Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

REFRIGERAÇÃO

TM-182 REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO

Prof. Dr. Rudmar Serafim Matos

4. SISTEMAS DE ABSORÇÃO

4.3 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

EXEMPLO 4.3.1: Uma grande máquina de brometo de lítio (fig.35) opera de acordo com as seguintes condições:

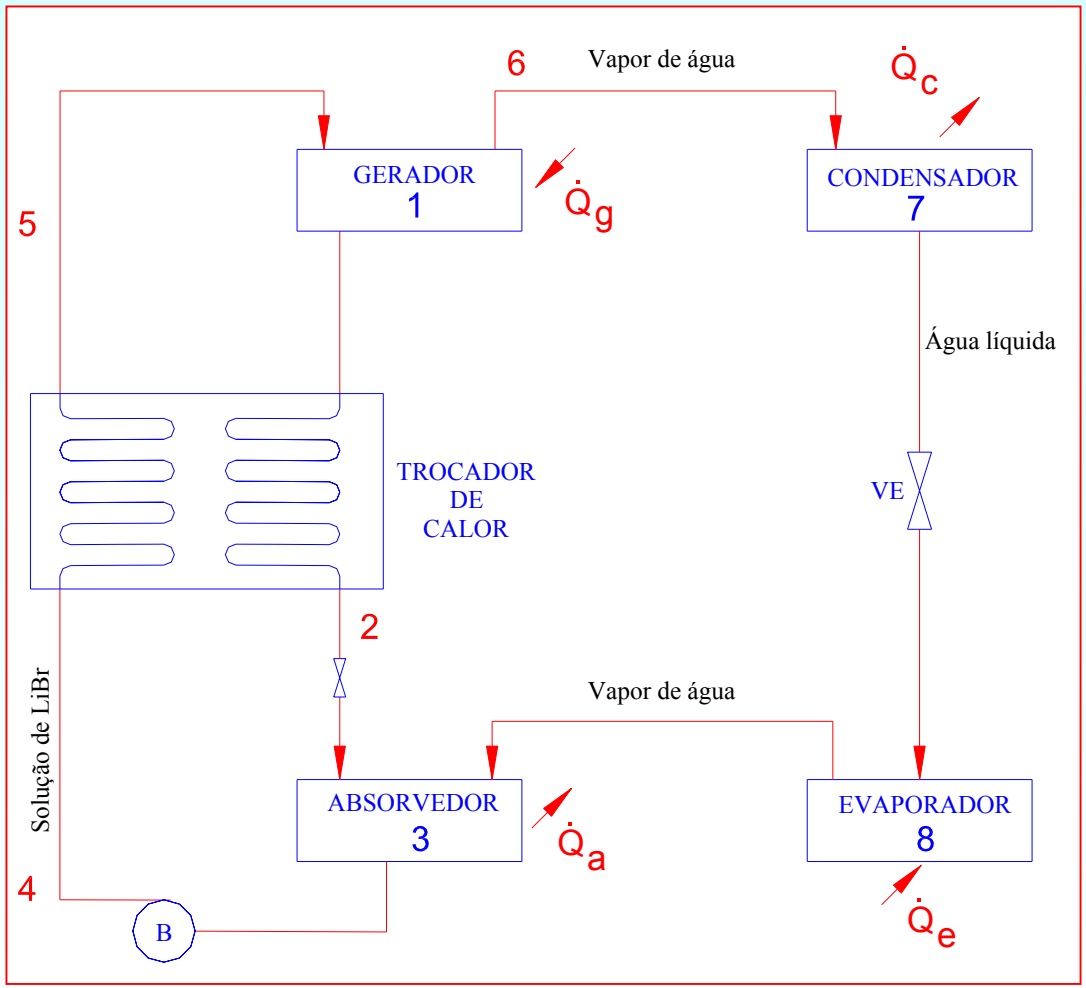
- carga de refrigeração, 1000 kW
- temperatura no evaporador (8), 5°C
- temperatura de equilíbrio no absorvedor (3), 42°C
- temperatura no condensador (7), 45°C
- temperatura do vapor refrigerante (6), 96°C
- temperatura da solução (1), 104°C
- temperatura da solução (5), 82,4^{o}C

Calcular o COP do sistema.

