

Introdução à Engenharia Química e Bioquímica

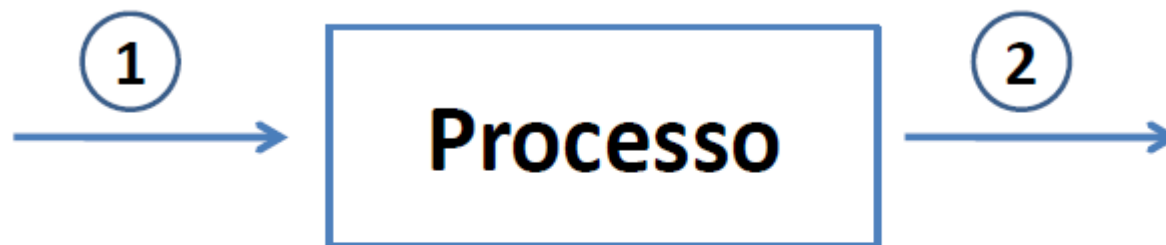
Aula 6
MIEQB
ano lectivo de 2020/2021

Sumário da aula

Fundamentos dos balanços materiais

- Processos químicos. Sua classificação
- Balanço material genérico
- Diagrama esquemático
- Graus de liberdade de um processo
- Escala de um processo e base de cálculo
- Número de balanços materiais independentes

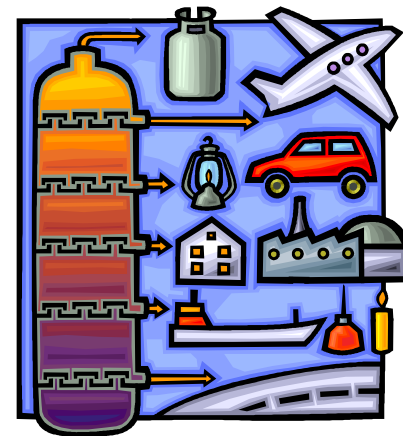
Um **Processo** é um conjunto de operações que permite obter, por transformações físicas e/ou químicas, os produtos que se desejam a partir de substâncias acessíveis (matérias-primas).



① Corrente de alimentação

② Corrente de produto

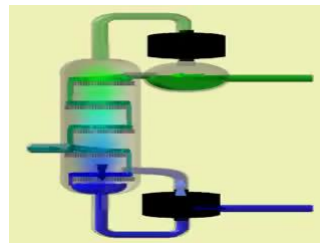
- Descontínuo



- Semi-contínuo



- Contínuo



Classificação dos processos

- Estado estacionário

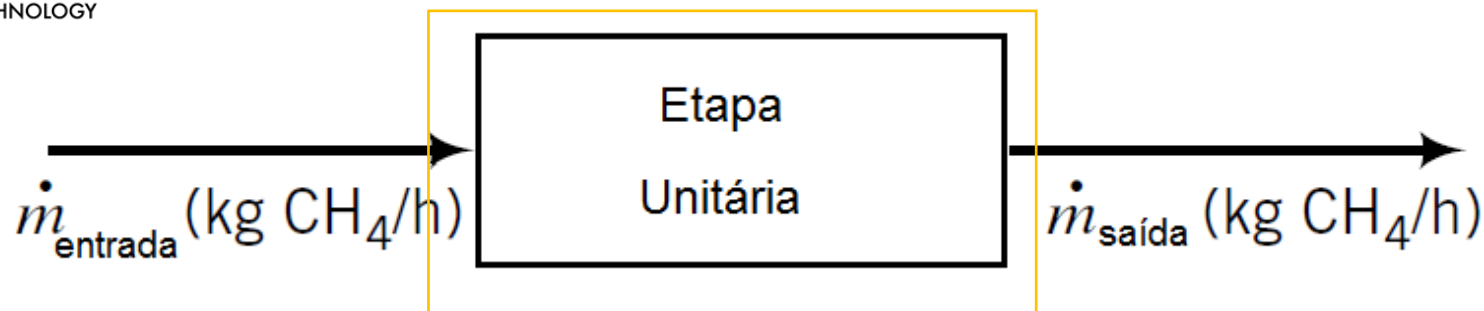
Todas as variáveis do processo (temperatura, pressão, volume, caudal, composições) não variam com o tempo



- Estado transiente ou não estacionário

Existem variáveis do processo que variam com o tempo





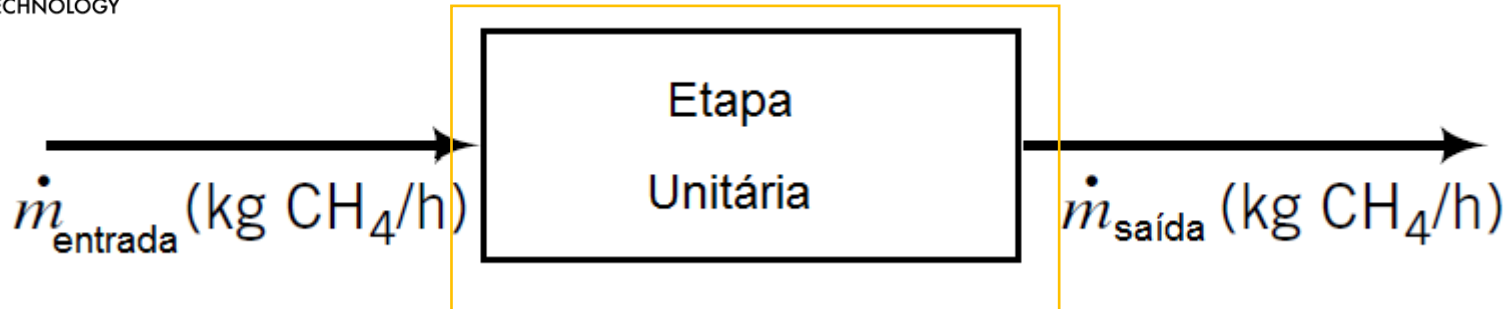
Balanço material ao sistema (Etapa unitária):

$$\{ [\text{ENTRADA}] + [\text{PRODUÇÃO}] \} -$$

IN

$$- \{ [\text{SAÍDA}] + [\text{CONSUMO}] \} = [\text{ACUMULAÇÃO}]$$

OUT



$$\underbrace{\{ [\text{ENTRADA}] + [\text{PRODUÇÃO}] \}}_{\text{IN}} -$$

$$- \underbrace{\{ [\text{SAÍDA}] + [\text{CONSUMO}] \}}_{\text{OUT}} = [\text{ACUMULAÇÃO}]$$

$\text{IN} \neq \text{OUT} \Rightarrow \text{Acumulação} \neq 0 \Rightarrow \text{Estado Não Estacionário (ou Transiente)}$

$\text{IN} = \text{OUT} \Rightarrow \text{Acumulação} = 0 \Rightarrow \text{Estado Estacionário}$

Casos específicos:

1. Sistema **não** reativo

$$[\text{ENTRADA}] - [\text{SAÍDA}] = [\text{ACUMULAÇÃO}]$$

2. Sistema em estado **estacionário**:

2.1. Sistema **não** reativo

$$[\text{ENTRADA}] = [\text{SAÍDA}]$$

2.1. Sistema **reativo**

$$[\text{ENTRADA}] + [\text{PRODUÇÃO}] = [\text{SAÍDA}] + [\text{CONSUMO}]$$

Cálculos com balanços materiais

Todos os problemas de balanços materiais são variações num único tema: sendo dados valores das variáveis de algumas correntes de entrada e/ou de saída, obter e resolver as equações que permitam calcular as restantes variáveis.

Resolver equações é um problema de álgebra (simples 😊); obter as equações a partir da informação disponível é que é normalmente difícil!

Solução ?

