



Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

REFRIGERAÇÃO

TM-182 REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO

Prof. Dr. Rudmar Serafim Matos



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

Os sistemas de refrigeração por compressão a vapor são os mais usados dentre todos os sistemas de refrigeração.

A refrigeração é obtida com o refrigerante evaporando a baixas temperaturas.

O sistema opera a trabalho sob a forma de energia mecânica necessária para movimentar o compressor (sistemas mecânicos de refrigeração).

Disponível para atender quase todas as aplicações de refrigeração com capacidades desde poucos watts até alguns megawatts.

2.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO DE CARNOT

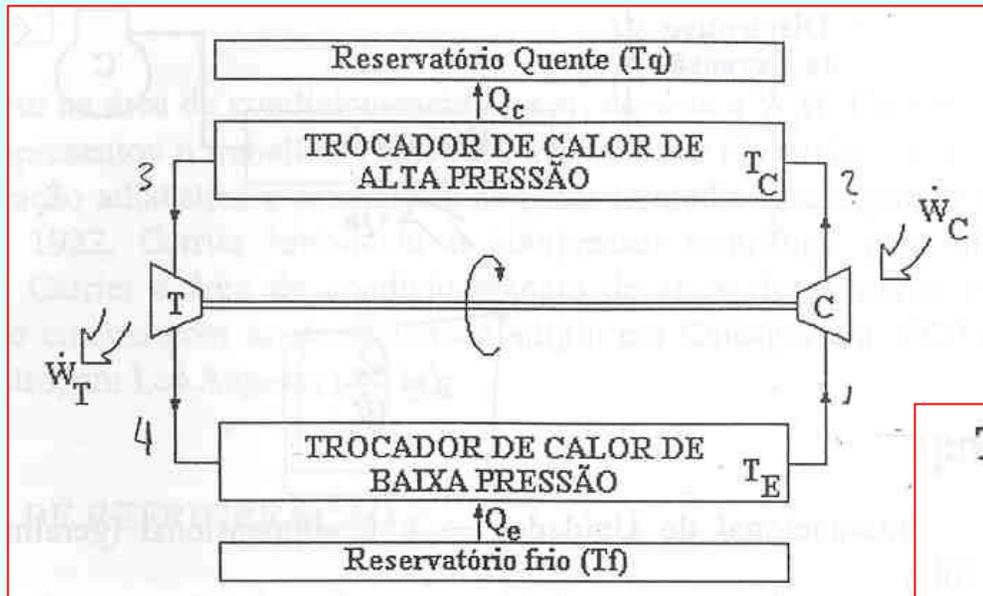
Em 1824 Sadi Carnot, publicou um tratado denominado:

“Reflections of the Motive Power of Heat”.

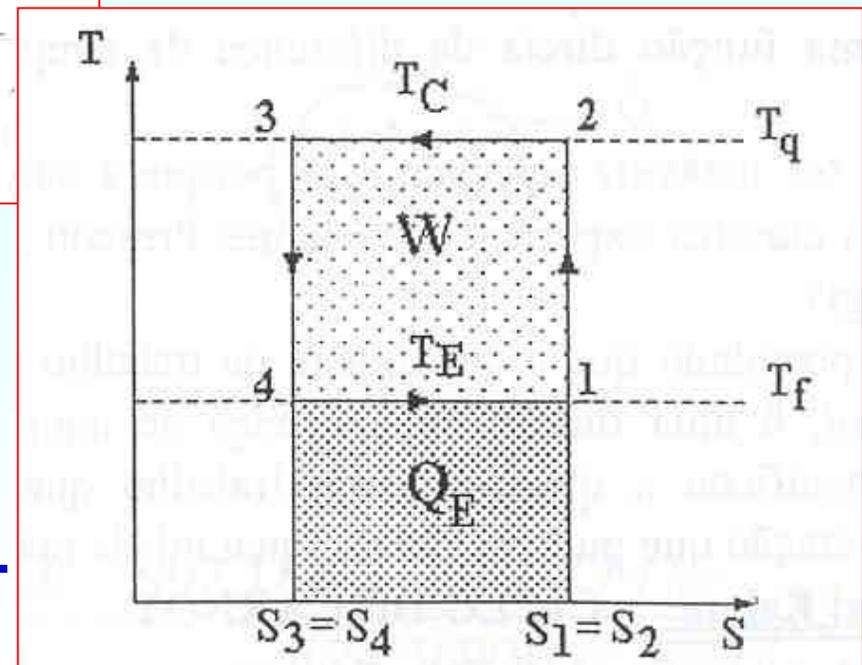
- todos os processos são ideais:**
- não existe atrito;**
- não existe troca de calor, somente as indicadas no ciclo;**
- modelo perfeito de refrigeração;**
- usado como referência para comparação com o ciclo real.**

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO DE CARNOT



- compressão adiabática, 1-2;
- liberação isotérmica de calor, 2-3;
- expansão adiabática, 3-4;
- admissão isotérmica de calor, 4-1.



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

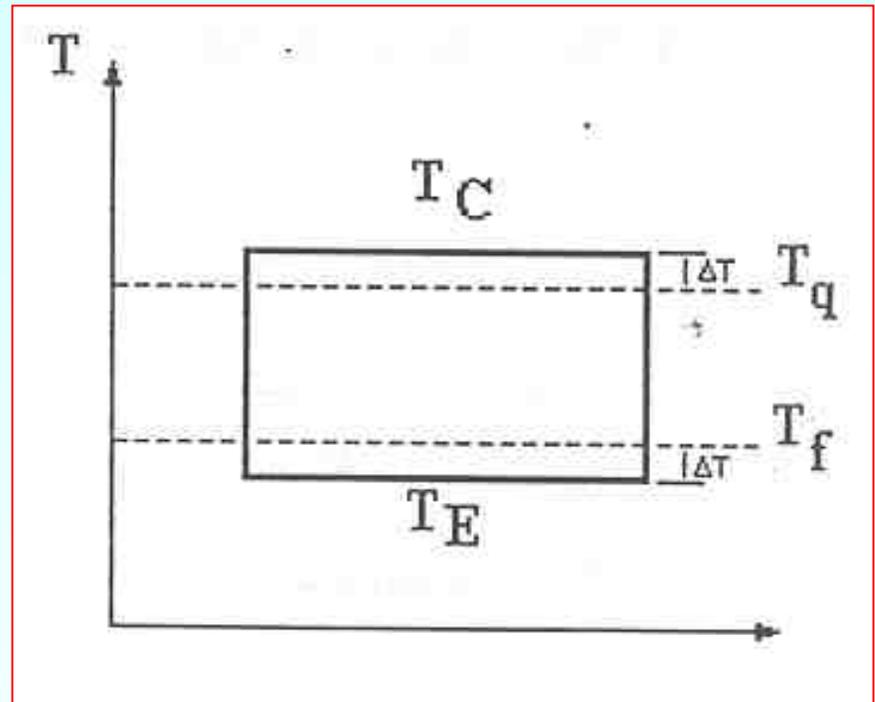
2.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO DE CARNOT