4. SISTEMAS DE ABSORÇÃO

EXEMPLO 4.3.1

ESBOÇO DO SISTEMA



4. SISTEMAS DE ABSORÇÃO

EXEMPLO 4.3.1

a) Pressões e entalpias da água no sistema :

- **Da Tabela de saturação da Água:**

Table 3 Thermodynamic Properties of Water at Saturation (*Continued*)

Temp., °C t	Absolute Pressure, kPa p	Specific Volume, m³/kg (water) Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Specific Enthalpy, kJ/kg (water) Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Specific Entropy, kJ/(kg·K) (water) Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0	0.6112	0.001000	206.141	206.143	−0.04	2500.81	2500.77	−0.0002	9.1555	9.1553
1	0.6571	0.001000	192.455	192.456	4.18	2498.43	2502.61	0.0153	9.1134	9.1286
2	0.7060	0.001000	179.769	179.770	8.39	2496.05	2504.45	0.0306	9.0716	9.1022
3	0.7580	0.001000	168.026	168.027	12.60	2493.68	2506.28	0.0459	9.0302	9.0761
4	0.8135	0.001000	157.137	157.138	16.81	2491.31	2508.12	0.0611	8.9890	9.0501
5	0.8725	0.001000	147.032	147.033	21.02	2488.94	2509.96	0.0763	8.9482	9.0244

- ✓ **pressão de baixa (no evap. e absorvedor) p/ 5°C → 0,8725 kPa**
- ✓ **$h_8 = h_v$ (5°C) = 2509,95 kJ/kg**
- ✓ **pressão de alta (no cond. e gerador) p/ 45°C → 9,6 kPa**
  - ↳ **< p_{atm}**
- ✓ **$h_7 = h_l$ (45°C) = 188,42 kJ/kg**
- ✓ **$h_6 = h_v$ (96°C) = 2669,09 kJ/kg**

4. SISTEMAS DE ABSORÇÃO

EXEMPLO 4.3.1

b) Concentração da solução:

- **Do Diagrama de equilíbrio Br-Li + Água:**

✓ **conhecendo-se no gerador:**

✓ $t_1 = 104^oC$ ✓ $p_a = 9,6$ kPa

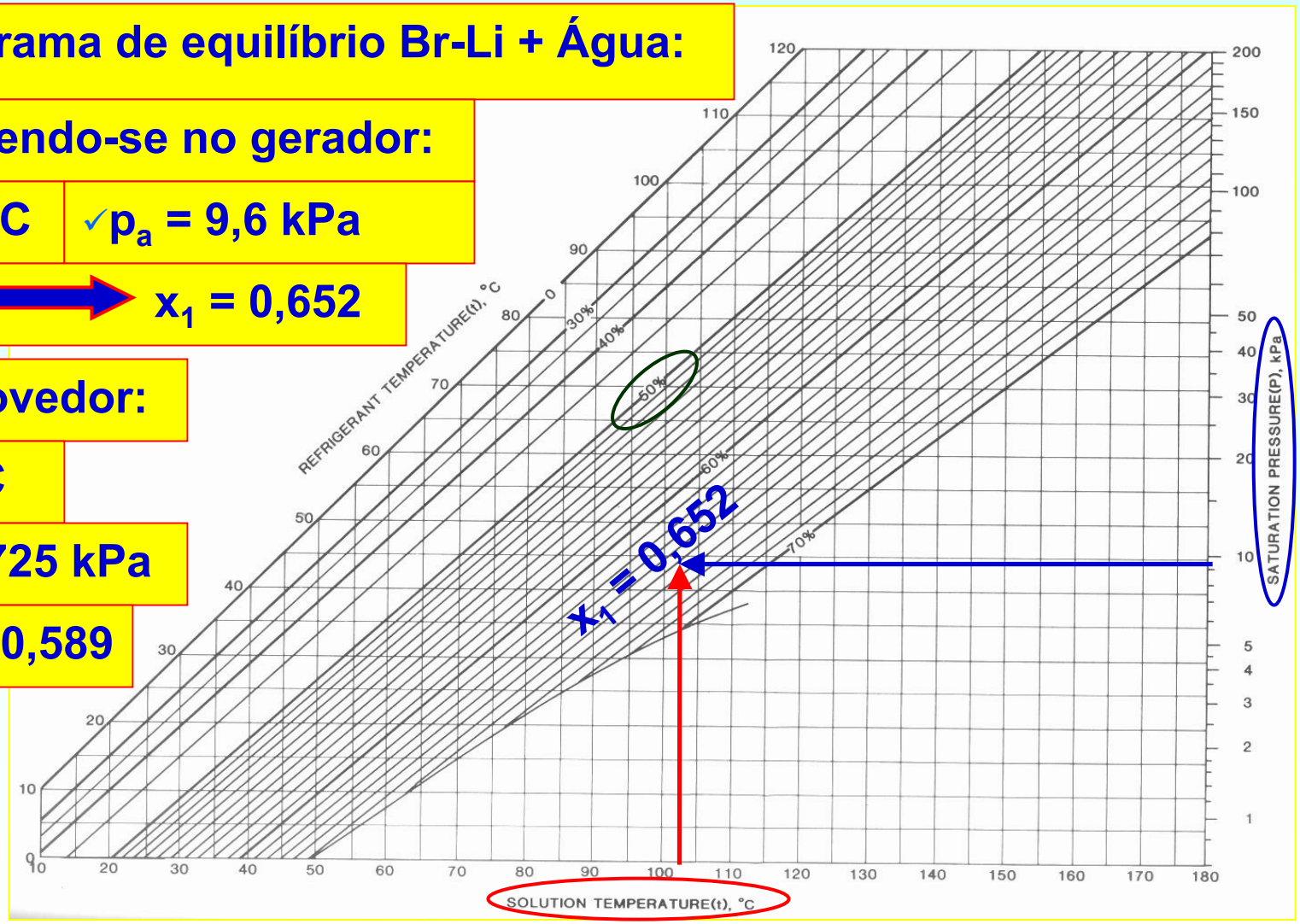
Temos → $x_1 = 0,652$

✓ **no absovedor:**

✓ $t_3 = 42^oC$

✓ $p_b = 0,8725$ kPa

➢ $x_3 = x_4 = 0,589$



4. SISTEMAS DE ABSORÇÃO

EXEMPLO 4.3.1

c) Entalpias da solução:

- **Da Tabela de soluções de Br-li + Água:**

✓ $h_3 = h_4 = h\ (42^oC,\ x_4 = 0{,}589) = 106{,}15\ kJ/kg$

✓ $h_5 = h\ (82{,}4^oC,\ x_4 = 0{,}589) = 193{,}48\ kJ/kg$

✓ $h_1 = h\ (104^oC,\ x_4 = 0{,}652) = 261{,}85\ kJ/kg$

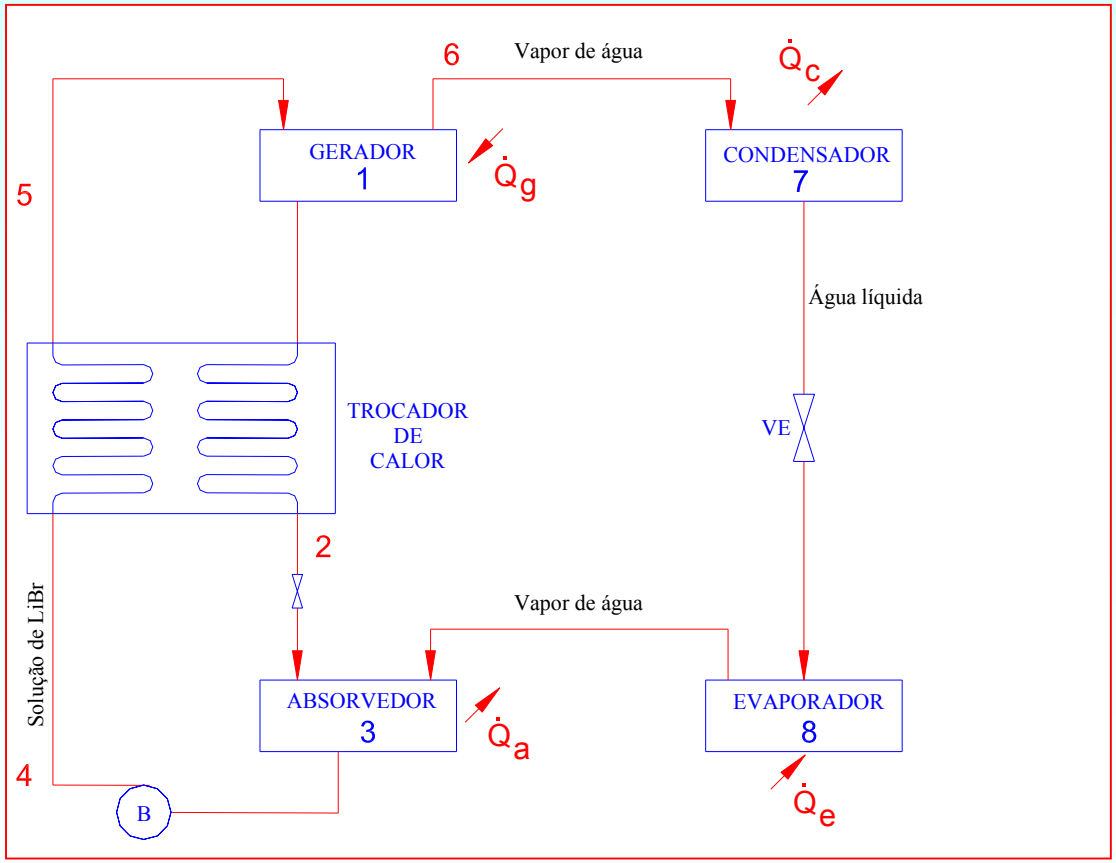
Table 34 Refrigerant Temperature (t′ = °C) and Enthalpy (h = kJ/kg) of Lithium Bromide Solutions