- **sistematizar !!!**
- **sistematizar !!!**
- **sistematizar !!!**

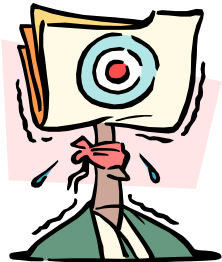




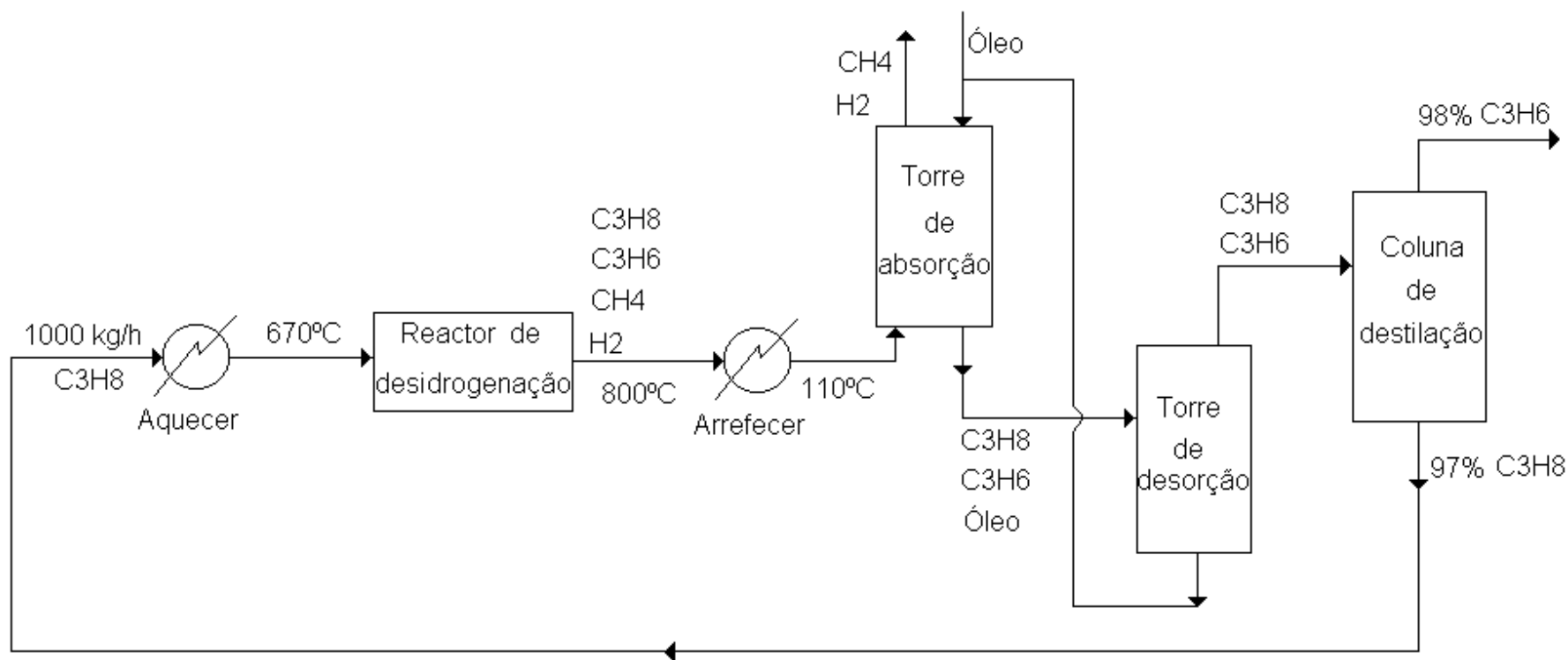
Diagrama esquemático (“flowsheet”)

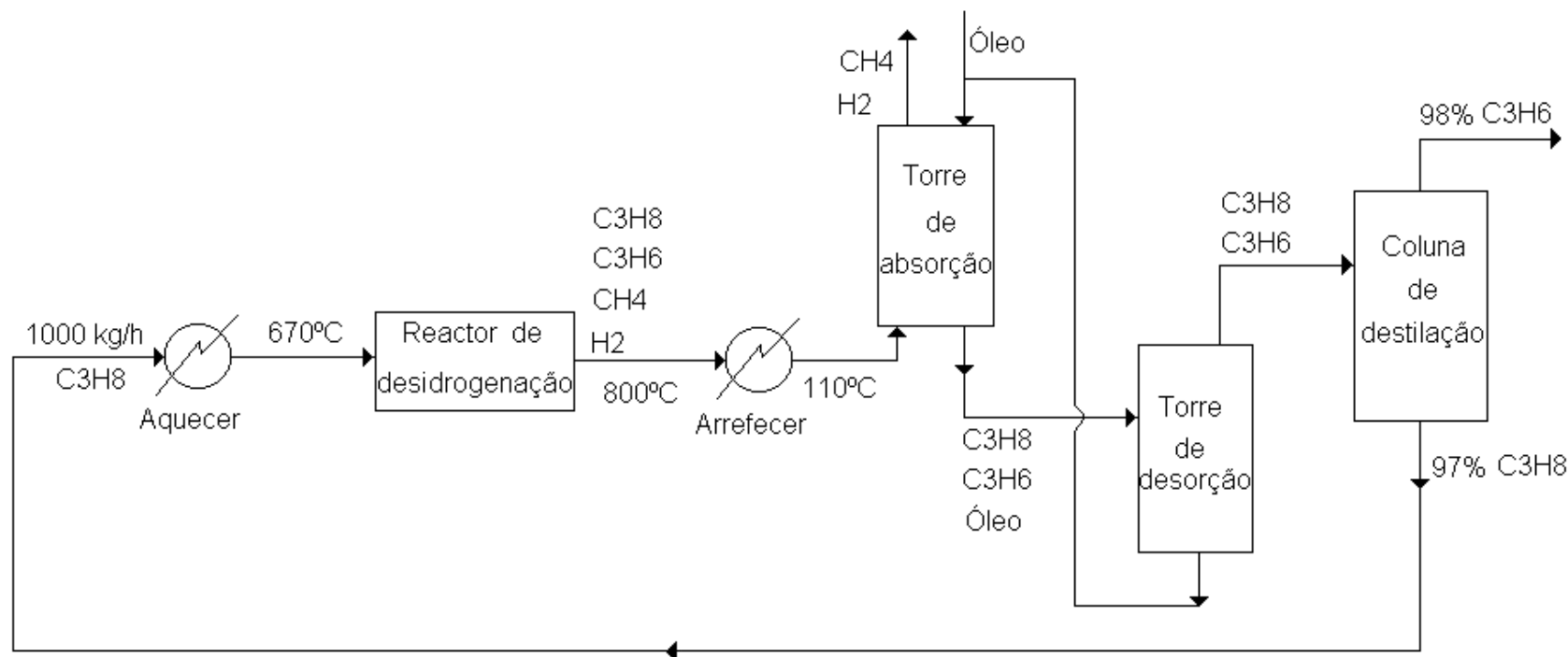
Exemplo: produção de propileno por desidrogenação do propano.

“A desidrogenação catalítica do propano efectua-se num reactor catalítico contínuo. 1000 kg/h de propano puro são pré-aquecidos a 670°C antes de serem alimentados ao reactor. O gás efluente do reactor, contendo propano, propileno, metano e hidrogénio, é arrefecido de 800°C até 110°C e em seguida introduzido numa torre de absorção, onde o propano e o propileno são dissolvidos no óleo. A corrente de óleo resultante do processo de absorção é alimentada a um torre de desorção onde é aquecida, libertando os gases dissolvidos. Estes são enviados a uma torre de destilação para separação do propano do propileno. A corrente de propano resultante é reciclada de volta à alimentação do reactor catalítico. A corrente de destilado da torre de destilação contém 98% em mole de propileno enquanto que a corrente de resíduo contém 97% molar de propano. O resíduo de óleo é reciclada para a torre de absorção.”

=> Perceptível? Nem por isso...

“A desidrogenação catalítica do propano efectua-se num reactor catalítico contínuo. 1000 kg/h de propano puro são pré-aquecidos a 670°C antes de serem alimentados ao reactor. O gás efluente do reactor, contendo propano, propileno, metano e hidrogénio, é arrefecido de 800°C até 110°C e em seguida introduzido numa torre de absorção, onde o propano e o propileno são dissolvidos no óleo. A corrente de óleo resultante do processo de absorção é alimentada a um torre de desorção onde é aquecida, libertando os gases dissolvidos. Estes são enviados a uma torre de destilação para separação do propano do propileno. A corrente de propano resultante é reciclada de volta à alimentação do reactor catalítico. A corrente de destilado da torre de destilação contém 98% em mole de propileno enquanto que a corrente de resíduo contém 97% molar de propano. O resíduo de óleo é reciclado para a torre de absorção.”





- **Completar** o diagrama com **TODA** a informação existente
- **Identificar** as variáveis desconhecidas

Análise dos **graus de liberdade** de um processo

Quando se faz um balanço material a um processo há sempre uma questão que se coloca antes de começar os cálculos:

☞ será que tenho toda a informação necessária? Ou faltam-me dados?..

A melhor maneira é efectuar uma análise aos
graus de liberdade do processo!

Como fazer?

