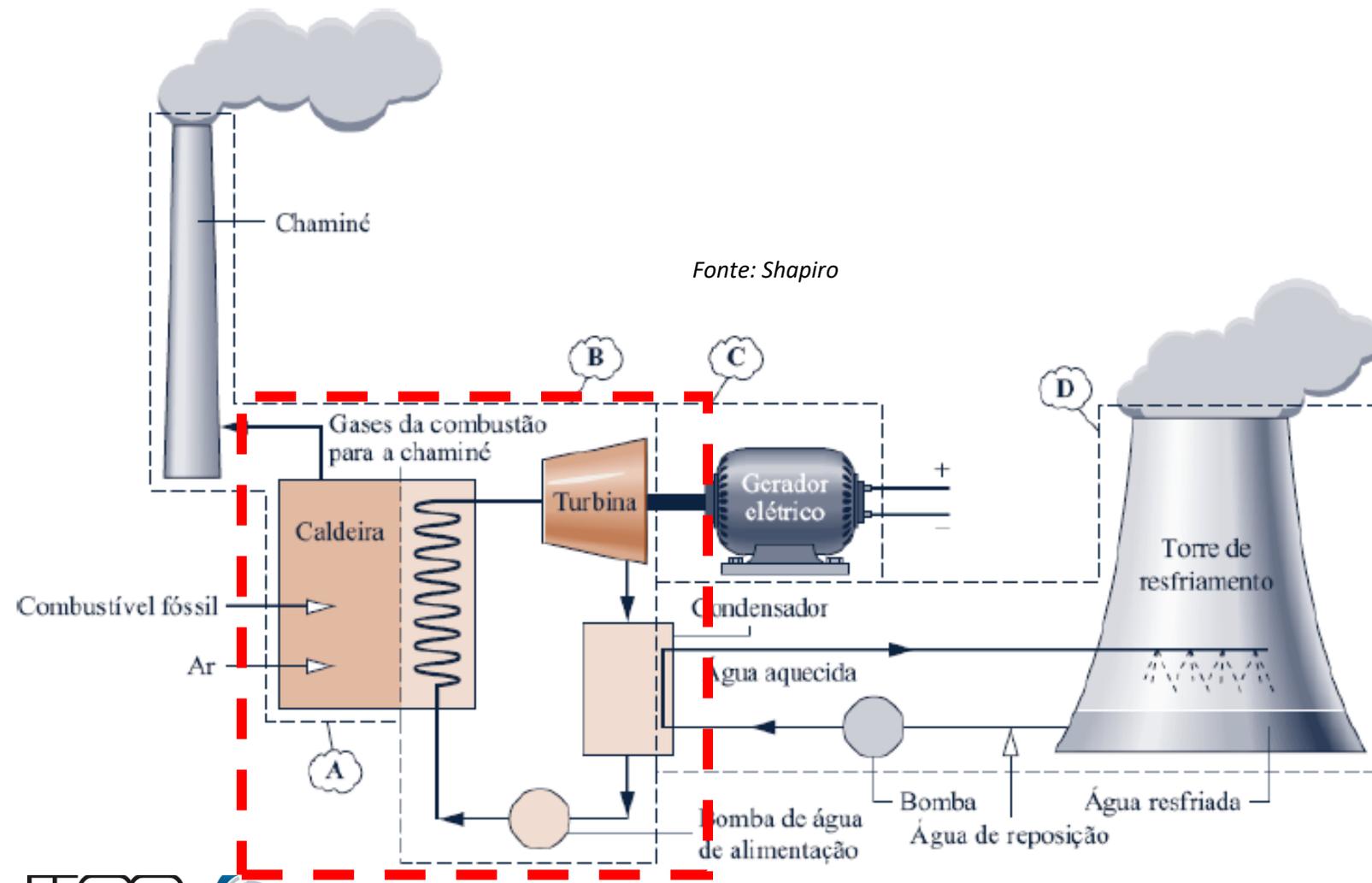
Aula de hoje

- Moran e Shapiro (8ª ed): Capítulo 8
- Çengel e Boles (7ª ed): Capítulo 10