$$\Delta T_c = T_c - T_q$$

$$\Delta T_e = T_f - T_e$$

$$Q = A \uparrow U \uparrow \Delta T \downarrow$$

$$\text{COP} = T_e / (T_c - T_e)$$

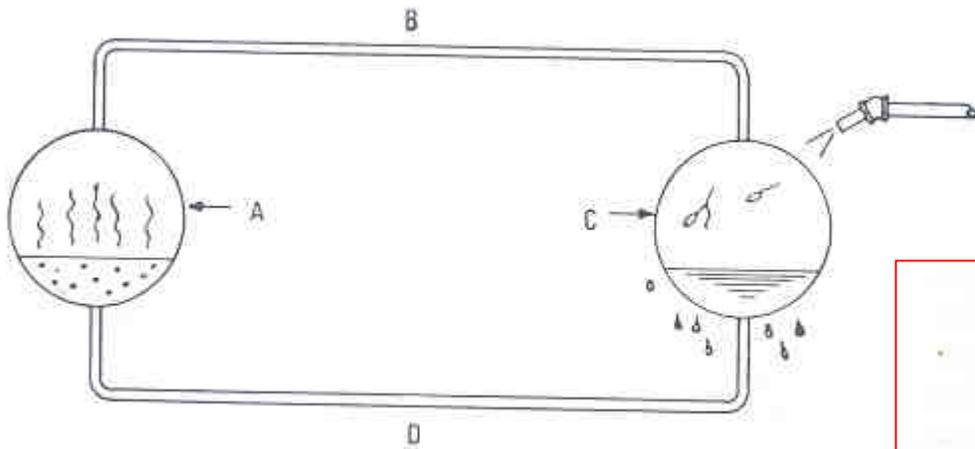


Dificuldades práticas:

- compressão úmida;
- extração de trabalho por expansão de líquido saturado na turbina, não é viável economicamente;

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.2 CICLO ELEMENTAR DE REFRIGERAÇÃO



O refrigerante R-22 a pressão atmosférica (101,325 kPa) absorve calor e evapora a **-40,8°C**

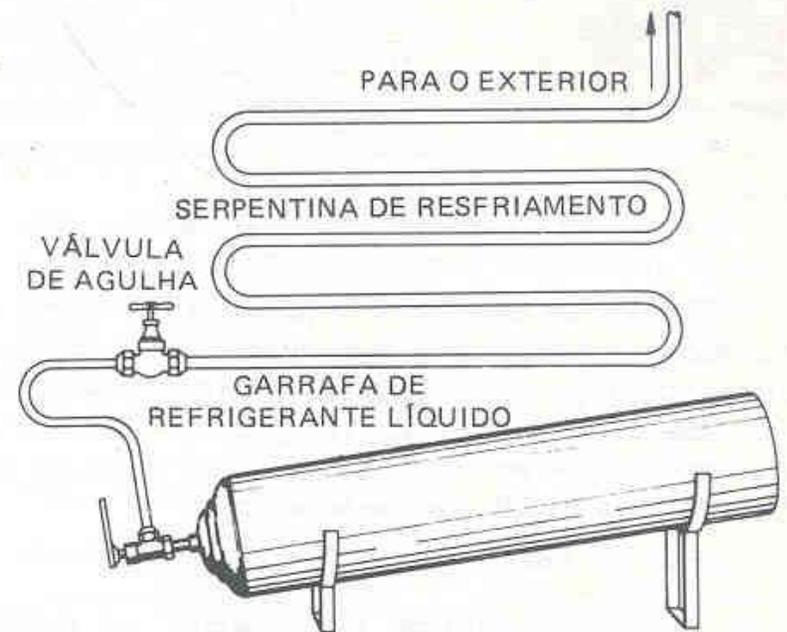
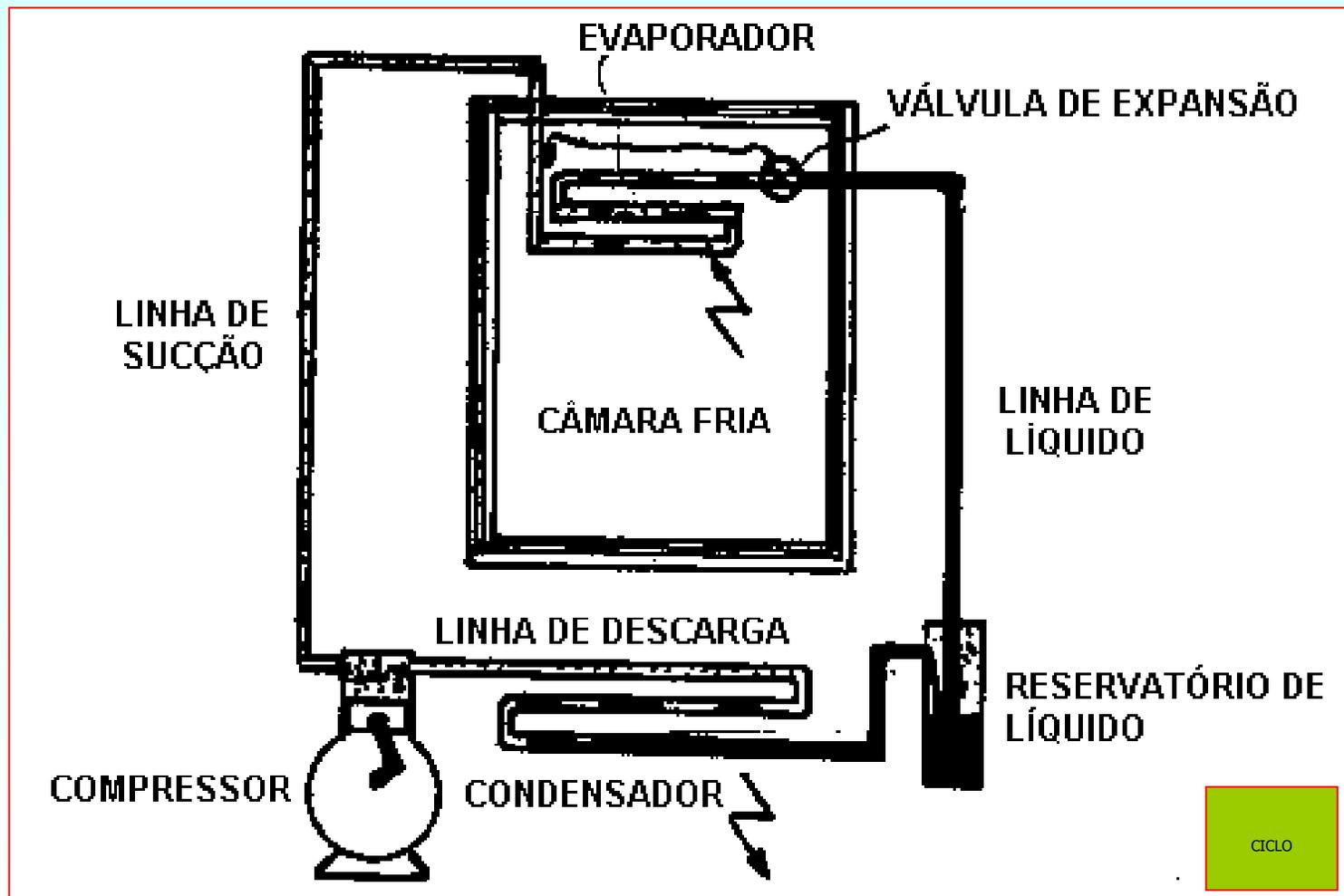