Percent LiBr		0	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70
Temp. (t = °C)									58,9			
	t′	20	19.1	17.7	15.0	9.8	5.8	−0.4	−7.7	−15.8	−23.4#	−29.3#
20	h	84.0	67.4	52.6	40.4	33.5	33.5	38.9	53.2	78.0	111.0#	145.0#
	t′	30.0	29.0	27.5	24.6	19.2	15.0	8.6	1.0	−7.3	−15.2#	−21.6#
30	h	125.8	103.3	84.0	68.6	58.3	56.8	60.5	73.5	96.8	128.4#	161.7#
	t′	40.0	38.9	37.3	34.3	28.5	24.1	17.5	9.8	1.3	−7.0#	−14.0#
40	h	167.6	139.5	115.8	96.0	82.5	79.7	82.2	93.5	115.4	146.0#	178.3#
42°C		50.0	48.8	47.2	44.0	37.9	33.3	26.5	18.5	9.9	1.3	−6.3#
50	h	209.3	175.2	147.0	123.4	106.7	102.6	103.8	114.0	134.5	163.5	195.0#
	t′	60.0	58.8	57.0	53.6	47.3	42.5	35.5	27.3	18.4	9.5	1.4#
60	h	251.1	211.7	179.1	151.4	131.7	125.8	125.8	134.7	153.7	181.4	211.9#
	t′	70.0	68.7	66.8	63.3	56.6	51.6	44.4	36.1	27.0	17.7	9.0#
70	h	293.0	247.7	210.5	178.8	155.7	148.9	148.0	155.6	173.2	199.4	228.8#
	t′	80.0	78.6	76.7	73.0	66.0	60.8	53.4	44.8	35.6	26.0	16.7#
80	h	334.9	287.8	243.6	207.3	181.0	172.8	170.0	176.2	192.6	217.2	245.7#
	t′	90.0	88.6	86.5	82.6	75.4	70.0	62.3	53.6	44.1	34.2	24.3#
90	h	376.9	321.1	275.6	235.4	206.1	195.8	192.3	197.1	212.2	235.6	262.9#
	t′	100.0	98.5	96.3	92.3	84.7	79.1	71.3	62.4	52.7	42.4	32.0
100	h	419.0	357.6	307.9	263.8	231.0	219.9	214.6	218.2	231.5	253.5	279.7
	t′	110.0	108.4	106.2	101.9	94.1	88.3	80.2	71.1	61.3	50.6	39.7
110	h	461.3	394.3	340.1	292.4	255.9	243.3	236.8	239.1	251.0	271.4	296.3

4. SISTEMAS DE ABSORÇÃO

EXEMPLO 4.3.1

d) Vazões mássicas:



EQUAÇÕES

✓ **no evaporador:**

$$\dot{m}_8 = \frac{\dot{Q}_e}{(h_8 - h_7)} = 0{,}43075 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_8 = 0{,}43075 \text{ kg/s}$$

✓ **no gerador:**

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_1 + \dot{m}_6$$

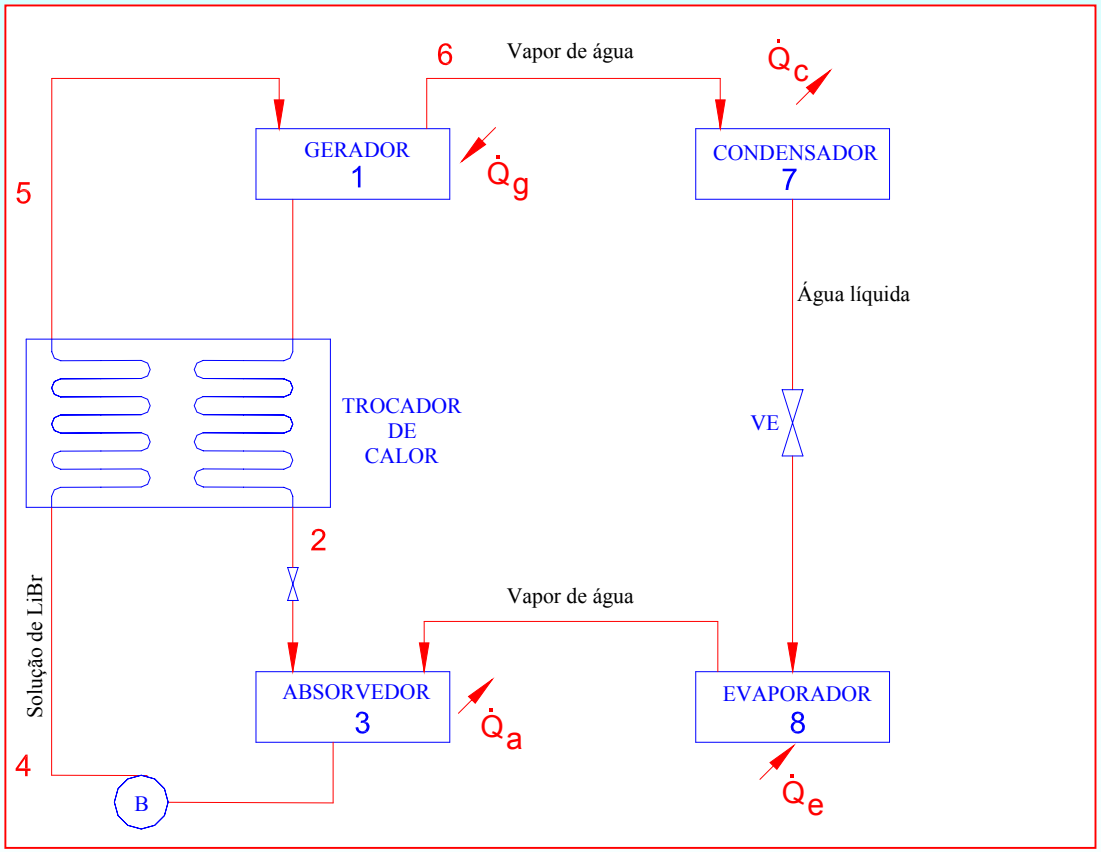
$$\dot{m}_5 x_4 = \dot{m}_1 x_1 + 0$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 = 4{,}45792 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = 4{,}02717 \text{ kg/s}$$

4. SISTEMAS DE ABSORÇÃO

EXEMPLO 4.3.1
e) COP do sistema:



EQUAÇÕES

✓ **balanço no TC:**

$$\dot{m}_4(h_5 - h_4) = \dot{m}_1(h_1 - h_2)$$

onde,

$h_2 = 165{,}1791\ \text{kJ/kg}$

$t_2 = 51{,}27^{o}\text{C}$

$$\dot{W}_b = \dot{m}_3(h_4 - h_3)$$

$$h_4 \cong h_3$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_6(h_7 - h_6) = 1068{,}55\ \text{kW}$$

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g} = 0{,}745$$

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_5 h_5 = 1341{,}71\ \text{kW}$$

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_4 h_4 = 1273{,}16\ \text{kW}$$