

# Introdução à Engenharia Química e Bioquímica

**Aula 8 Balanços Energéticos  
MIEQB  
ano lectivo de 2020/2021**

---

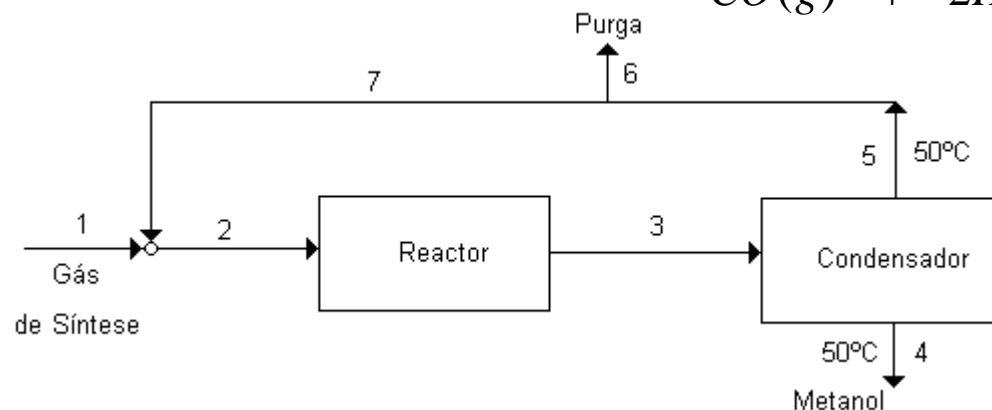
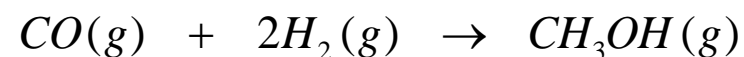
## Sumário da aula

### Balanços energéticos a sistemas reactivos

#### ➤ Exercícios

**5.23.**

O gás de síntese, à temperatura de 25°C, é constituído por CO e H<sub>2</sub>, na proporção molar de 1:2 e ainda por 1% molar de N<sub>2</sub>, como inerte. A alimentação ao reactor é constituída pelo gás de síntese e pelo gás de reciclo, proveniente do condensador. No reactor forma-se metanol segundo a reacção:



A corrente efluente do reactor é alimentada a um condensador, obtendo-se uma corrente líquida, constituída apenas por metanol, e uma corrente gasosa, constituída pelo CO, H<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>. A corrente gasosa é reciclada.

- A) Estabeleça o balanço material do processo, considerando que a purga tem 4% molar de N<sub>2</sub> e que a fracção de purga (i.e., ⑥/⑤) é igual a 0.25.
- B) Considerando o reactor adiabático, calcule a temperatura da corrente efluente do reactor.
- C) Calcule a quantidade de calor que o condensador troca com o exterior.

**5.23.**

Dados:

- calores específicos médios (entre 25 e 50°C):

$$C_p \text{ H}_2 \text{ (g)} = 7.083 \text{ cal.mol}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

$$C_p \text{ CO (g)} = 7.132 \text{ cal.mol}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

$$C_p \text{ N}_2 \text{ (g)} = 6.972 \text{ cal.mol}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

$$C_p \text{ CH}_3\text{OH (g)} = 42.93 \text{ J.mol}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

$$C_p \text{ CH}_3\text{OH (líq.)} = 82.6 \text{ J.mol}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

- calores de formação padrão:

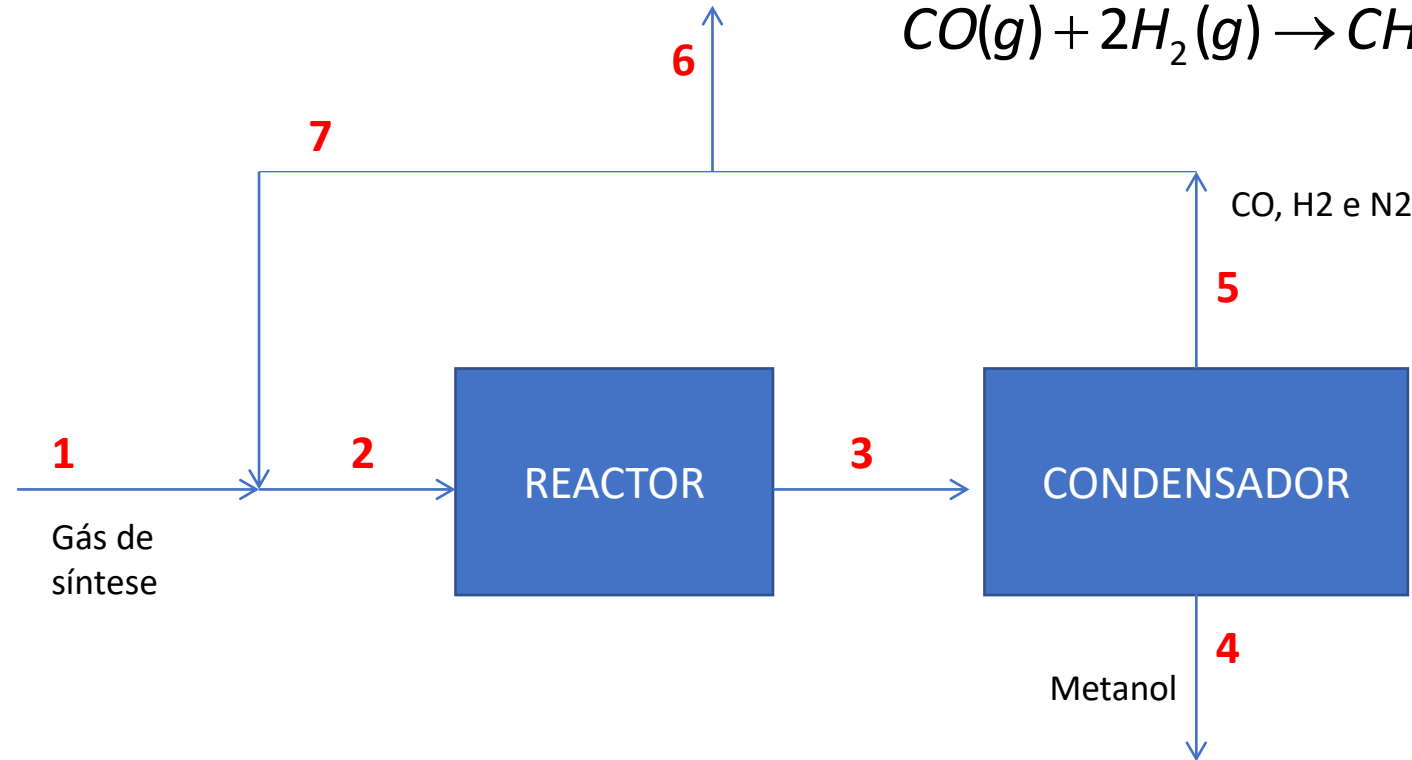
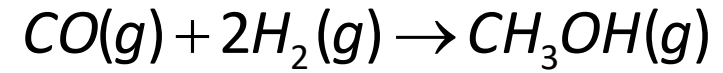
$$\Delta H_f^\circ \text{ (CH}_3\text{OH) gasoso} = -201.2 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{ (CO) gasoso} = -110.52 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

- calor de vaporização do metanol:

$$\Delta H_{\text{vap.}} \text{ a 1 atm; temp. de ebulição normal (64.7°C)} = 35.27 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

5.23.a)



Base de cálculo: 100 moles na corrente de alimentação (1)