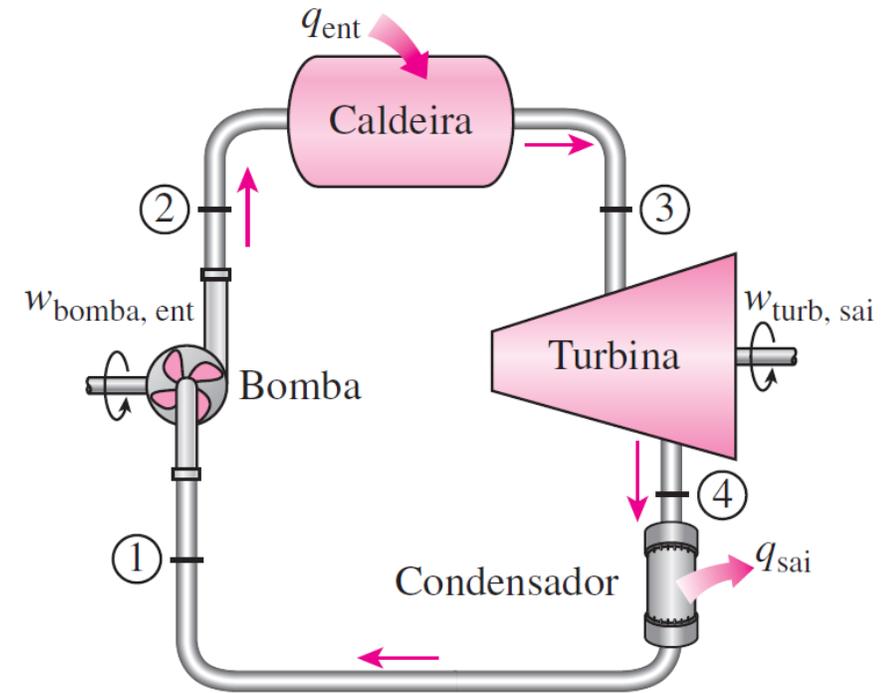
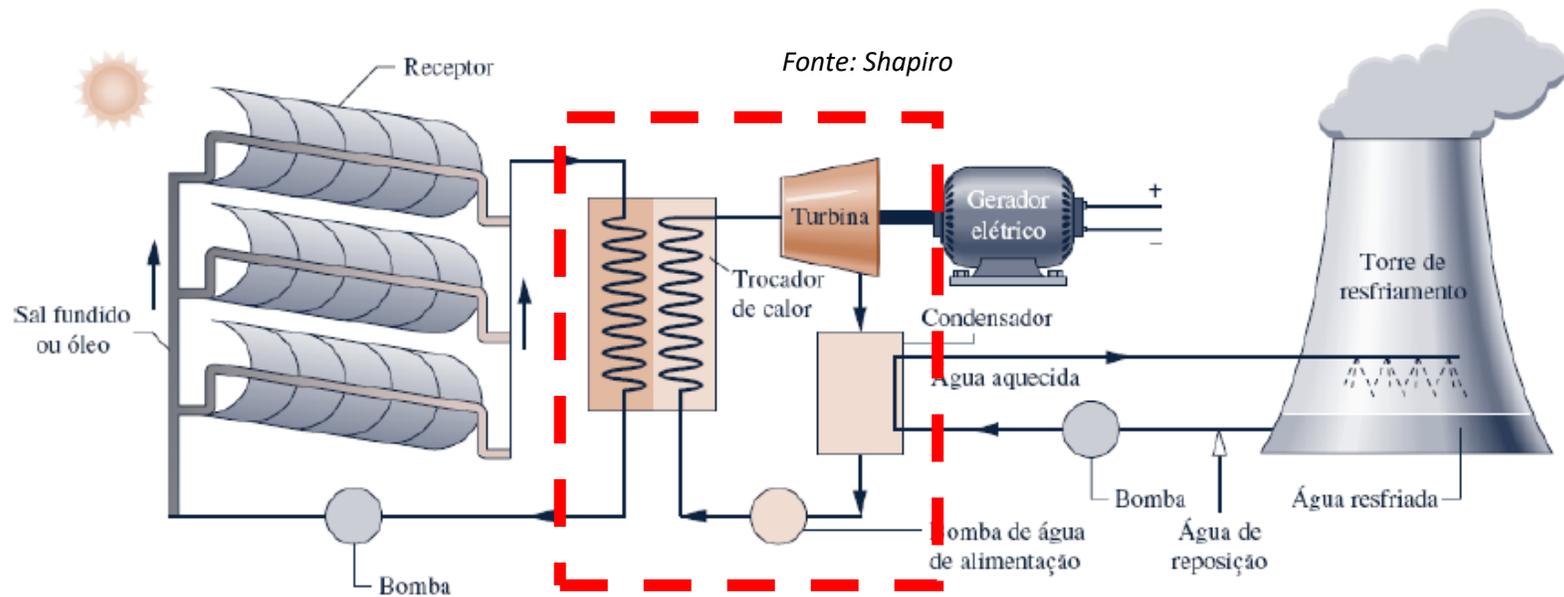
Usina nuclear