Análise dos **graus de liberdade** de um processo

1. Contar o n° de variáveis desconhecidas, n_1
2. Contar o n° de equações independentes, n_2

$$\Rightarrow n^{\circ} \text{ graus de liberdade, } n_{gl} = n_1 - n_2$$

- Se $n_{gl} = 0 \Rightarrow$ problema resolúvel
- Se $n_{gl} > 0 \Rightarrow$ problema não determinado (admite infinitas soluções)
- Se $n_{gl} < 0 \Rightarrow$ problema não determinado (relações possivelmente incoerentes)

Análise dos **graus de liberdade** de um processo

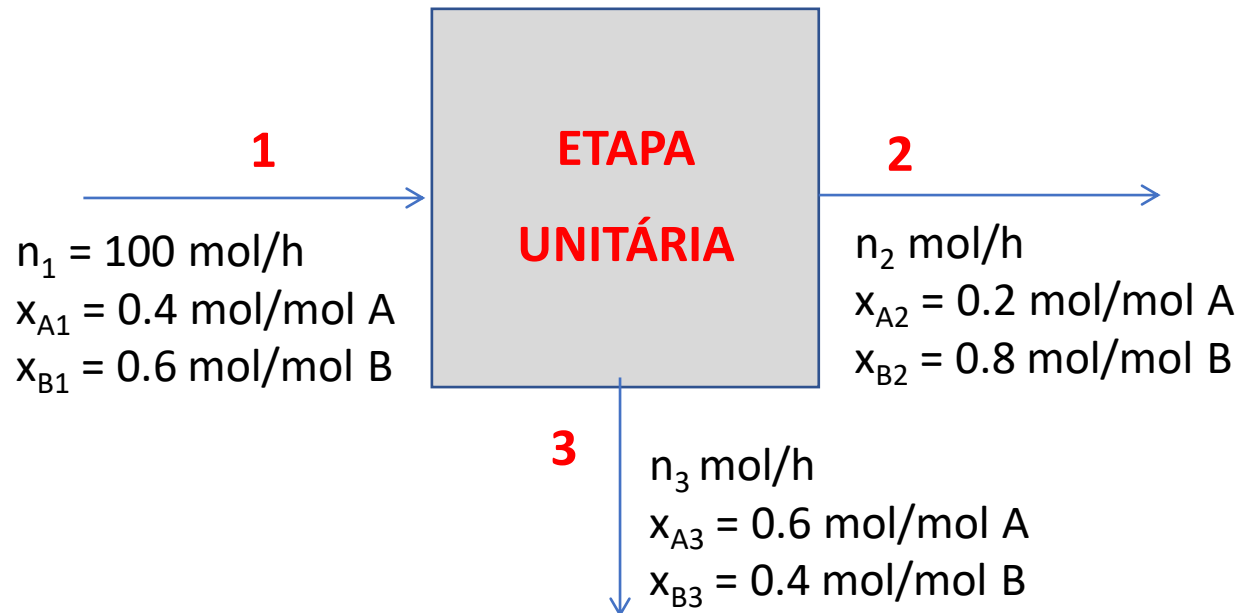
Possíveis Equações:

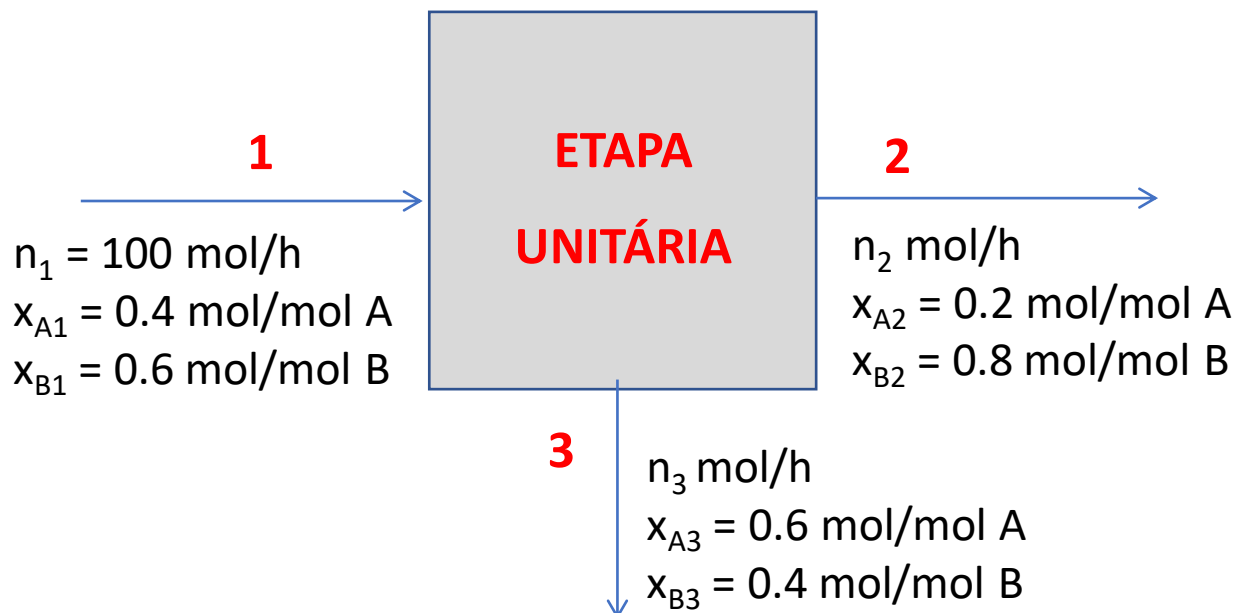
- Balanços materiais
- Balanços energéticos
- Especificações de processo (e.g. $\dot{m}_1 = 0.4 \dot{m}_2$)
- Relações termodinâmicas (e.g. $x_{\text{saturação}}$ em ①)
- Restrições físicas (e.g. $\sum x_i = 1$!!!)
- Relações estequiométricas (\exists reacção química)

Graus de liberdade de um processo

Exemplo...

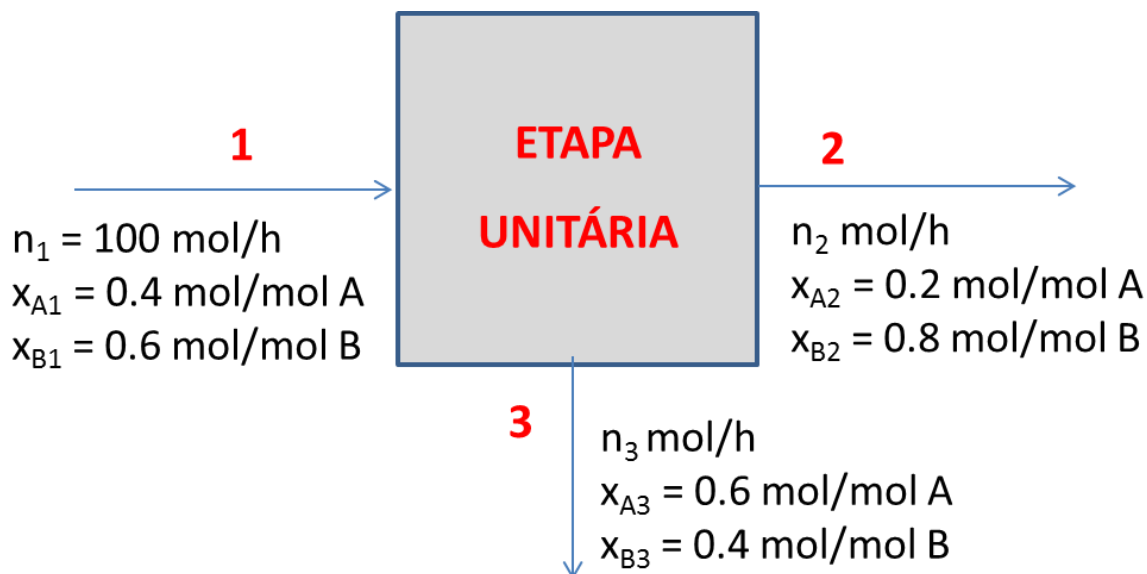
Uma dada mistura binária é fraccionada em duas correntes com composições diferentes. Calcule os caudais das correntes de saída.



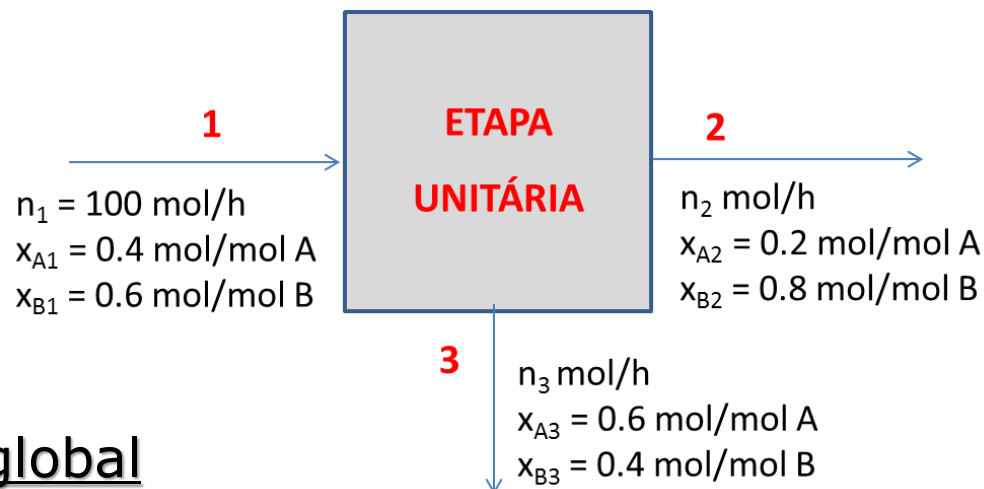


1. N° de variáveis desconhecidas = 2
2. N° de equações independentes = 2 balanços materiais

COMO?



Que balanços materiais podemos
escrever?