$$(n_{N_2})_1 = 1mol$$

$$(n_{H_2})_1 + (n_{CO})_1 = 99mol$$

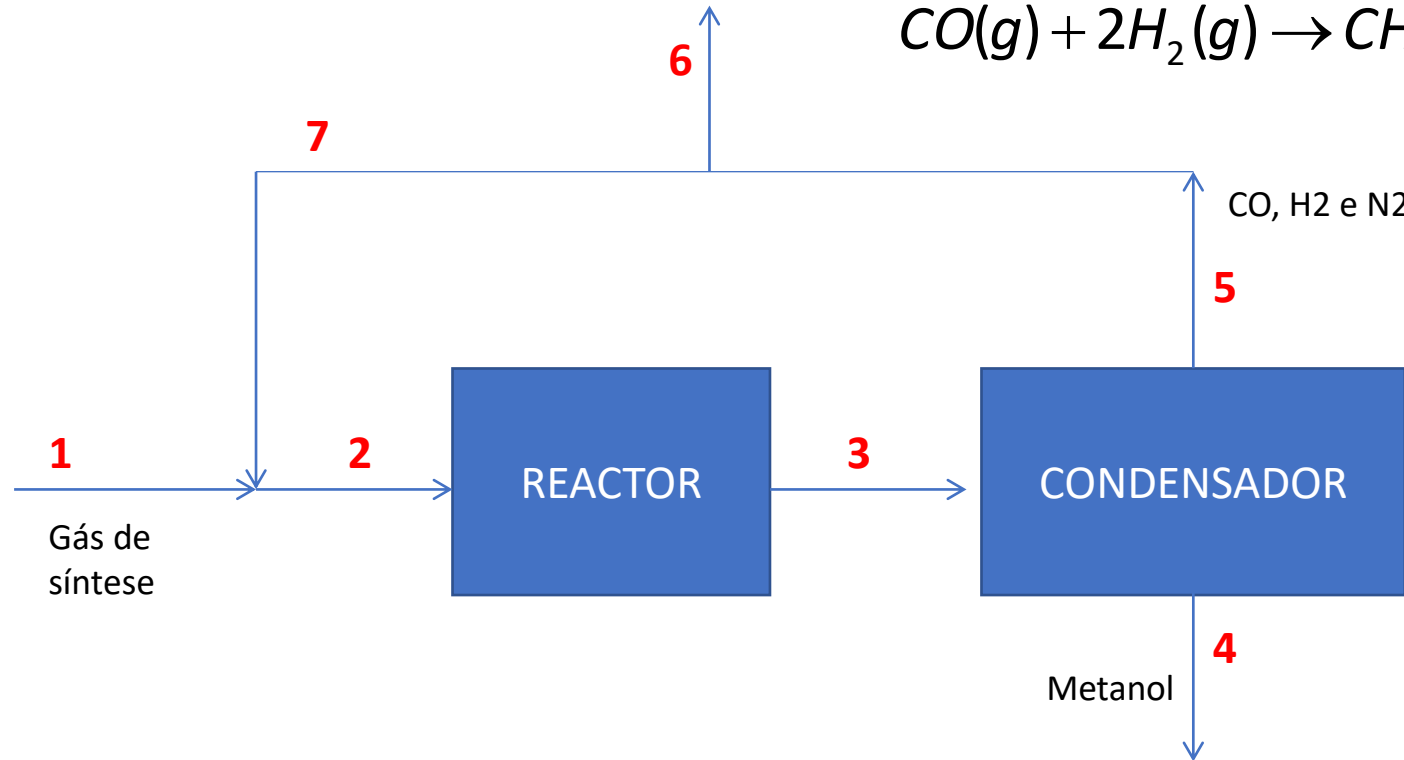
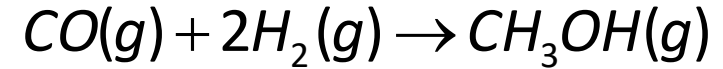
$$(n_{H_2})_1 = 2(n_{CO})_1$$

$$(n_{N_2})_1 = 1mol$$

$$(n_{H_2})_1 = 66mol$$

$$(n_{CO})_1 = 33mol$$

5.23.a)



Balanço global ao inerte N2



$$(n_{N_2})_1 = 1mol = (n_{N_2})_6$$

$$(n_{N_2})_6 = 0,25 * (n_{N_2})_5$$

$$(n_{N_2})_1 = 1mol$$

$$(n_{N_2})_5 = 4mol$$



$$(n_{N_2})_7 = (n_{N_2})_5 - (n_{N_2})_6 = 3mol$$

$$(n_{N_2})_2 = (n_{N_2})_1 + (n_{N_2})_7 = 4mol = (n_{N_2})_3$$

**5.23.a)**

Caracterização do inerte na corrente de purga



$$0,04 = \frac{(n_{N_2})_6}{n_6} \rightarrow n_6 = 25mol$$

$$0,04 = \frac{(n_{N_2})_7}{n_7} \rightarrow n_7 = 75mol$$

$$0,04 = \frac{(n_{N_2})_5}{n_5} \rightarrow n_5 = 100mol$$

Caracterização das correntes de purga



$$(n_{H_2})_6 + (n_{CO})_6 = n_6 - (n_{N_2})_6$$

$$(n_{H_2})_6 = 2 * (n_{CO})_6$$

Porque a alimentação tem razão 1:2



Composição das correntes de purga:

$$(x_{CO})_6 = 0,32$$

$$(x_{H_2})_6 = 0,64$$

$$(x_{N_2})_6 = 0,04$$



$$(n_{CO})_6 = 8mol$$

$$(n_{H_2})_6 = 16mol$$

$$(n_{N_2})_6 = 1mol$$

**5.23.a)** Composição das correntes de purga = Composição das correntes 5 e 7

$n_6 = 25mol$	$(x_{CO})_6 = 0,32$	$(n_{CO})_5 = 32 mol$
$n_7 = 75mol$	$(x_{H_2})_6 = 0,64$	$(n_{H_2})_5 = 64 mol$
$n_5 = 100mol$	$(x_{N_2})_6 = 0,04$	$(n_{CO})_7 = 64 mol$
		$(n_{H_2})_7 = 48 mol$

Sabemos também que:

$$(n_{CO})_5 = 32mol = (n_{CO})_3$$

$$(n_{H_2})_5 = 64mol = (n_{H_2})_3$$



E que:

$$(n_{CO})_2 = (n_{CO})_1 + (n_{CO})_7$$

$$(n_{CO})_2 = 57mol$$

Sabemos também que:

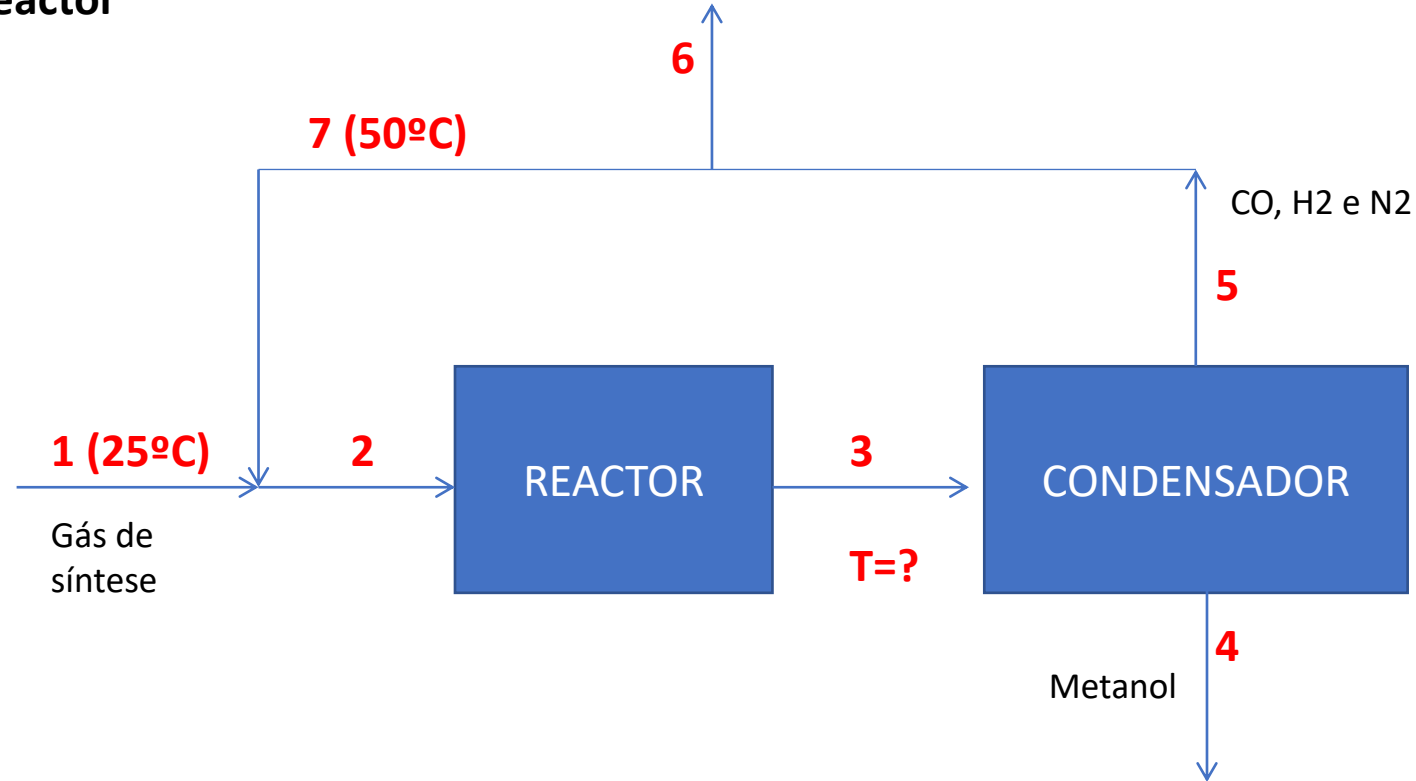
$$(n_{CH_3OH})_4 = (n_{CO})_{reagiram} = (n_{CO})_1 - (n_{CO})_3 = 25mol$$