Usina termelétrica por combustível fóssil



Usina termelétrica por energia solar



Riscos de uma caldeira

- Explosão de um vaso de 200 litros a 20 bar (dobro do projeto) (*Mythbusters*)

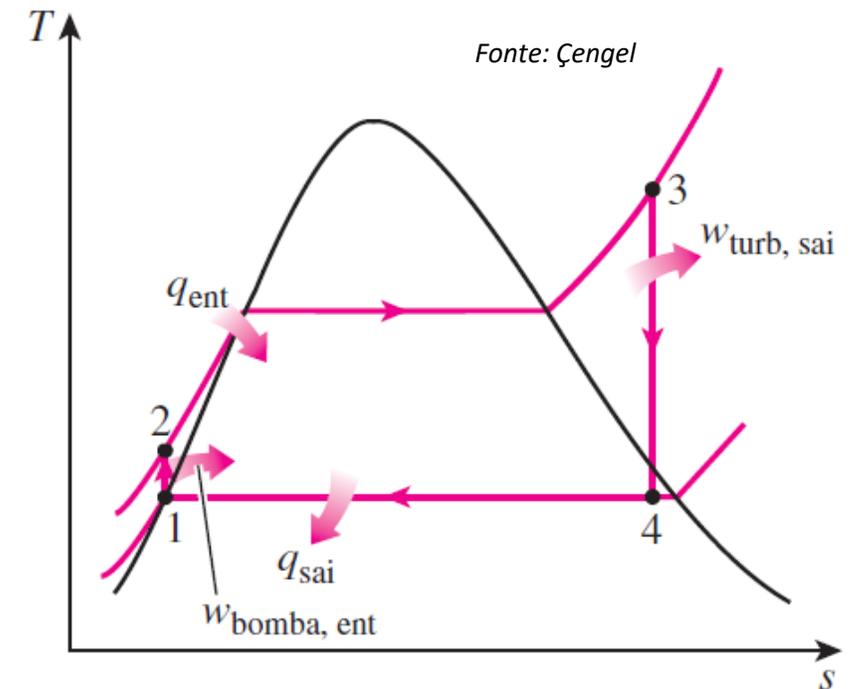
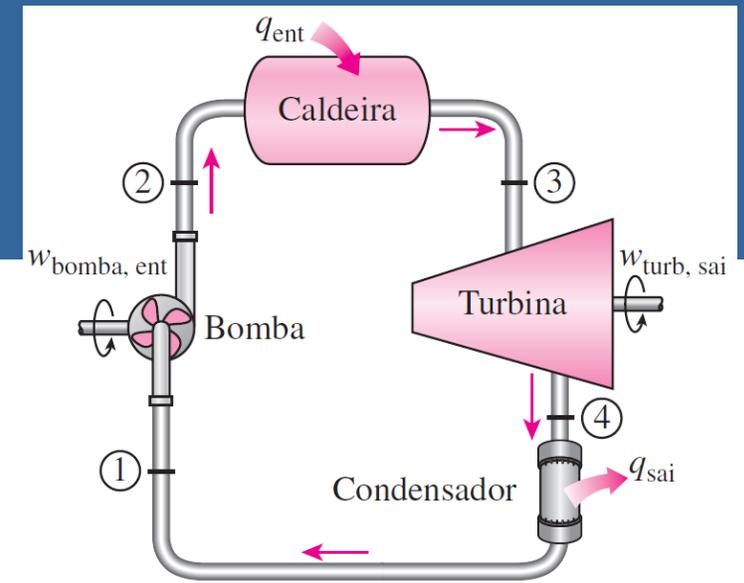


- Explosão de um trocador de calor industrial (introdução de água a seco) (*TheSteamGenerator*)