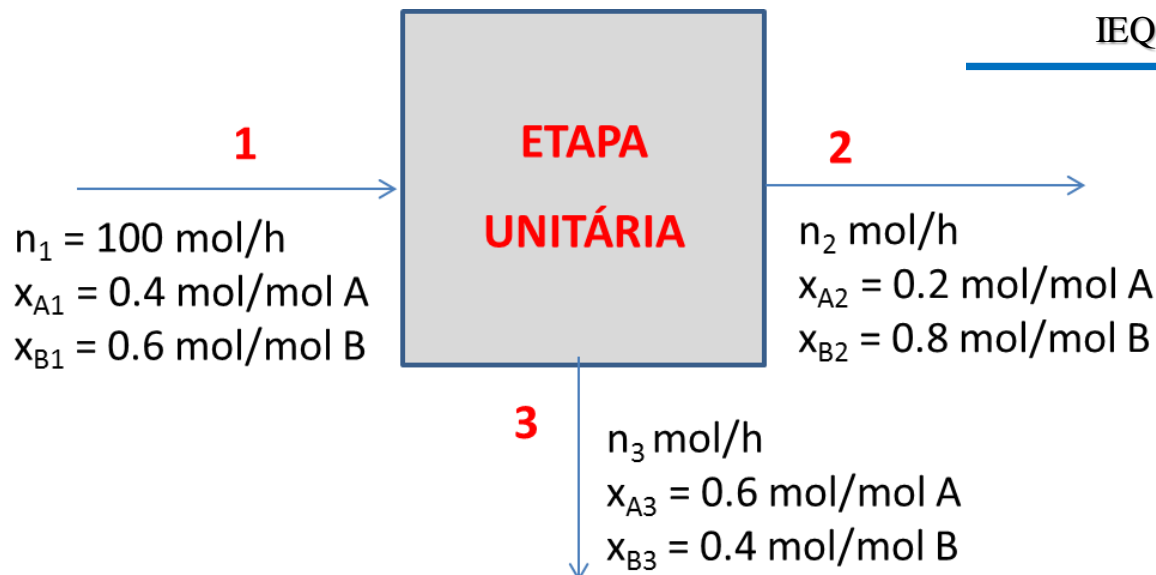
1. Balanço material global

$$n_1 = n_2 + n_3$$

2. Balanço material parcial a uma espécie (exemplo: ao A)

$$n_{A1} = n_{A2} + n_{A3}$$





1. Balanço material global

$$n_1 = n_2 + n_3$$

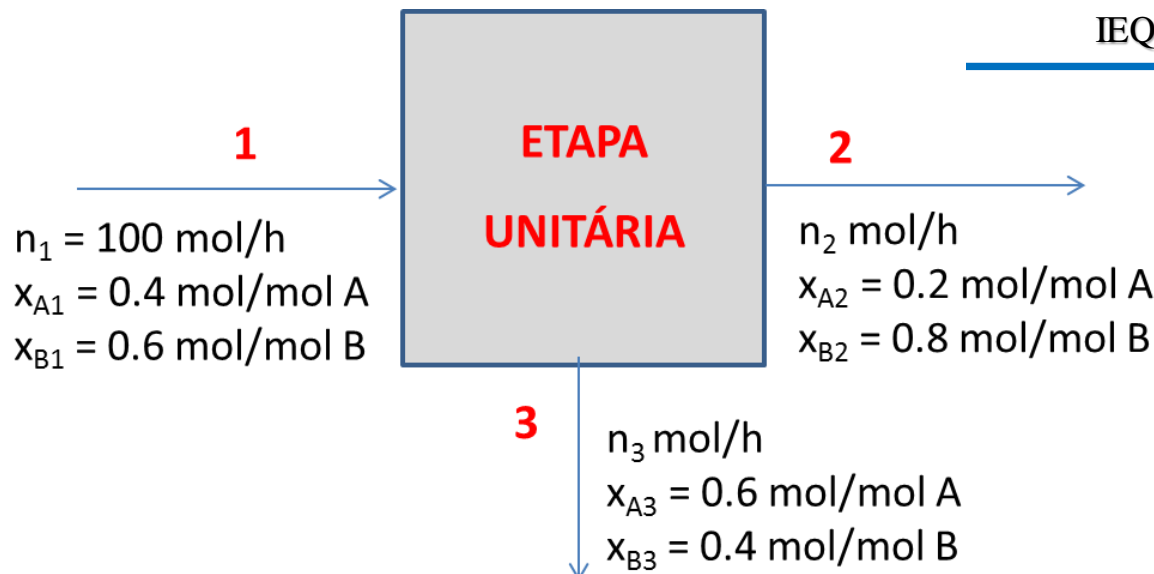
2. Balanço material parcial a uma espécie (exemplo: ao A)

$$n_{A1} = n_{A2} + n_{A3}$$

Mas:

$$n_{A2} = n_2 \cdot x_{A2}$$

$$n_{A3} = n_3 \cdot x_{A3}$$



1. Balanço material global

$$n_1 = n_2 + n_3$$

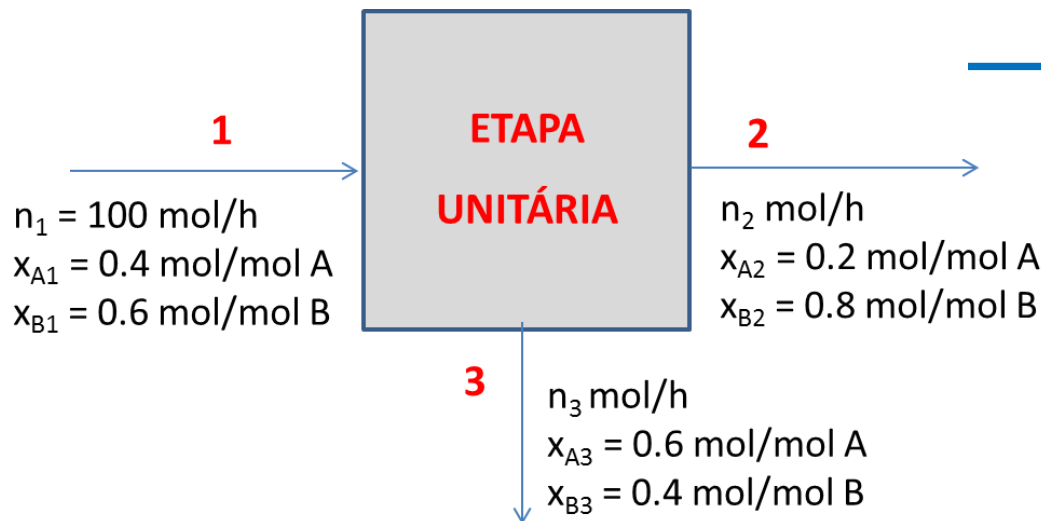
2. Balanço material parcial a uma espécie (exemplo: ao A)

$$n_1 \cdot x_{A1} = n_2 \cdot x_{A2} + n_3 \cdot x_{A3}$$

Mas:

$$n_{A2} = n_2 \cdot x_{A2}$$

$$n_{A3} = n_3 \cdot x_{A3}$$



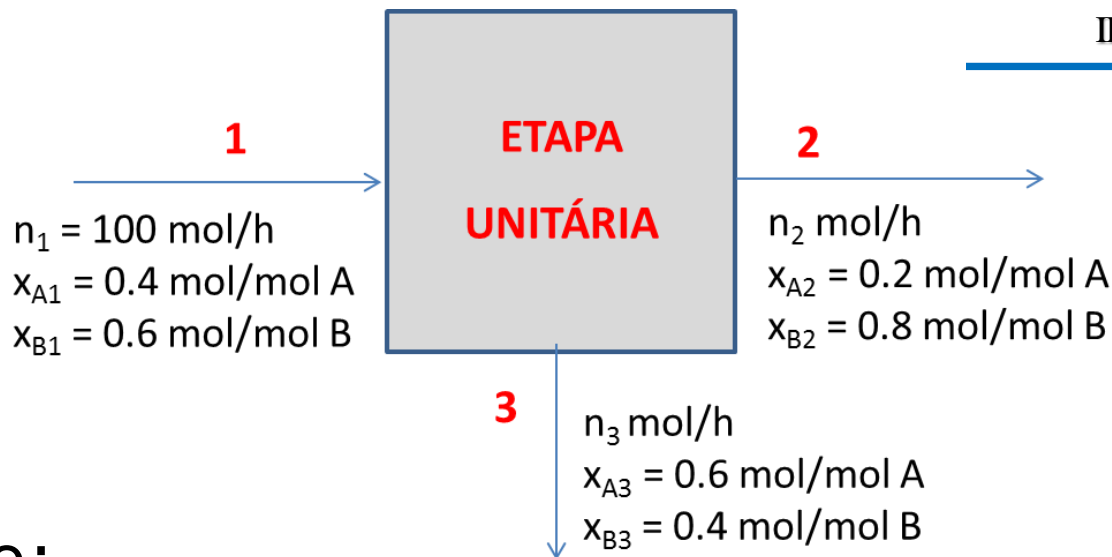
Resultado:

$$\left\{ \begin{array}{l} n_1 = n_2 + n_3 \\ n_1 \cdot x_{A1} = n_2 \cdot x_{A2} + n_3 \cdot x_{A3} \end{array} \right.$$