FIGURA 6-A
SISTEMA SIMPLES DE RESFRIAMENTO

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.3 CICLO SATURADO SIMPLES DE COMPRESSÃO A VAPOR

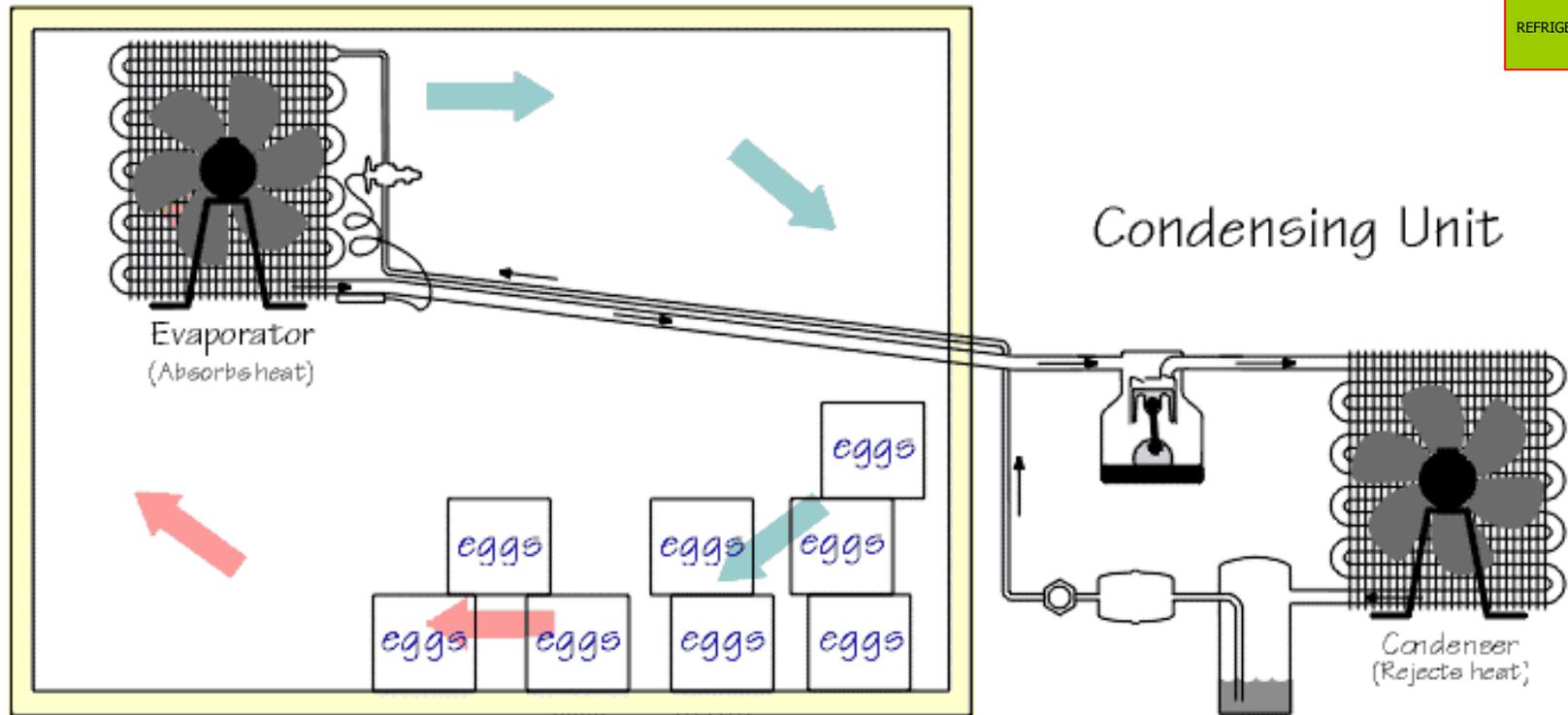
2.3.1 Componentes do ciclo de refrigeração



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.3 CICLO SATURADO SIMPLES DE COMPRESSÃO A VAPOR

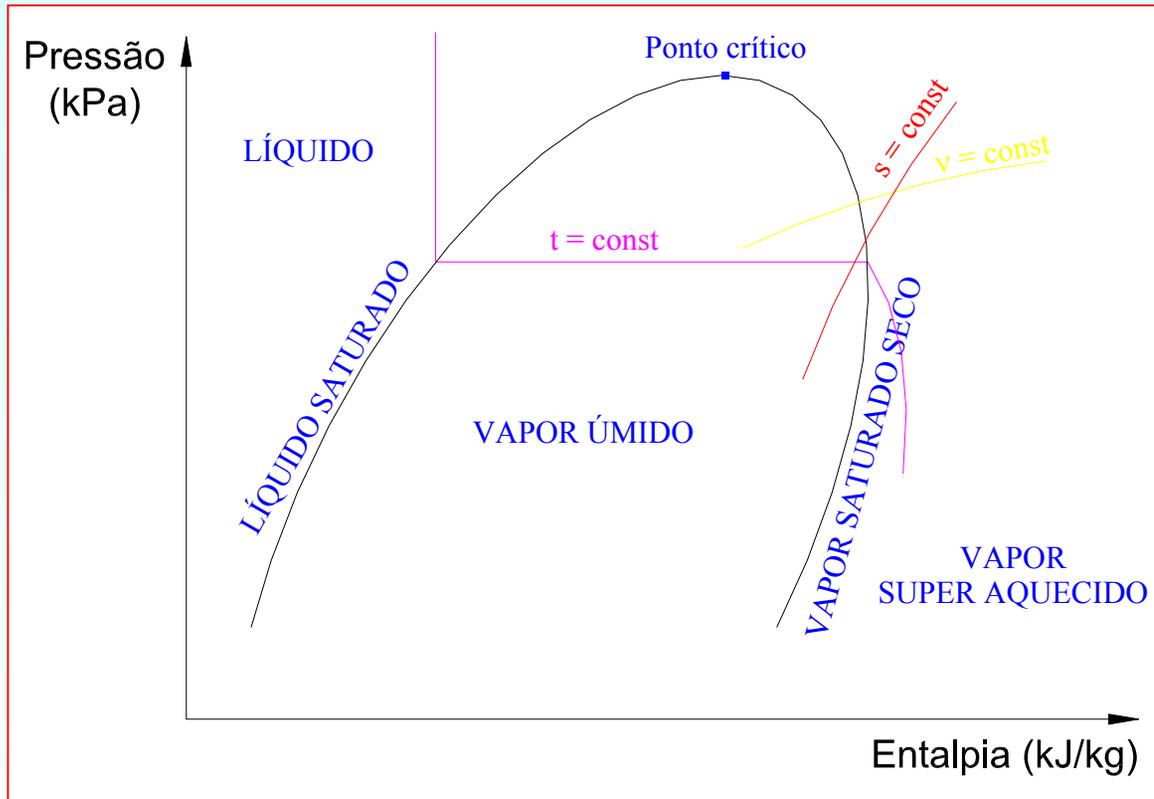
2.3.1 Componentes do ciclo de refrigeração



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.3 CICLO SATURADO SIMPLES DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.3.2 Diagrama Pressão-Entalpia, P-h