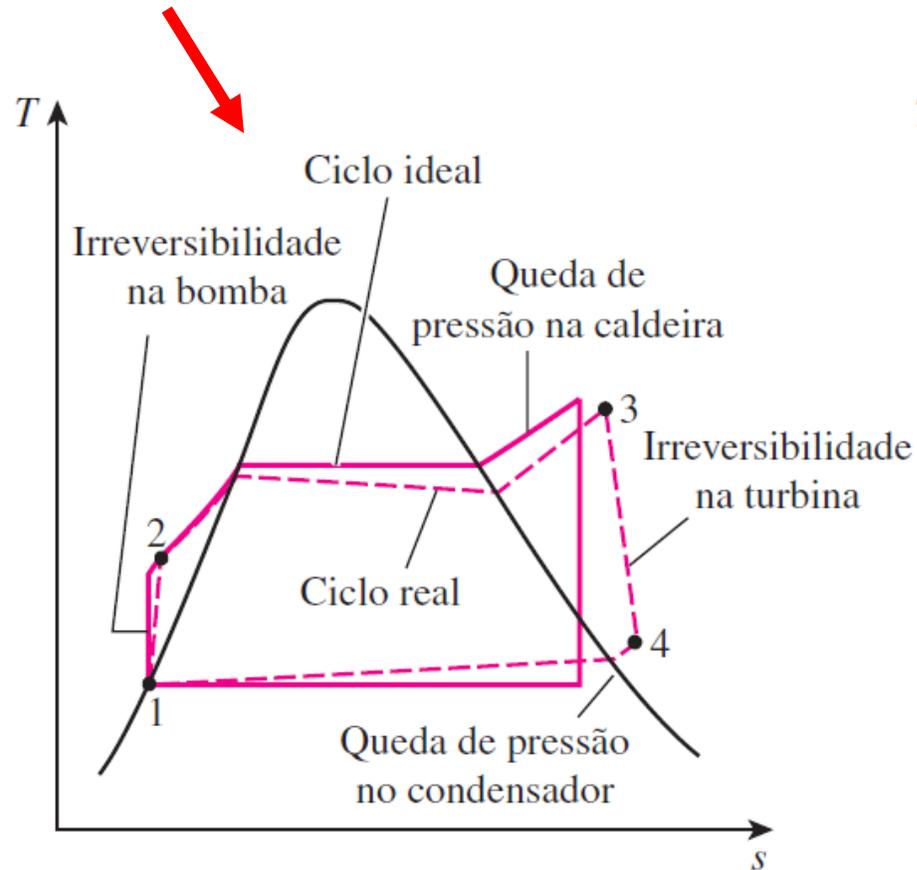
Ciclo Rankine ideal

- Processos:
 - 1-2: compressão isentrópica (saída líquido comprimido)
 - 2-3: adição de calor isobárica até vapor (saturado ou superaquecido)
 - 3-4: expansão isentrópica até líquido ou L+V saturados
 - 4-1: rejeição de calor isobárica até líquido (saturado ou comprimido)