=> N° de variáveis desconhecidas = 2
 N° de equações independentes = 2

=> **Sistema resolúvel!**

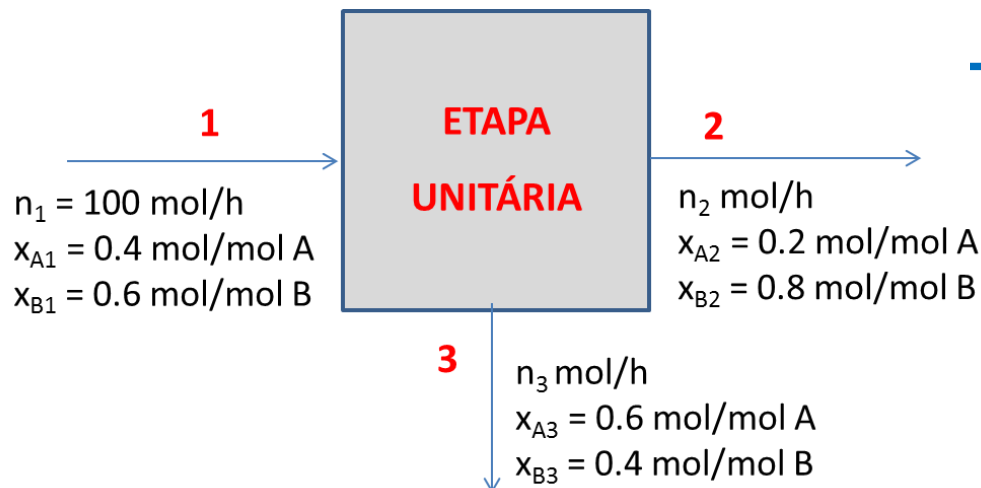




Resolução:

$$\begin{cases} 100 = n_2 + n_3 \\ 40 = 0.2 n_2 + 0.6 n_3 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} n_2 &= 50 \text{ mol/h} \\ n_3 &= 50 \text{ mol/h} \end{aligned}$$



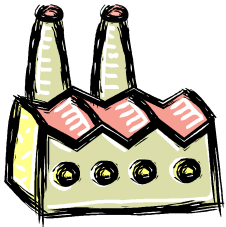
Resolução:

ATENÇÃO:

NÃO SE SOMAM COMPOSIÇÕES!!!

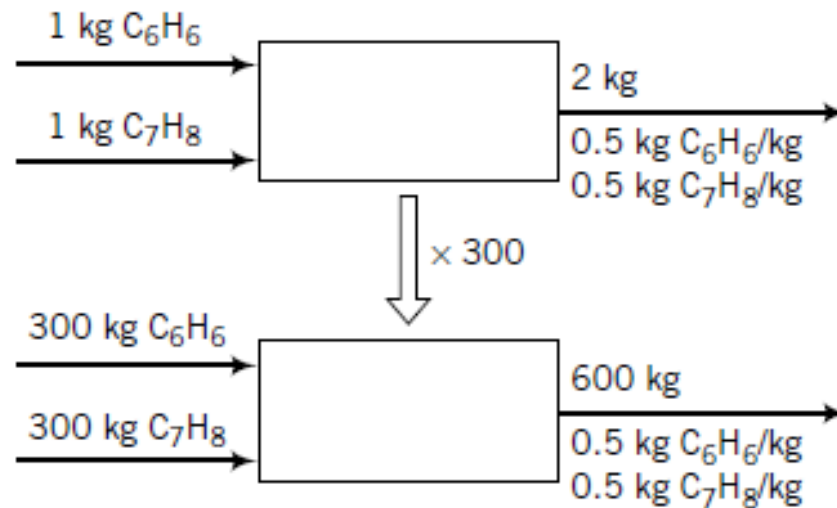
Para Sistemas NÃO reactivos:

N° máximo de BMs independentes =
= N° de espécies químicas existentes



Escala de um processo; Base de cálculo

❖ Noção de **Escala do processo**



Escala de um processo; Base de cálculo

=> Noção de **base de cálculo**

Base de cálculo é a quantidade (massa ou moles) ou caudal (mássico ou molar) que é atribuída a uma dada corrente (ou componente dessa corrente) do processo; serve para iniciar os cálculos de balanços materiais.



Os resultados obtidos dependem da base de cálculo escolhida!

Procedimento geral na resolução de um problema de balanços materiais

1. LER o problema! Identificar exactamente o que nos dão e o que nos pedem...
2. Desenhar o diagrama esquemático do problema; preenche-lo com **toda** a informação dada (caudais e composições das correntes); identificando as variáveis desconhecidas no diagrama;
3. Escolher a base de cálculo mais adequada;
4. Caso existam várias unidades (massa, mole, volume) converte-las todas para uma única unidade;
5. Efectuar a análise aos graus de liberdade;
6. Se $n_{gl} = 0$, escrever as equações de cálculo, sublinhando as variáveis a determinar;
 - Use equações com o menor número de variáveis desconhecidas
 - Regra geral, usar sempre primeiro o balanço global

Procedimento geral na resolução de um problema de balanços materiais

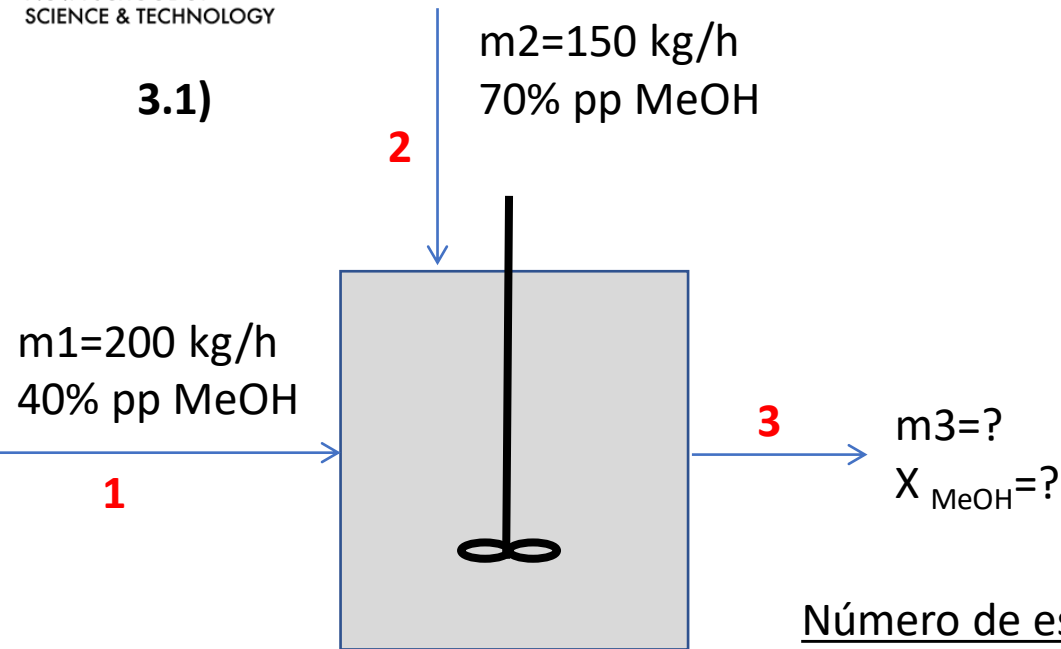
7. Resolver as equações;
8. Verifique a validade dos resultados
 - Por substituição directa
 - Confira se os valores obtidos são razoáveis!
9. Converta os resultados obtidos para a base de cálculo previamente escolhida para a escala indicada no problema, caso exista.

Problema 3.1)

Misturam-se duas soluções aquosas de metanol num tanque agitado. A primeira solução contém 40% em massa de metanol e a segunda solução, 70% em massa de metanol. Sabendo que o caudal da solução mais diluída é de 200 kg.h^{-1} e o da solução mais concentrada de 150 kg.h^{-1} , calcule o caudal e a composição da mistura final.