Sistema Internacional:

$$h_1 = 200 \text{ kJ/kg e}$$

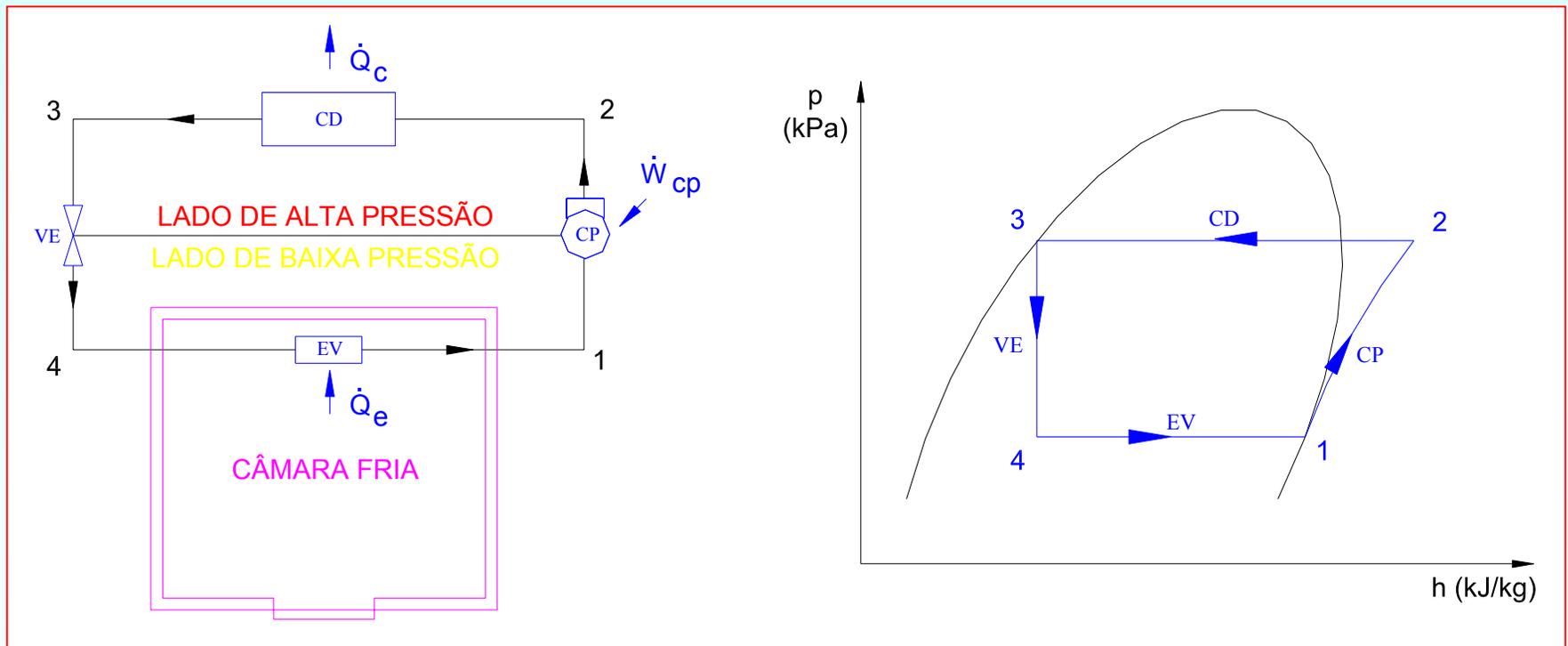
$$s_1 = 1,0 \text{ kJ/kg K, } T = 0^\circ\text{C.}$$

2.3.3 Dados termodinâmicos: Tabelas e Cartas

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.3 CICLO SATURADO SIMPLES DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.3.4 Processos do ciclo de refrigeração



- COMPRESSÃO (1-2)
- CONDENSAÇÃO (2-3)

- EXPANSÃO (3-4)
- EVAPORAÇÃO (4-1)

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.3 CICLO SATURADO SIMPLES DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.3.5 Cálculos no Ciclo Saturado Simples:

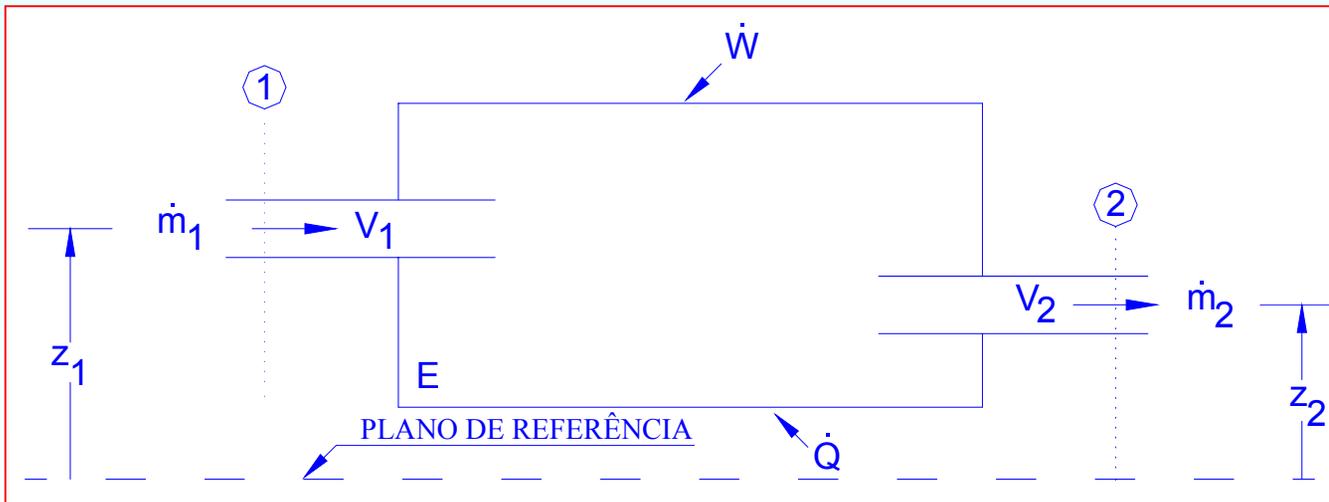
- 1a. Lei da Termodinâmica:

- para todo o ciclo:

$$\dot{Q}_e + \dot{W}_{cp} = \dot{Q}_c + \dot{Q}_{cp} \pm \dot{Q}_{tub}$$

- para cada componente:

$$\dot{Q} + \dot{W} = \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) - \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right)$$



- ΔE_c e ΔE_p
(desprezadas)