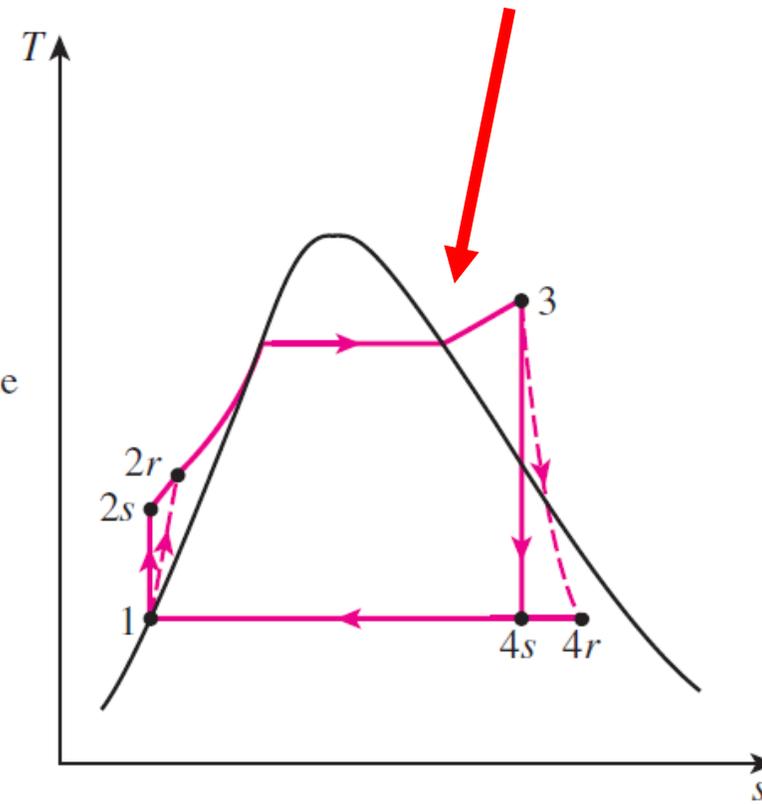


Ciclo Rankine real

Mais completo, menos comum



Mais simples, mais comum

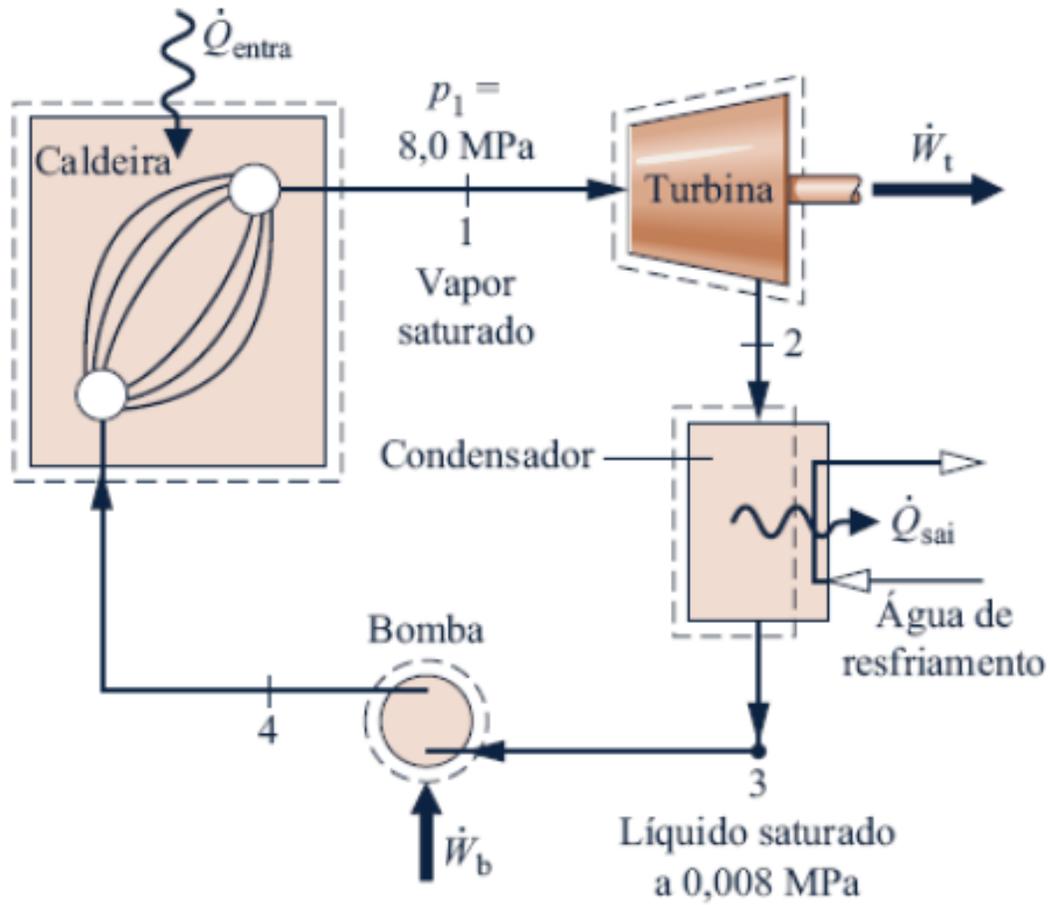


Fonte: Çengel

Principais causas de irreversibilidades

- Turbina
 - Perda de calor para o ambiente
 - Expansão não-isentrópica
- Bomba
 - Perda de calor para o ambiente
 - Compressão não-isentrópica
- Caldeira e condensador
 - Atrito do escoamento nas tubulações