3.1)

Espécies: Metanol (MeOH)
Água (H₂O)



Tanque de Mistura

Número de espécies = 2 → 2 equações independentes

BM global:

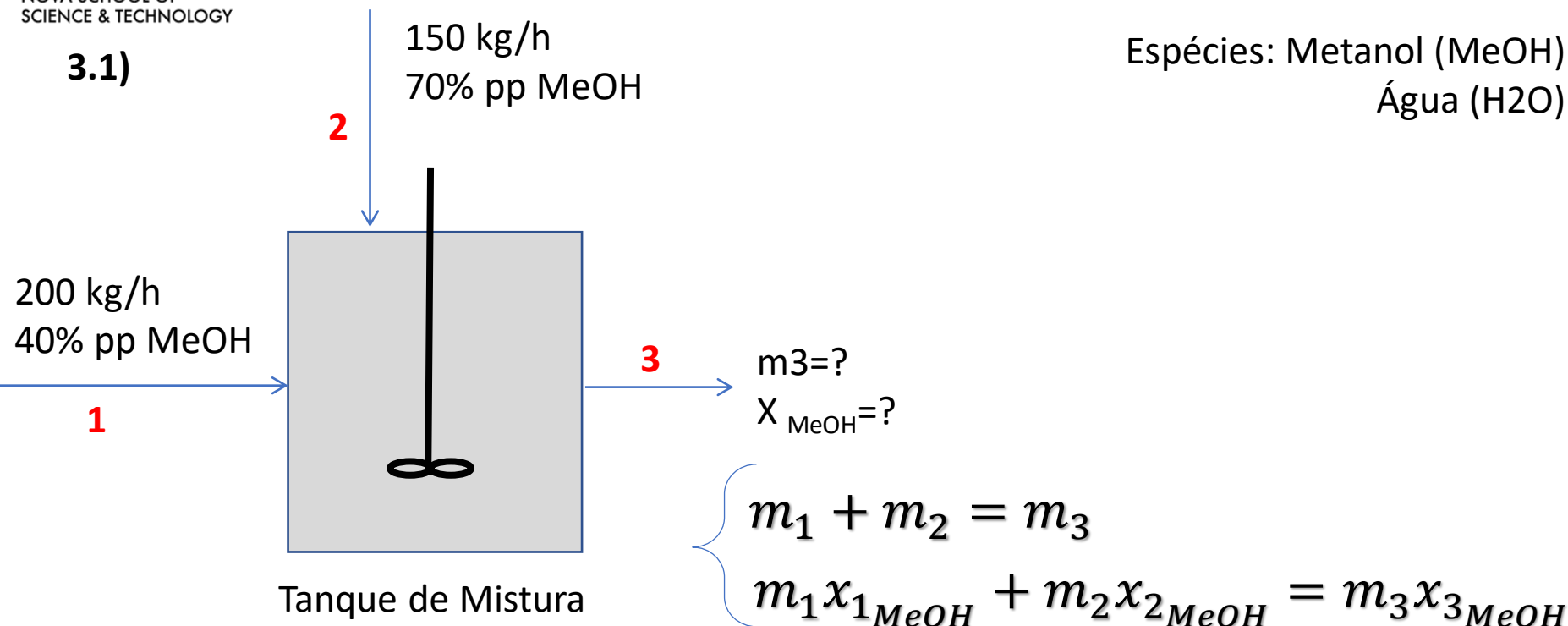
BM parcial (ao MeOH):

$$\begin{cases} m_1 + m_2 = m_3 \\ m_1 x_{1_{\text{MeOH}}} + m_2 x_{2_{\text{MeOH}}} = m_3 x_{3_{\text{MeOH}}} \end{cases}$$

$$x_i = \frac{m_i}{m_{\text{total da corrente}}}$$

3.1)

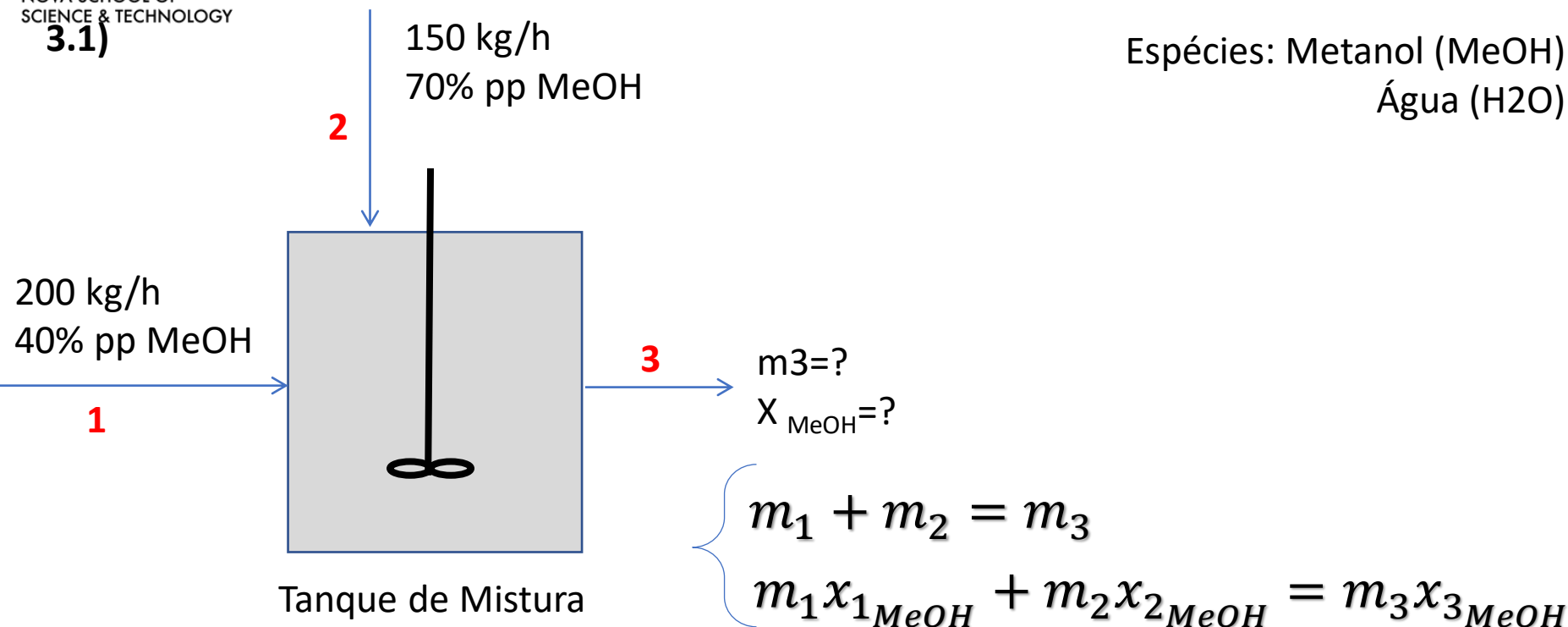
Espécies: Metanol (MeOH)
Água (H₂O)



Dados:

$m_1 = 200 \text{ kg/h}$
 $m_2 = 150 \text{ kg/h}$
 $x_{1_{\text{MeOH}}} = 0.4$
 $x_{2_{\text{MeOH}}} = 0.7$

Espécies: Metanol (MeOH)
Água (H₂O)



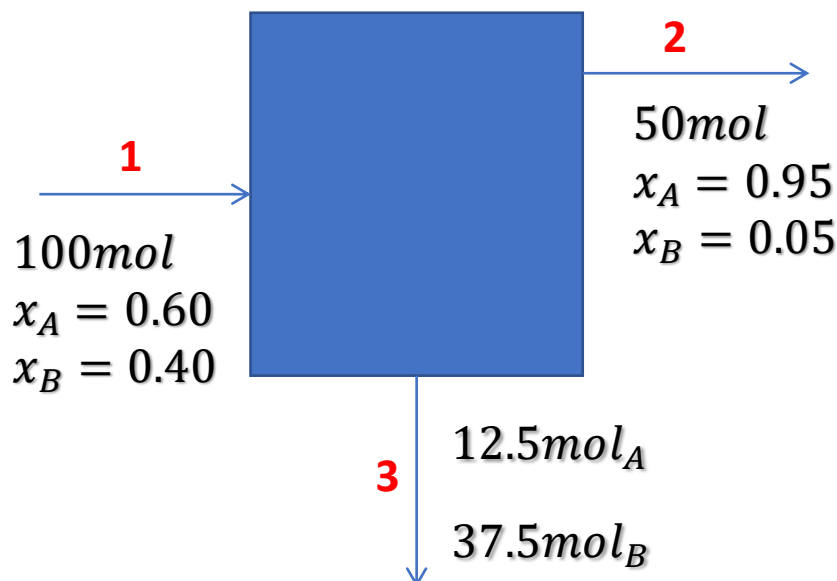
$$m_3 = 350 \text{ kg/h}$$

$$x_{3_{MeOH}} = 0.529$$

3.2)