$$\dot{Q}_{tub} = 0$$

$$\dot{Q}_{cp} = 0$$

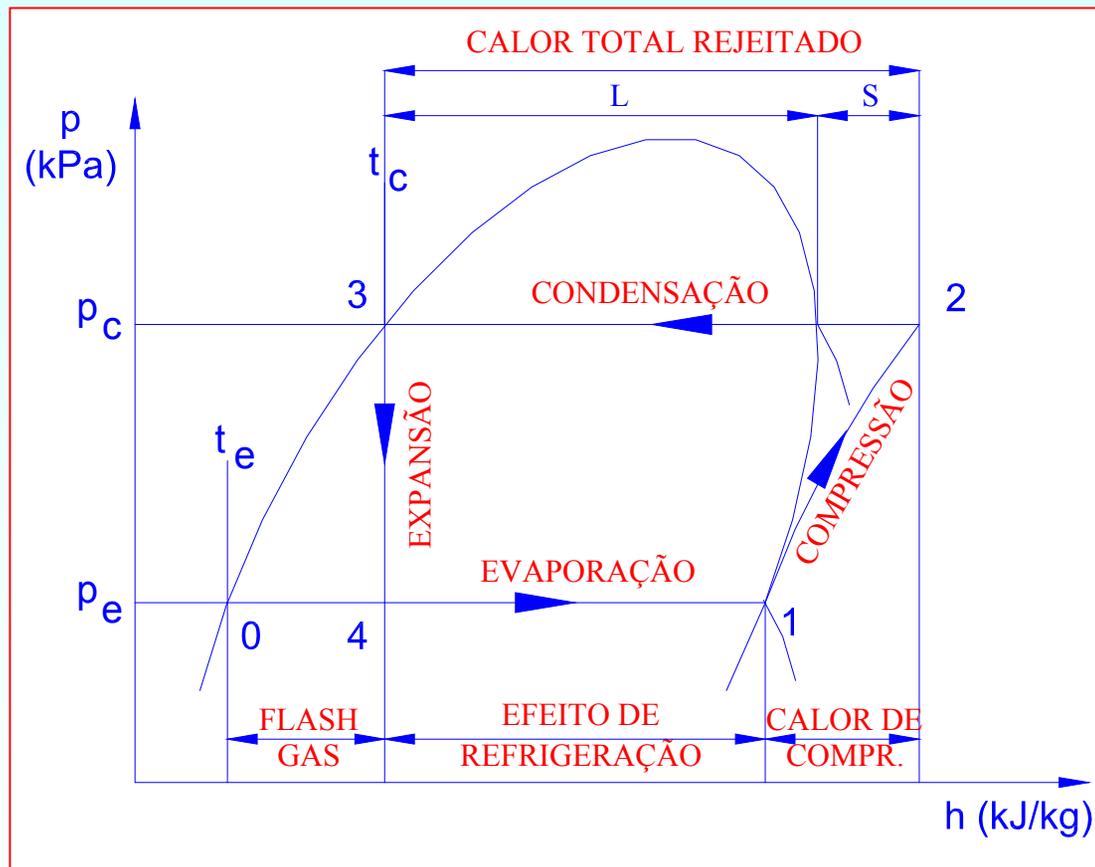
2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.3 CICLO SATURADO SIMPLES DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.3.5 Cálculos no Ciclo Saturado Simples:

$$ER = (h_1 - h_4)$$

$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_1 - h_4) = \dot{m}(h_1 - h_3)$$



$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_e}{(h_1 - h_4)}$$

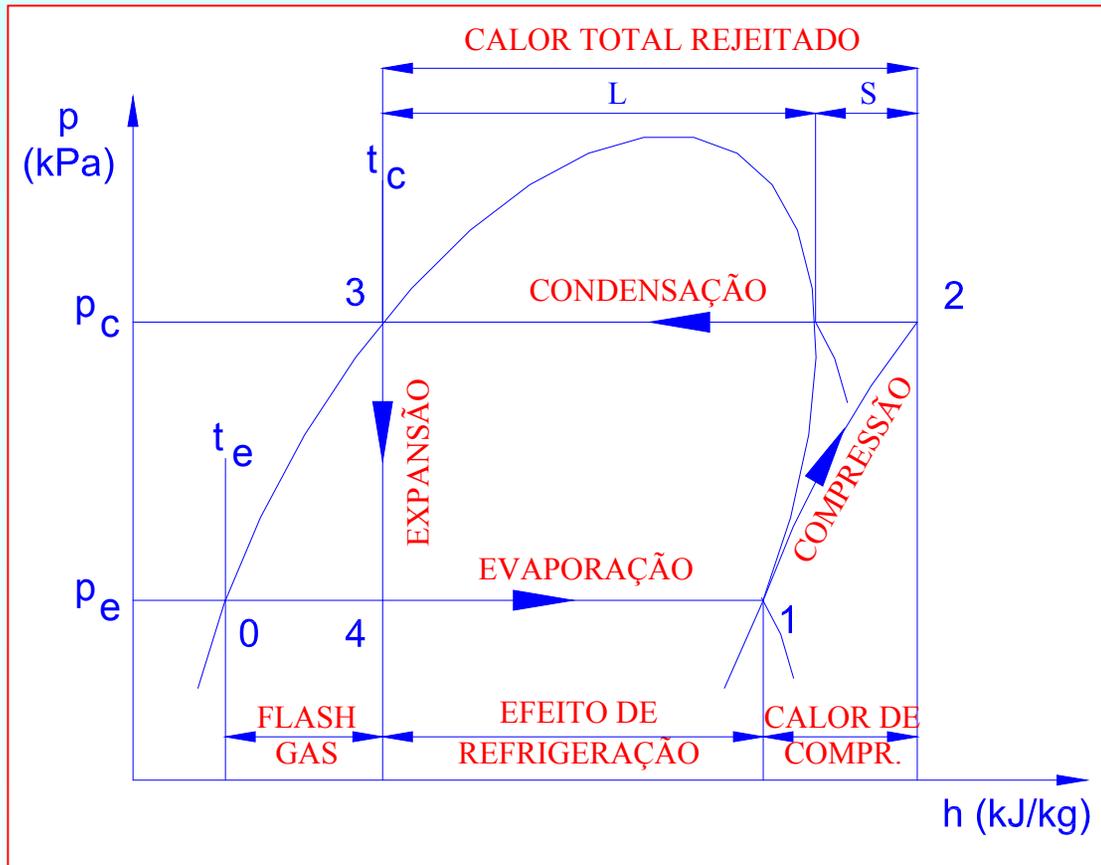
$$\dot{V} = \dot{m} v_1$$

$$ER_{\text{perda}} = (h_4 - h_0)$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.3 CICLO SATURADO SIMPLES DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.3.5 Cálculos no Ciclo Saturado Simples:



$$\dot{W}_{cp} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{W}_{cp,real} = \frac{\dot{W}_{cp}}{\eta_{isen}}$$

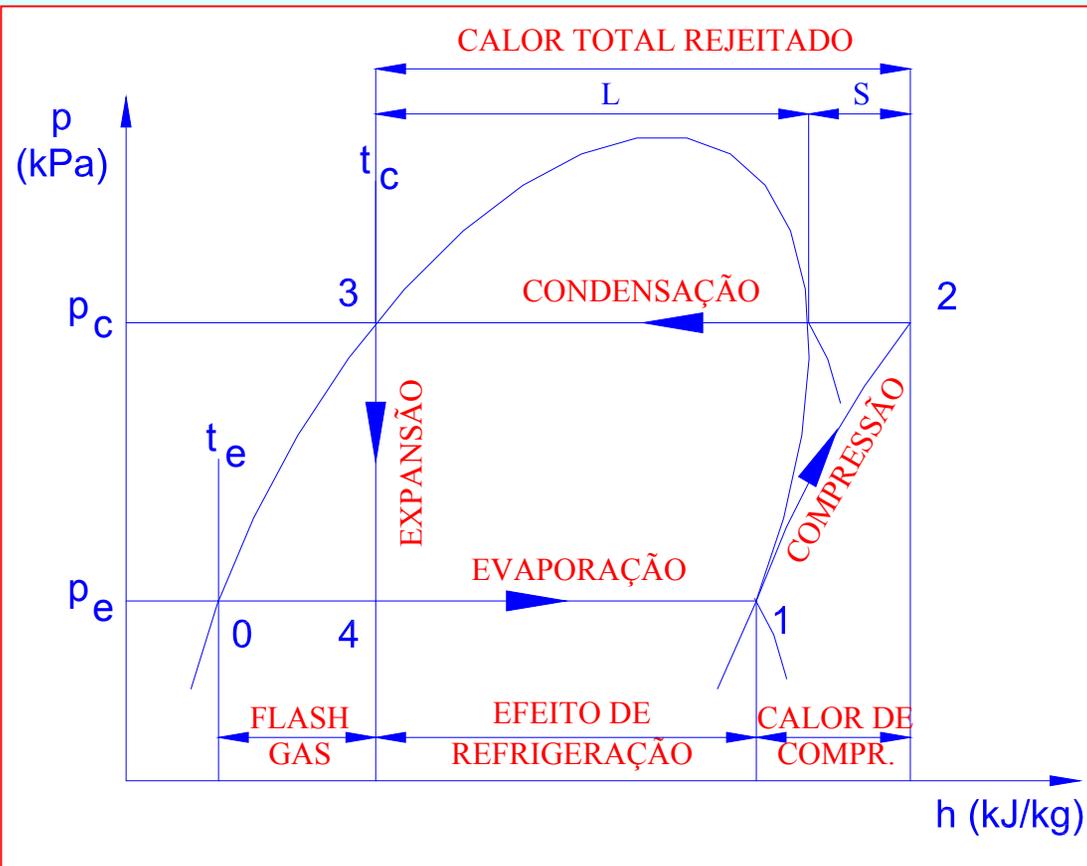
$$\dot{Q}_c = \dot{m}(h_2 - h_3)$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{cp}} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2' - h_1)}$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.3 CICLO SATURADO SIMPLES DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.3.5 Cálculos no Ciclo Saturado Simples:



$$\text{COP}_{\text{BC}} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{\text{cp}}} = \frac{(h_{2'} - h_3)}{(h_{2'} - h_1)}$$

CICLO REVERSO

$$t_e = t_i - \Delta T$$

$$t_e = f(t_i)$$

$$t_c = t_{\text{bs ar externo}} + 10 \text{ C} \quad (\text{ar})$$

$$t_c = t_{\text{água}} + 5 \text{ C} \quad (\text{água})$$

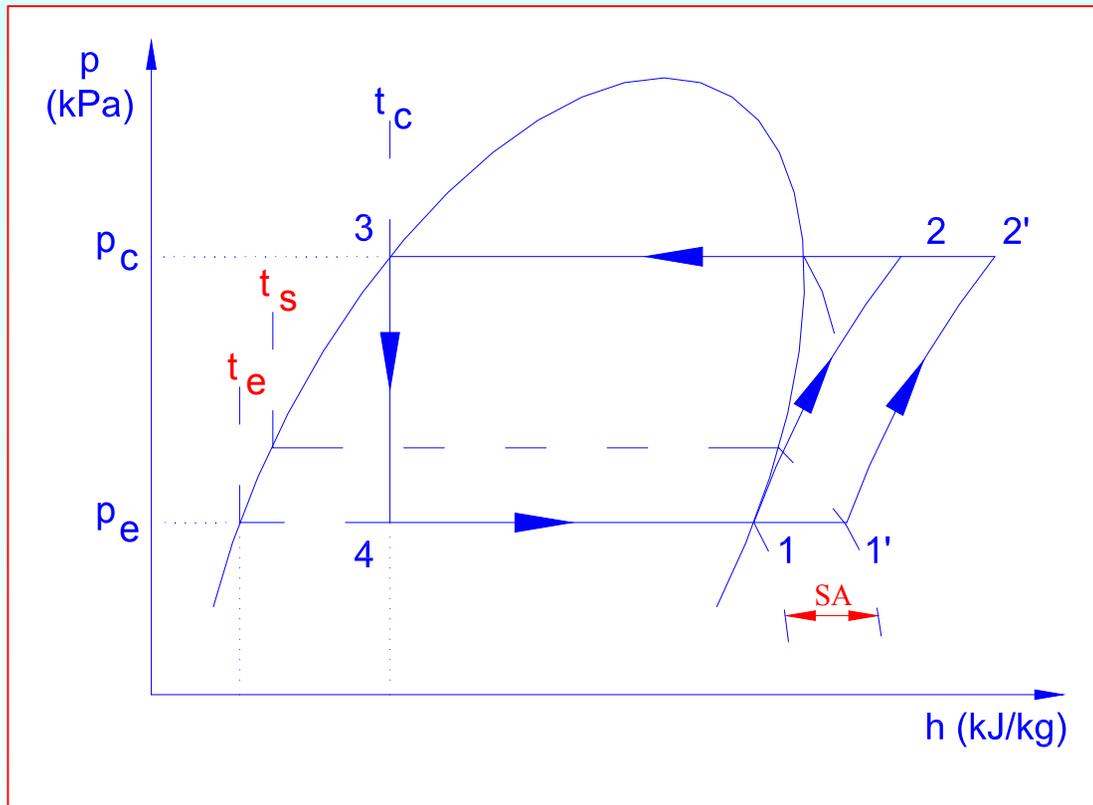
$$p_e = f(t_e)$$

$$p_c = f(t_c)$$

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.4 CICLO REAL DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.4.1 Superaquecimento do Vapor de Sucção:



O Que é?

$$SA = t_s - t_e$$

Onde ocorre?

C/ RU (

- No final do evaporador
- Na LS dentro da câmara

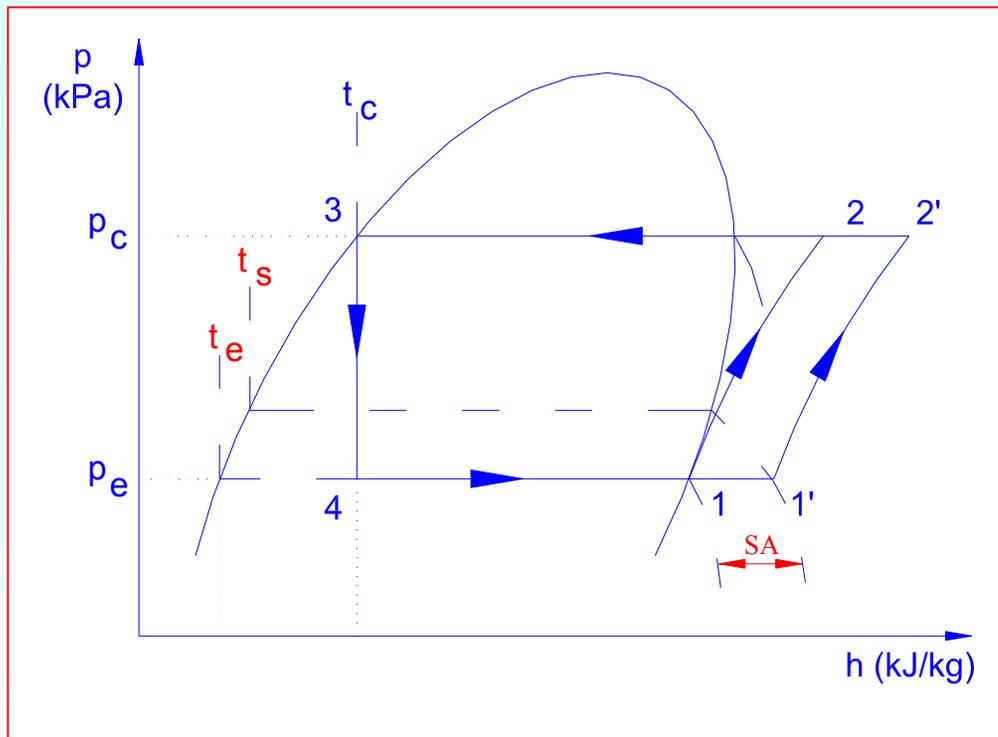
S/ RU (

- Na LS fora da câmara
- Em um TC fora da câmara

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.4 CICLO REAL DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.4.1 Superaquecimento do Vapor de Sucção:



Qual a importância do SA?

- Evita chegar refrigerante no estado líquido no compressor.
- Porém o SA não deve ser elevado pois o vapor tem a função de resfriar o compressor.