Exemplo 8.2 (Shapiro)



$$\dot{W}_{liq} = 100 \text{ MW}$$

$$\Delta T_{resfr,cond} = 35^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}$$

$$\eta_t = \eta_b = 85\%$$

$$\eta ? \quad \dot{Q}_{entra} ?$$

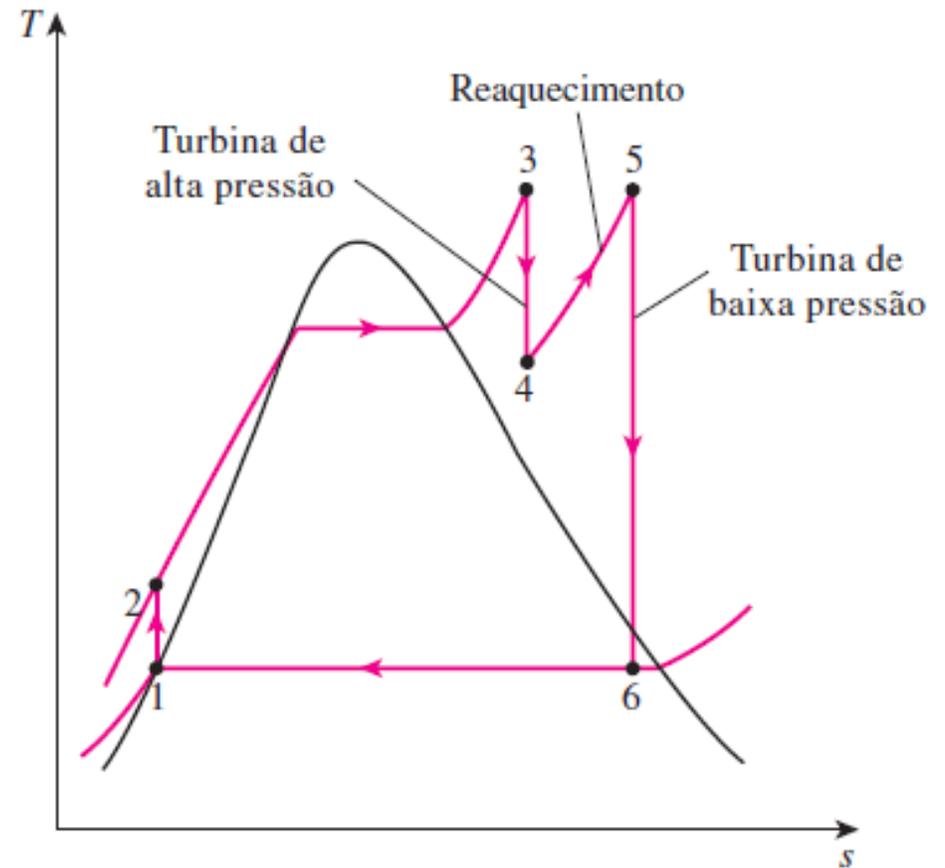
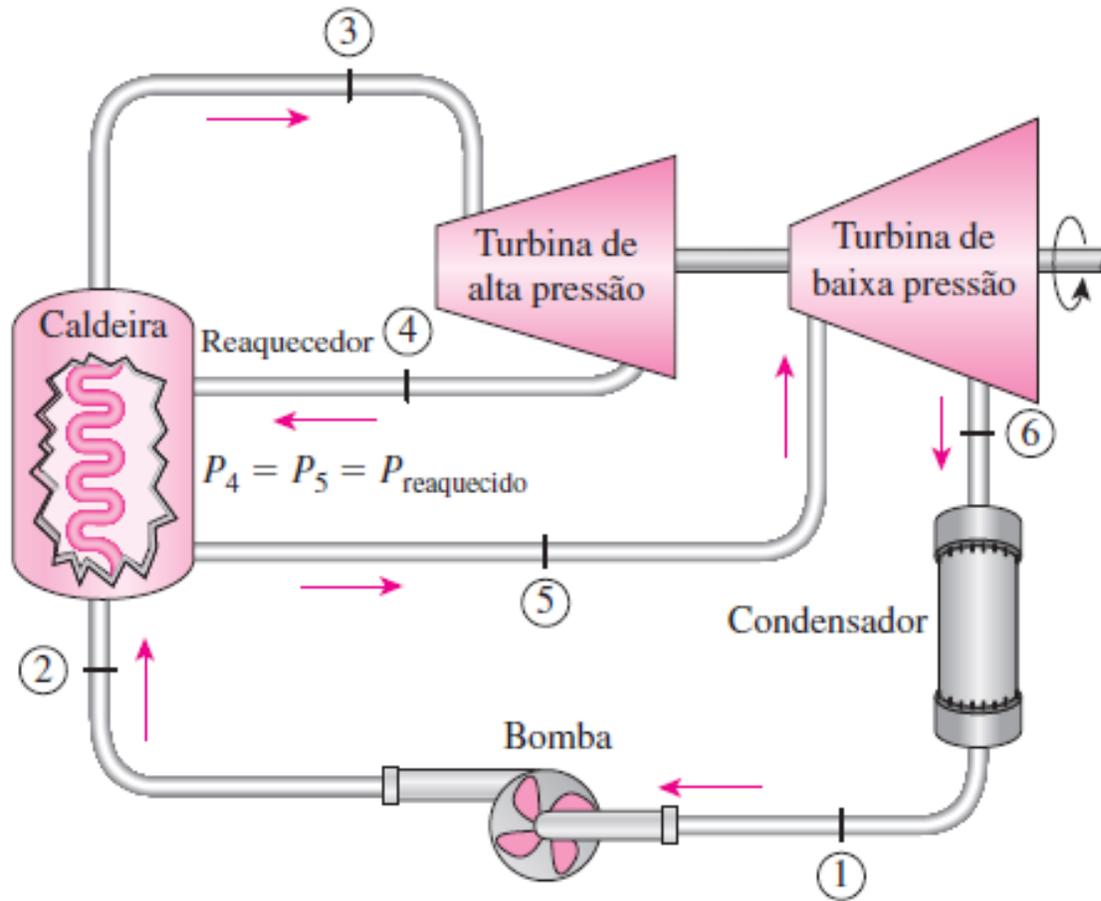
$$\dot{m}_v \left[\frac{kg}{h} \right] ? \quad \dot{Q}_{sai} ?$$