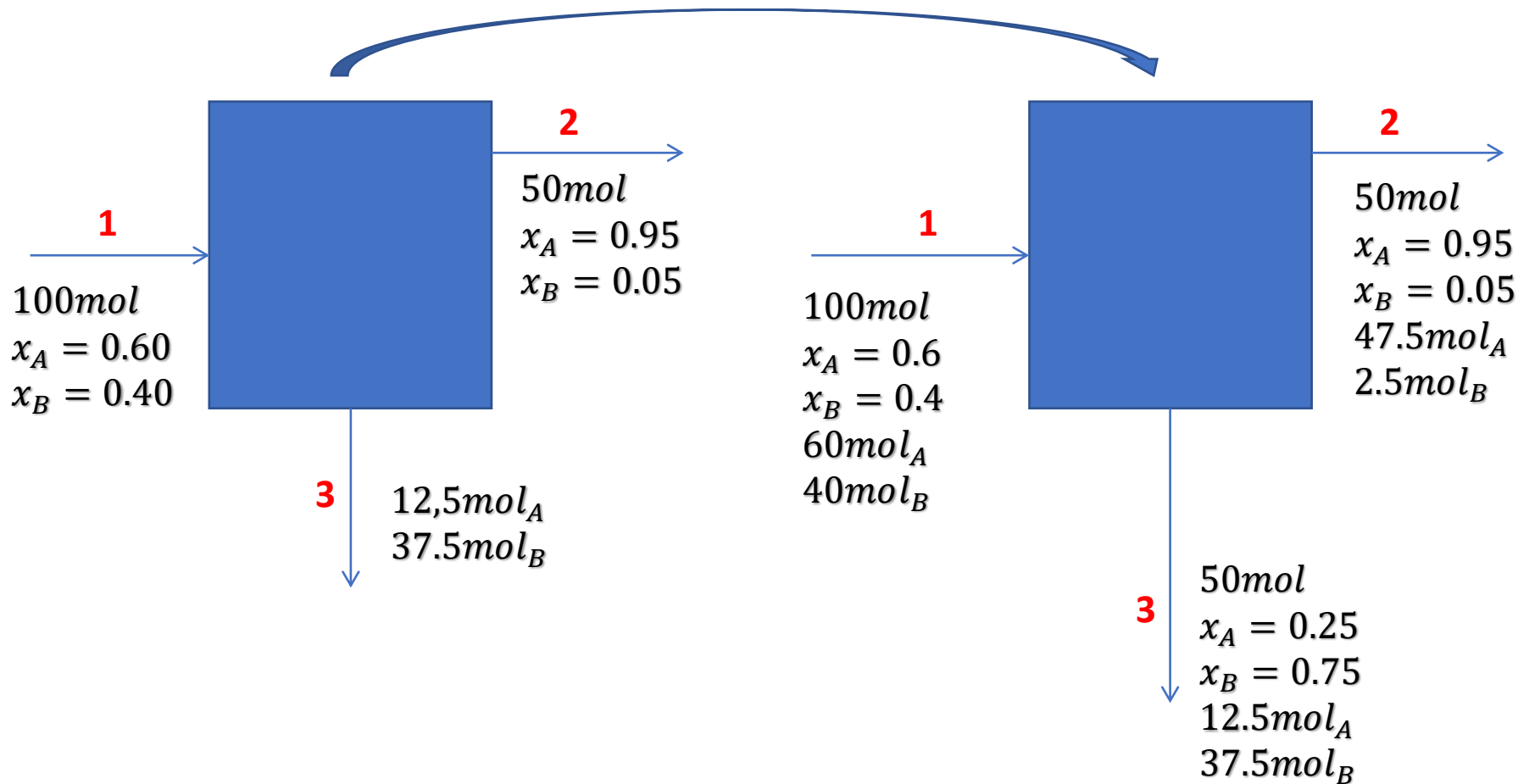
Uma mistura, contendo dois compostos A e B (numa composição molar em B de 40%), é separada em duas fracções. O diagrama esquemático do processo é indicado a seguir.

Pretende-se obter o mesmo grau de separação com um caudal de alimentação contínuo de 1250 mol.h^{-1} . Altere o diagrama de blocos para esta nova situação.



3.2)

Situação 1



3.2)