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.4 CICLO REAL DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.4.2 Subresfriamento do Líquido Refrigerante:

O Que é?

$$SR = t_l - t_c$$

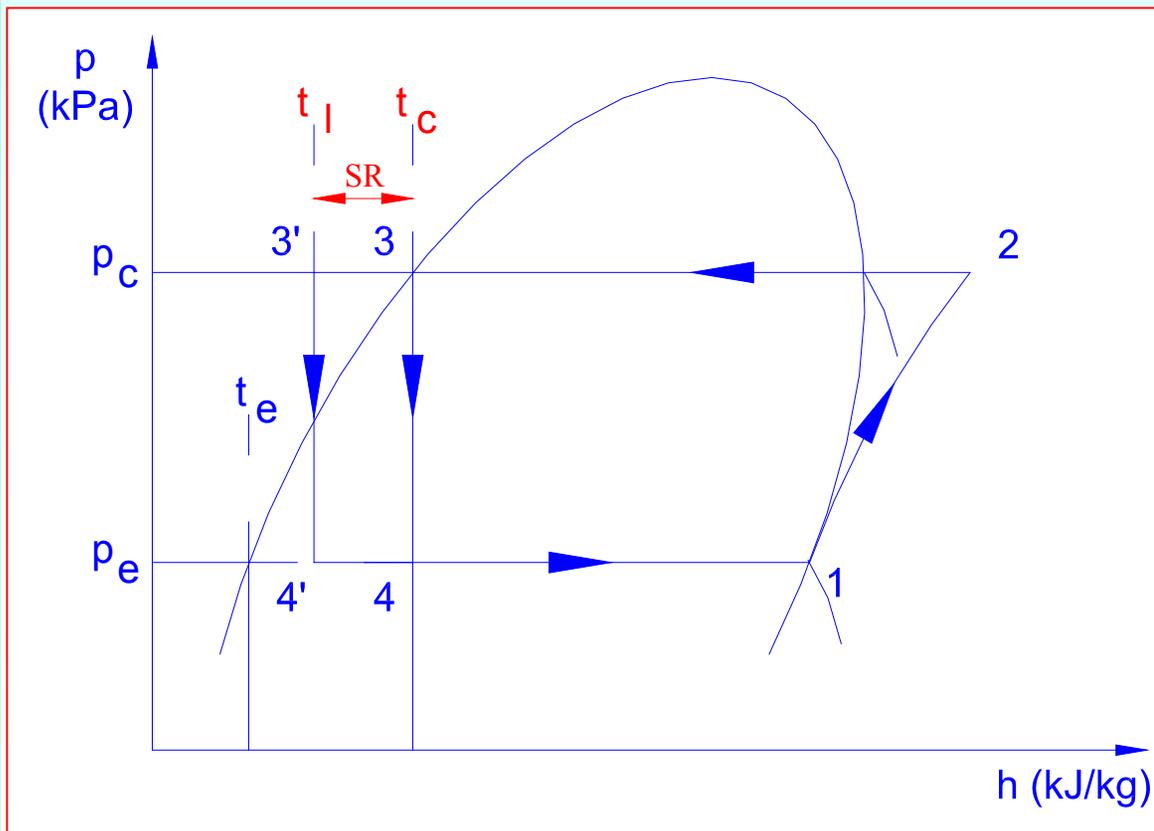
Onde ocorre?

No final do condensador

Na Linha de líquido

No Tanque de líquido

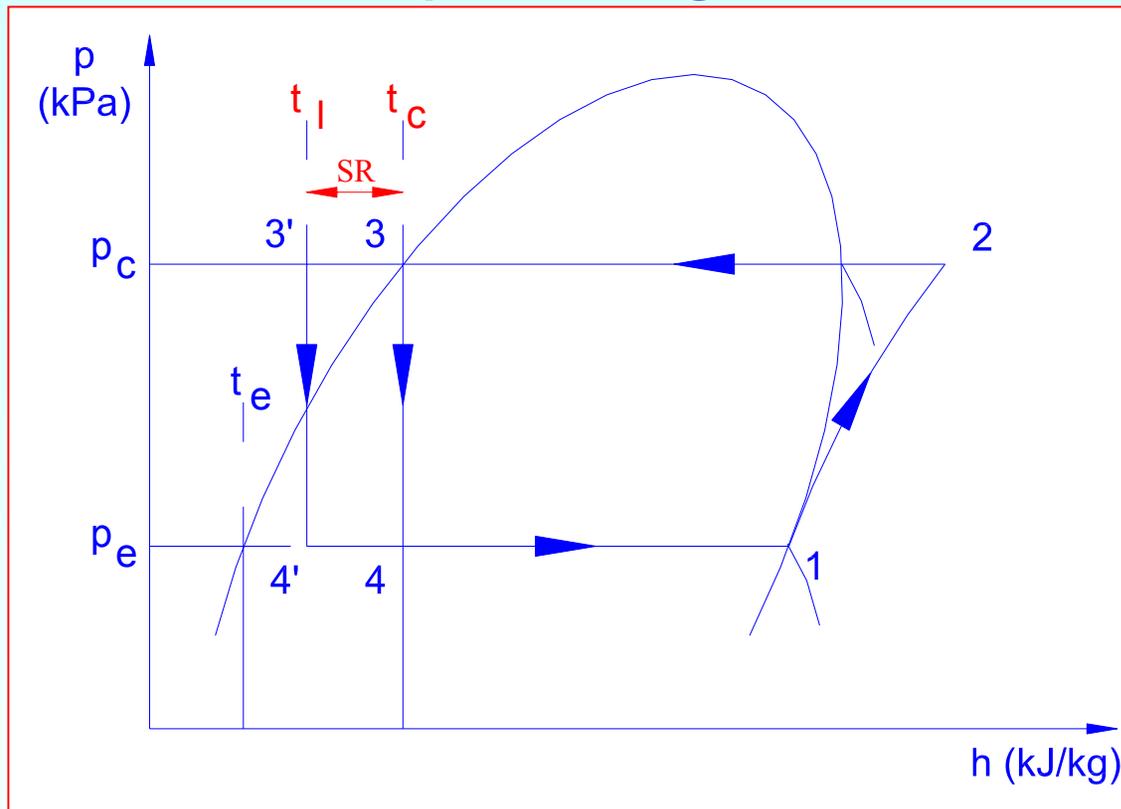
Em um TC



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.4 CICLO REAL DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.4.2 Subresfriamento do Líquido Refrigerante:



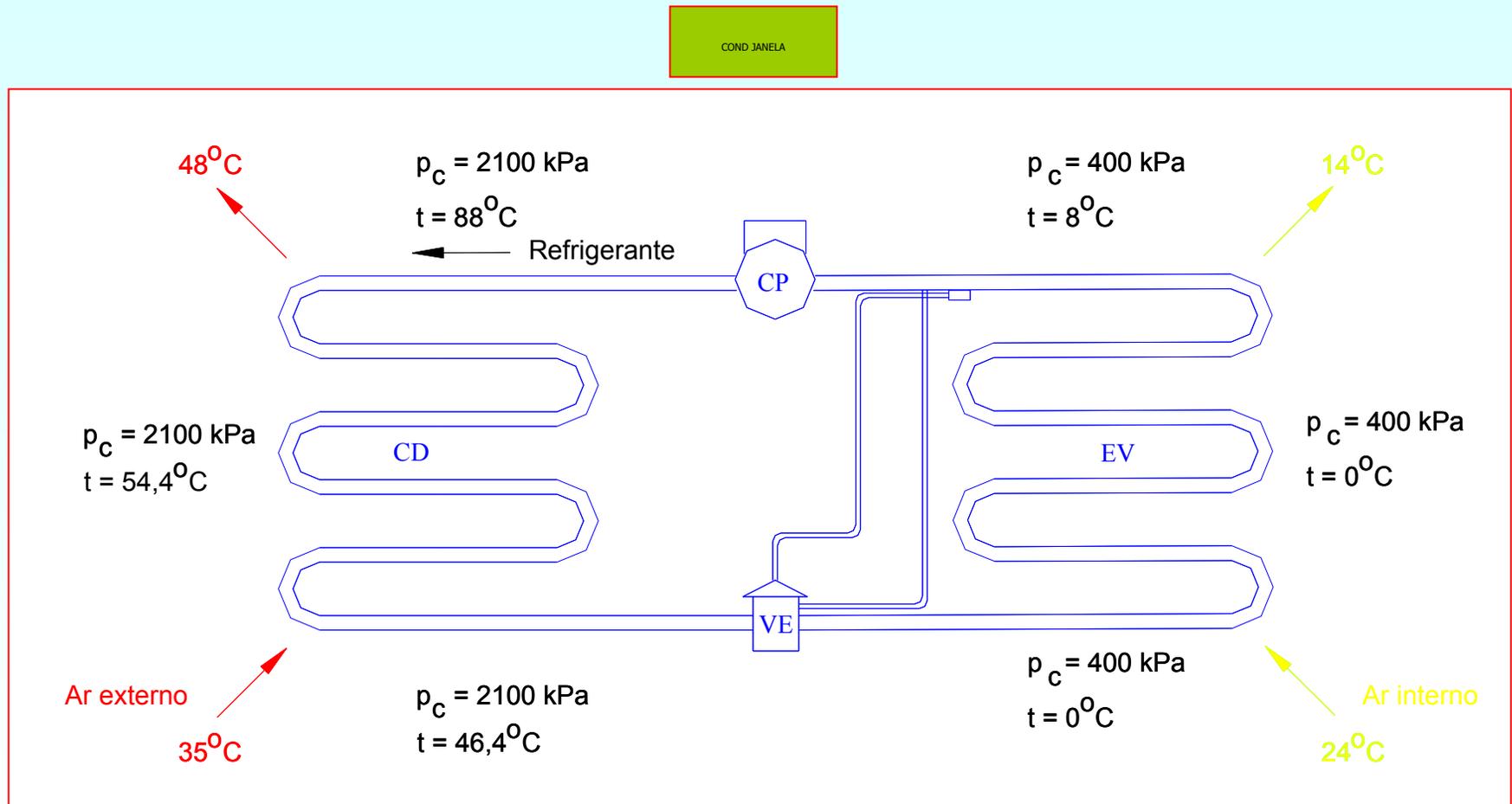
Qual a importância do SR?

- Garante refrigerante no estado líquido chegando à VE.
- Aumenta o ER.

2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.4 CICLO REAL DE COMPRESSÃO A VAPOR

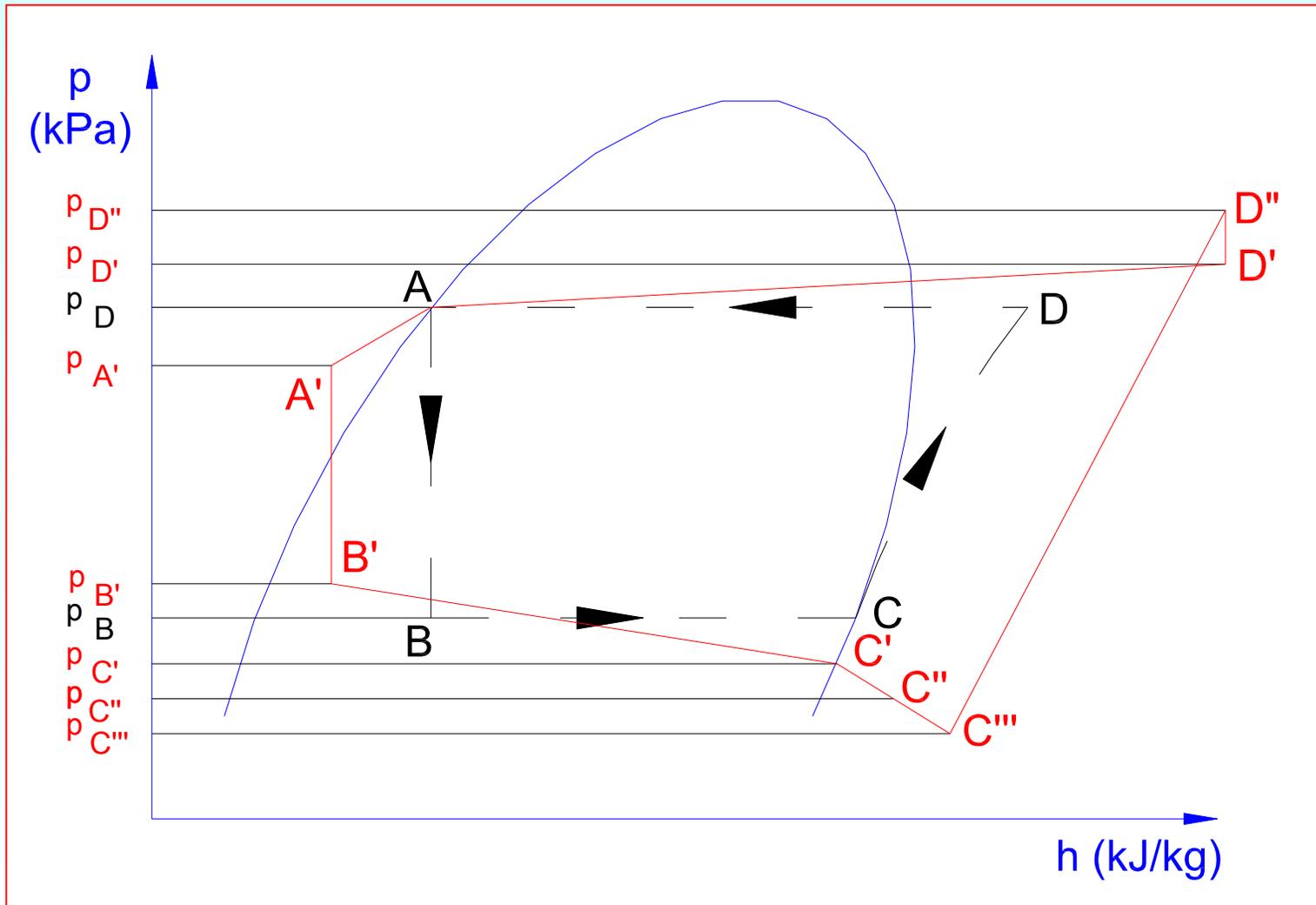
CICLO REAL DE UM EQUIPAMENTO DE AR CONDICIONADO



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

2.4 CICLO REAL DE COMPRESSÃO A VAPOR

2.4.4 Perdas de Pressão



2. SISTEMAS DE COMPRESSÃO A VAPOR DE ÚNICO ESTÁGIO

PARA UM MELHOR APROVEITAMENTO DA AULA_2_EXEMPLOS É IMPORTANTE QUE O ALUNO TENHA EM MÃOS AS SEGUINTE TABELAS:

PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO R22 SATURADO

PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO R22 SUPERAQUECIDO