$$bwr ? \quad \dot{m}_{cond} \left[\frac{kg}{h} \right] ?$$

Melhorando o desempenho do ciclo Rankine

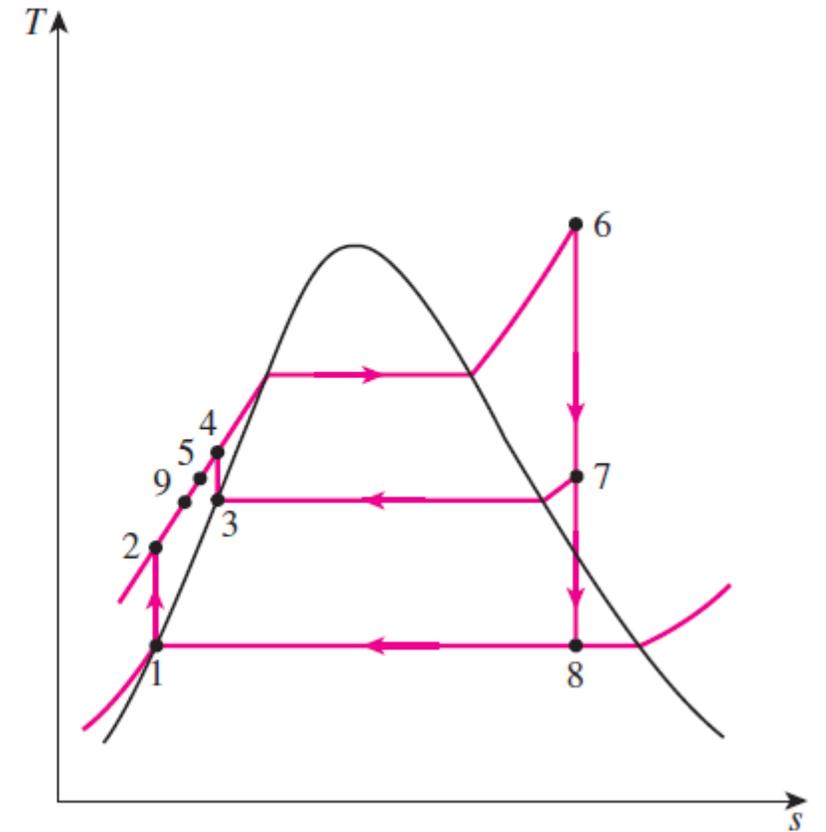
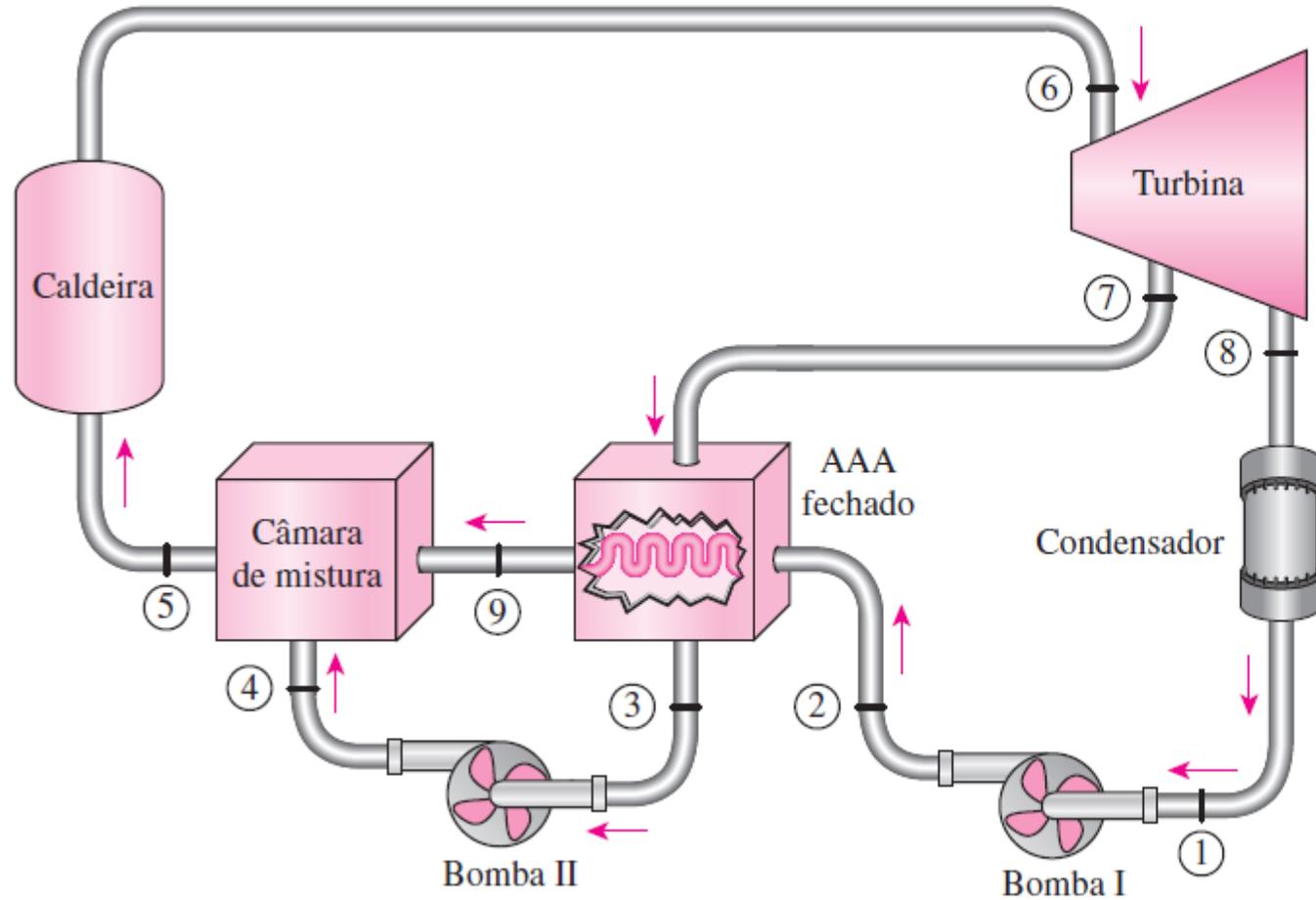
- Redução da **pressão no condensador**
 - Problema: alta umidade na saída da turbina (erosão das pás)
- Maior **superaquecimento** do vapor
 - Problema: limitações de temperatura dos componentes
- Aumento da **pressão na caldeira**
 - Problema: maior custo (para aumentar a resistência)
- **Reaquecimento** do vapor
 - “Problema”: maior custo (ciclo mais complexo)

Ciclo Rankine com reaquecimento



Fonte: Çengel

Ciclo Rankine com regeneração



Fonte: Çengel