**5.23.a)**

	1	2	3	4	5	6	7
CO	33	57	32	-	32	8	24
H2	66	114	64	-	64	16	48
CH3OH	-	-	25	25	-	-	-
N2	1	4	4	-	4	1	3
Total	100	175	125	25	100	25	75

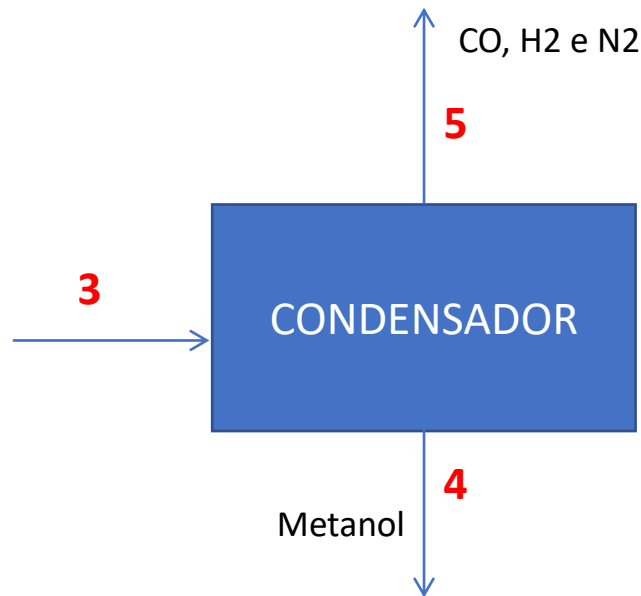
**5.23.b) Considerando o reactor adiabático , calcule a temperatura da corrente de efluente do reactor**



Q=0  
P=1 atm  
T=25°C  
Estado gasoso

$$\begin{aligned} \Delta H_1 + \Delta H_7 &= \Delta H_2 \\ \Delta H_2 &= \Delta H_3 + \Delta H_{reacao} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} \Delta H_1 + \Delta H_7 &= \Delta H_3 + \Delta H_{reacao} \\ T_f &= 525.5^\circ \text{C} \end{aligned}$$

5.23.c) Calcule a quantidade de calor que o condensador troca com o exterior



Balanço entálpico:  $\Delta H_3 = \Delta H_4 + Q + \Delta H_5$

$$\Delta H_3 = 5,548 \times 10^5 \text{ cal}$$

$$\Delta H_5 = \frac{1}{0,75} * \Delta H_7 = 1,731 \times 10^4 \text{ cal}$$

Na purga não há alteração de T e composição. A fracção da purga é 25% (⑥/⑤)

$$\Delta H_4 = \left[ \int_{25}^{64.7} (Cp_{CH_3OH_{gasoso}}) dT - \Delta H_{vap}^{64.7} + \int_{64.7}^{50} (Cp_{CH_3OH_{liquido}}) dT \right] \times 25 =$$

$$= -2.066 \times 10^5 \text{ cal}$$

**5.23.c) Calcule a quantidade de calor que o condensador troca com o exterior**

$$Q = 5.548 \times 10^5 + 2.066 \times 10^5 - 1.732 \times 10^4 = 7.4408 \times 10^5 \text{ cal}$$

Por cada 100 moles de gás de síntese são removidos  $7.44 \times 10^5$  cal do condensador