



## 2. Ciclos Frigoríficos

Profa. Dra. Alessandra Lopes de Oliveira



### 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Usado para quando a potência requerida é elevada
- Câmaras de estocagem de produtos congelados (Temperatura de evaporação do refrigerante é muito baixa)

## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Refrigerantes mais usados em Ciclos de Duplo Estágio
  - R-22: HCFC (Hidrobiclorofluorometano);
  - R-502: Uma mistura azeotrópica;
  - R-717: Amônia.

## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Estudo dirigido para a Amônia
  - Para produzir 1TR
    - a  $-10^{\circ}\text{C}$  necessita-se  $4\text{ m}^3$  de R-717;
    - a  $-40^{\circ}\text{C}$  necessita-se  $17\text{ m}^3$  de R-717;
  - Comparando um sistema de simples e duplo estágio para o R-717, quando se diminui a temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$  para  $-32^{\circ}\text{C}$  a potência necessária é:
    - 85%  $\Rightarrow$  simples estágio;
    - 19%  $\Rightarrow$  duplo estágio.

## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Estudo dirigido para a Amônia

Tabela 1 – Comparação entre o consumo de energia para um sistema de simples e duplo estágio.

Condições de Operação				BHP/TR	Simples Estágio %	Duplo Estágio %
Evaporação		Condensação				
Pressão kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura °C	Pressão kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura °C			
2,4	-15	13,8	35	1,52	-	11,8
1,9	-20	13,8	35	1,96	29	13,8
1,1	-32	13,8	35	2,81	85	19,0
0,7	-40	13,8	35	3,76	147	25,0

%, SE – aumento na potência para simples estágio.

%, DE – redução na potência para duplo estágio quando comparado com um estágio.

## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Estudo dirigido para a Amônia

- Para uma  $T_{\text{evap.}} = -40\text{ °C} \Rightarrow p_{\text{evap}} = 0,73\text{ kgf/cm}^2$  ou  $71,66\text{ kPa}$ . Nesta condição a  $p_{\text{cond}} = 13,77\text{ kgf/cm}^2$  ou  $1.351\text{ kPa}$  para  $T = 35\text{ °C}$

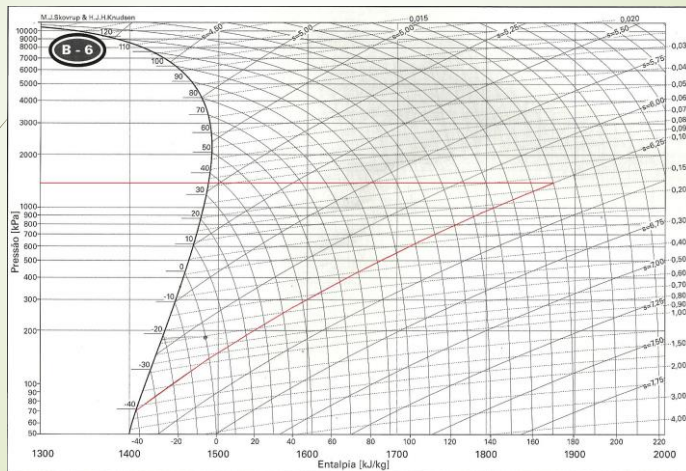
- Na compressão  $\Rightarrow 71,66\text{ kPa}$  à  $1.351\text{ kPa}$

- Para um sistema de simples estágio a  $T$  na saída do compressor seria de  $180\text{ °C} \Rightarrow$  impossível operar o compressor a uma  $T$  tão elevada (lubrificação e acessórios)

## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

Tabela A.9a — Propriedades termodinâmicas do refrigerante R-717 (amônia saturado)								
T	p	v <sub>f</sub>	v <sub>g</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>g</sub>	s <sub>f</sub>	s <sub>g</sub>	h <sub>fg</sub>
[°C]	[MPa]	[m <sup>3</sup> /kg]	[m <sup>3</sup> /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg]
-40	21,66	1,449	1554	19,17	1388,6	1,0078	0,2967	6,2428
-39	76,59	1,452	1478	23,59	1389,8	1,0094	0,3056	6,2262
-38	270,8	1,454	1407	28,01	1390,0	1,0110	0,3145	6,2096
-37	63,98	1,457	1340	32,44	1390,1	1,0126	0,3232	6,1930
-36	88,42	1,459	1277	36,88	1372,2	1,0141	0,3319	6,1866
-35	93,07	1,462	1217	41,32	1374,4	1,0157	0,3396	6,1818
-34	92,62	1,466	1161	45,77	1371,8	1,0172	0,3462	6,1381
-33	103	1,467	1107	50,22	1368,6	1,0188	0,3517	6,1166
-32	108,2	1,47	1057	54,67	1365,6	1,0203	0,3562	6,0963
-31	113,7	1,473	1009	59,14	1362,7	1,0218	0,3607	6,0822
-30	119,4	1,476	964,2	63,60	1359,9	1,0233	0,3652	6,0652
-29	125,3	1,478	921,4	68,07	1357,2	1,0248	0,3694	6,0464
-28	131,5	1,481	881	72,55	1353,7	1,0263	0,3736	6,0318
-27	137,9	1,484	842,6	77,03	1350,7	1,0278	0,3776	6,0153
-26	144,6	1,486	806,2	81,52	1347,7	1,0293	0,3816	6,0000
-25	151,5	1,489	771,7	86,01	1344,7	1,0307	0,3854	5,9828
-24	158,6	1,492	739	90,51	1341,6	1,0321	0,3891	5,9668
-23	166,1	1,495	707,9	95,01	1338,5	1,0335	0,3928	5,9509
-22	173,8	1,498	678,4	99,52	1335,4	1,0349	0,3965	5,9352
-21	181,8	1,501	650,4	104,03	1332,3	1,0363	0,3999	5,9196
-20	190,1	1,503	623,7	108,55	1329,1	1,0377	0,4032	5,9041
-19	198,7	1,506	598,4	113,07	1326,0	1,0391	0,4064	5,8888
-18	207,6	1,509	574,2	117,60	1322,8	1,0404	0,4095	5,8736
-17	216,8	1,512	551,3	122,13	1319,6	1,0417	0,4126	5,8586
-16	226,3	1,515	529,4	126,67	1316,4	1,0431	0,4156	5,8437
-15	236,2	1,518	508,6	131,22	1313,2	1,0444	0,4185	5,8289
-14	246,4	1,521	488,8	135,78	1310,0	1,0457	0,4214	5,8142
-13	257	1,524	469,8	140,35	1306,8	1,0471	0,4242	5,7997
-12	267,9	1,527	451,8	144,93	1303,6	1,0484	0,4269	5,7852
-11	279,1	1,53	434,6	149,54	1300,4	1,0498	0,4295	5,7709
-10	290,6	1,534	418,2	154,17	1297,2	1,0512	0,4321	5,7568
-9	302,8	1,537	402,5	158,82	1293,9	1,0525	0,4347	5,7427
-8	315,2	1,54	387,5	163,49	1290,6	1,0539	0,4372	5,7287
-7	328	1,543	373,2	167,76	1287,6	1,0553	0,4396	5,7149
-6	341,2	1,546	359,6	172,34	1283,2	1,0566	0,4419	5,7011
-5	354,9	1,55	346,5	176,94	1279,7	1,0579	0,4442	5,6875
-4	369,9	1,553	334	181,54	1276,5	1,0592	0,4464	5,6740
-3	385,4	1,556	322,1	186,15	1272,8	1,0605	0,4485	5,6605
-2	396,9	1,559	310,9	190,78	1268,9	1,0618	0,4506	5,6472
-1	413,7	1,563	299,7	195,38	1265,6	1,0631	0,4527	5,6340

## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio



## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Sistema de duplo estágio
- Há um resfriador intermediário (RI) entre dois compressores que diminui a T

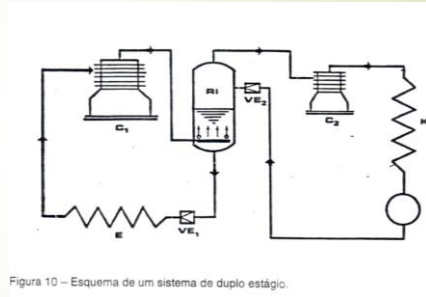


Figura 10 – Esquema de um sistema de duplo estágio.

## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

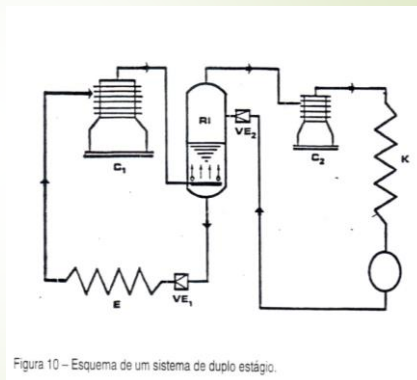
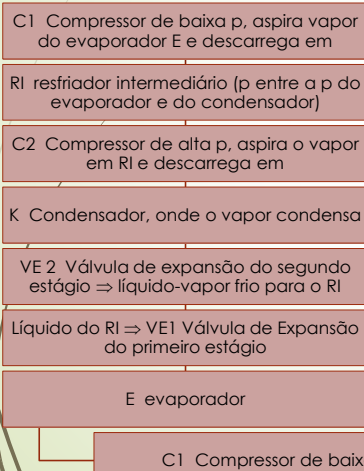


Figura 10 – Esquema de um sistema de duplo estágio.

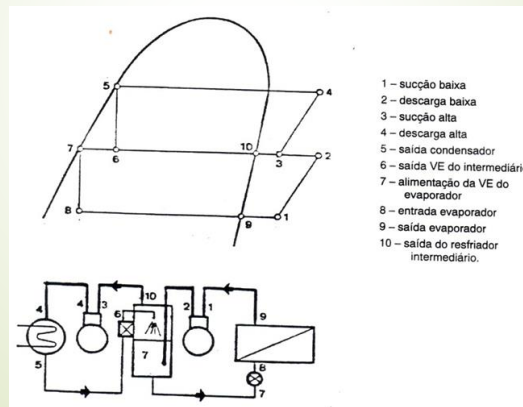
## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Sistema de duplo estágio
- Pressão intermediária (pressão no RI)

$$p_i = \sqrt{p_{\text{cond}} \times p_{\text{evap}}}$$

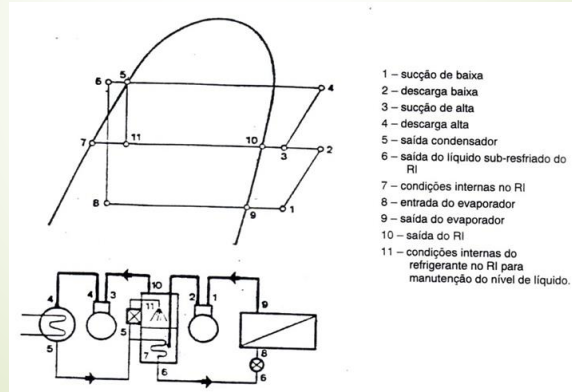
## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Diagrama de p×h e esquema de um sistema de duplo estágio com **RI tipo aberto**



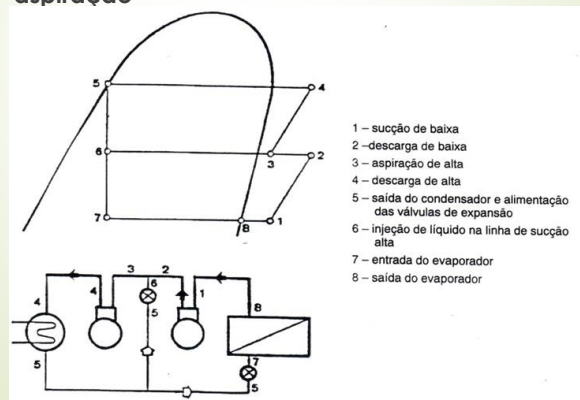
## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Diagrama de  $p \times h$  e esquema de um sistema de duplo estágio **com RI tipo fechado**



## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

- Diagrama de  $p \times h$  e esquema de um sistema de duplo estágio com **injeção de líquido na linha de aspiração**





## 2.4. Ciclos Frigoríficos de Duplo Estágio

### Exercício

- Uma instalação frigorífica de amônia produz 210kW de refrigeração operando entre as temperaturas de evaporação e condensação de  $-24$  e  $30$  °C respectivamente. Quais devem ser as potências de compressão para as seguintes condições:
  - A) O sistema opera segundo um ciclo padrão de simples estágio;
  - B) O sistema opera segundo um ciclo com resfriamento intermediário com injeção de líquido na linha de aspiração.