Situação 1: 100 mol

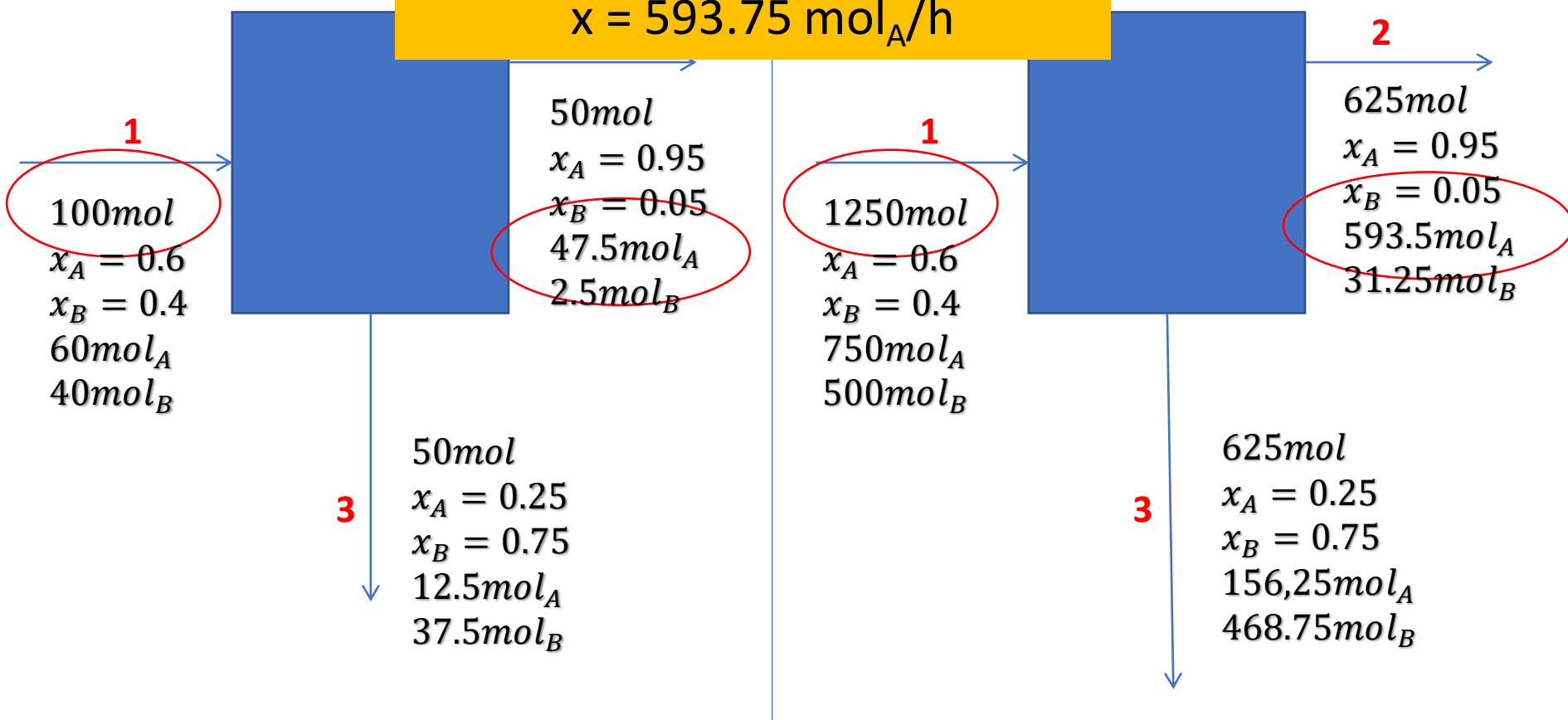
Exº

100 mol ----- 1250 mol

47.5 mol_A ----- x mol_A

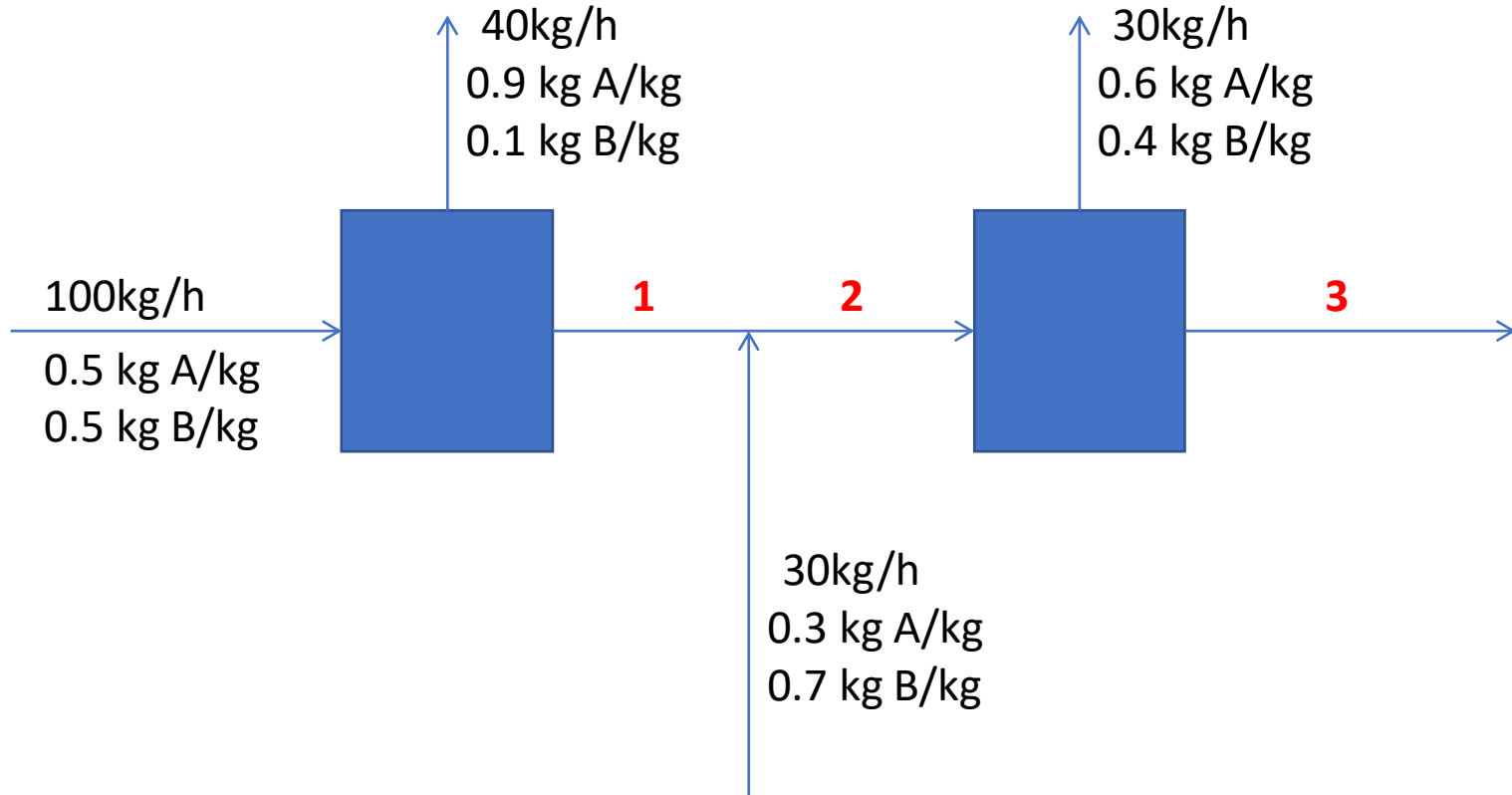
mol em 1

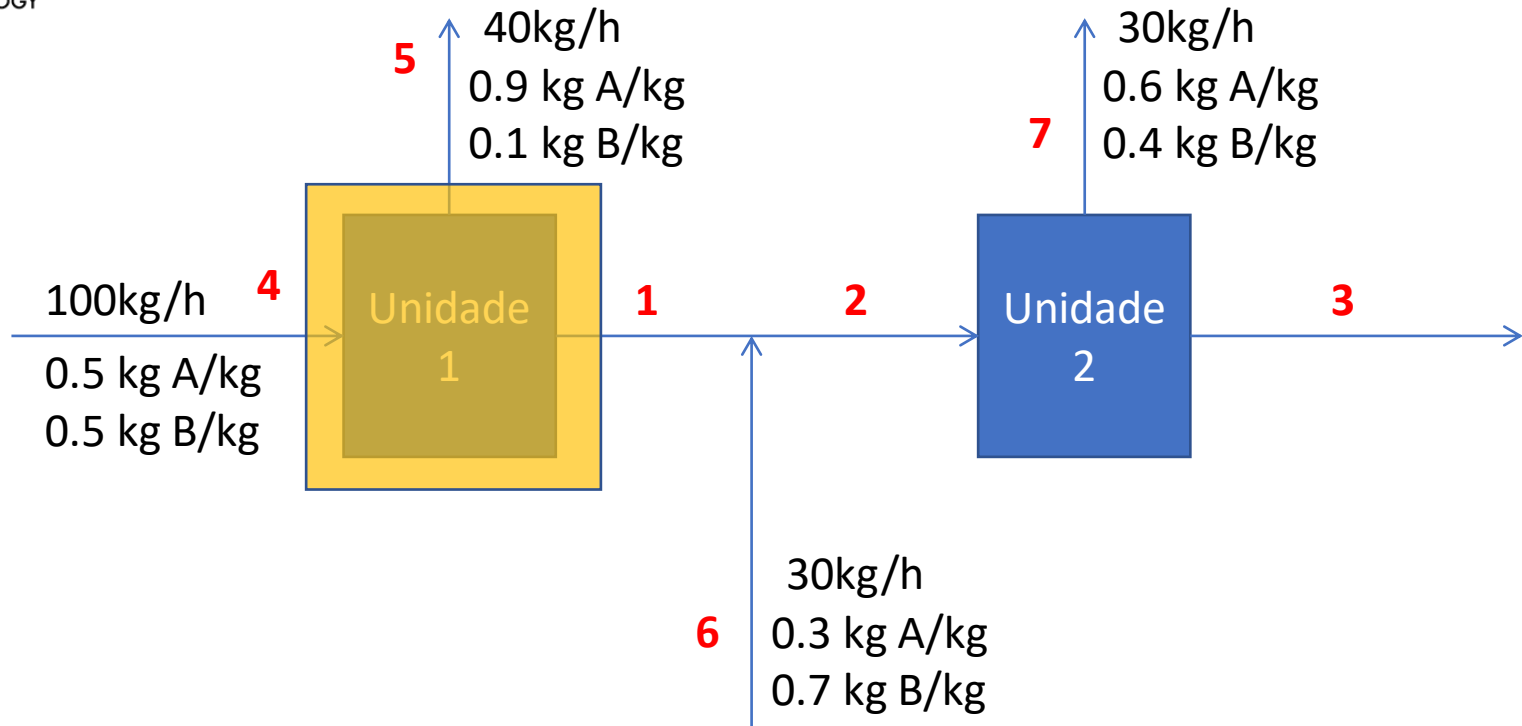
$$x = 593.75 \text{ mol}_A/\text{h}$$



3.3)

Apresenta-se o diagrama esquemático de um processo químico envolvendo duas etapas unitárias. Cada corrente do processo contém dois compostos, designados por A e B, em proporções diferentes. Calcule as composições e caudais das correntes 1, 2 e 3.



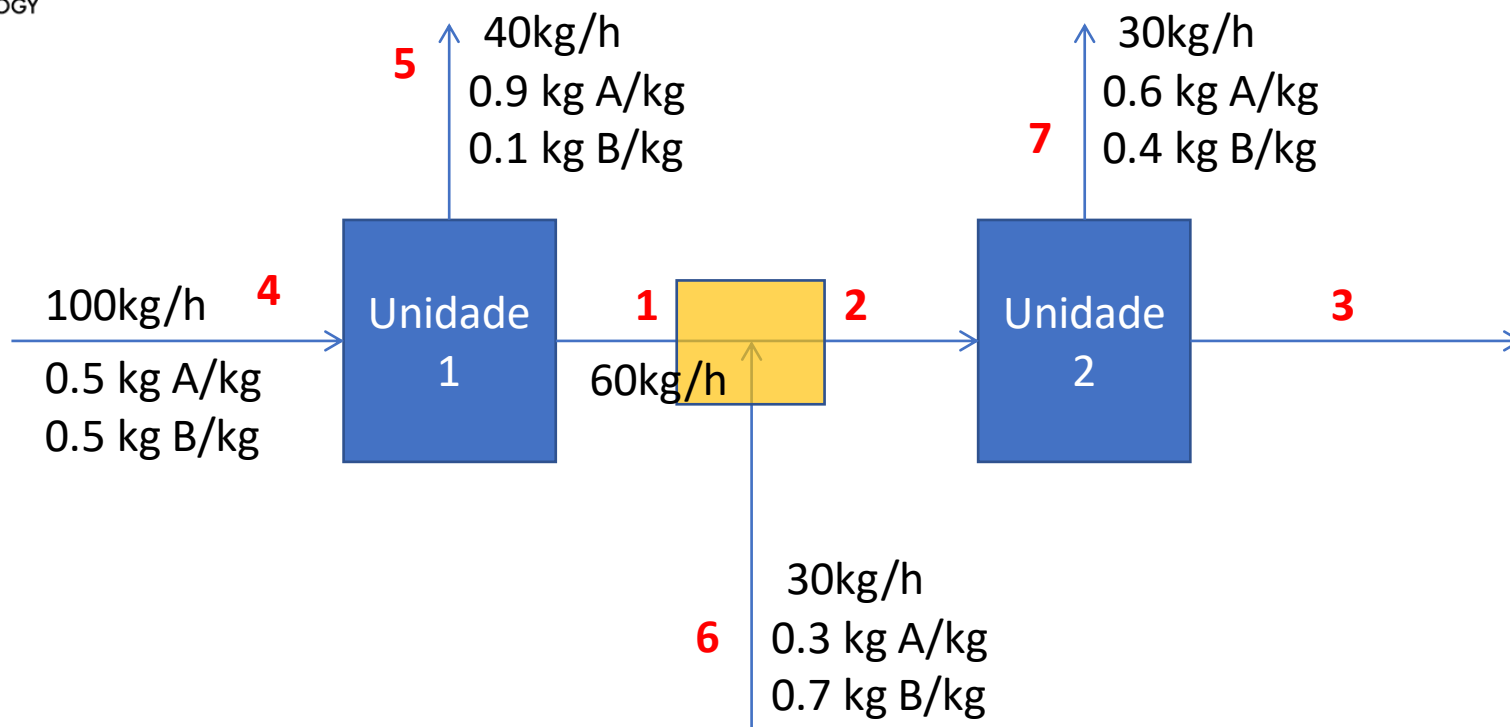


Balanço mássico global à unidade 1:

$$m_4 = m_5 + m_1$$

$$100 = 40 + m_1$$

$$m_1 = 60 \text{ kg/h}$$

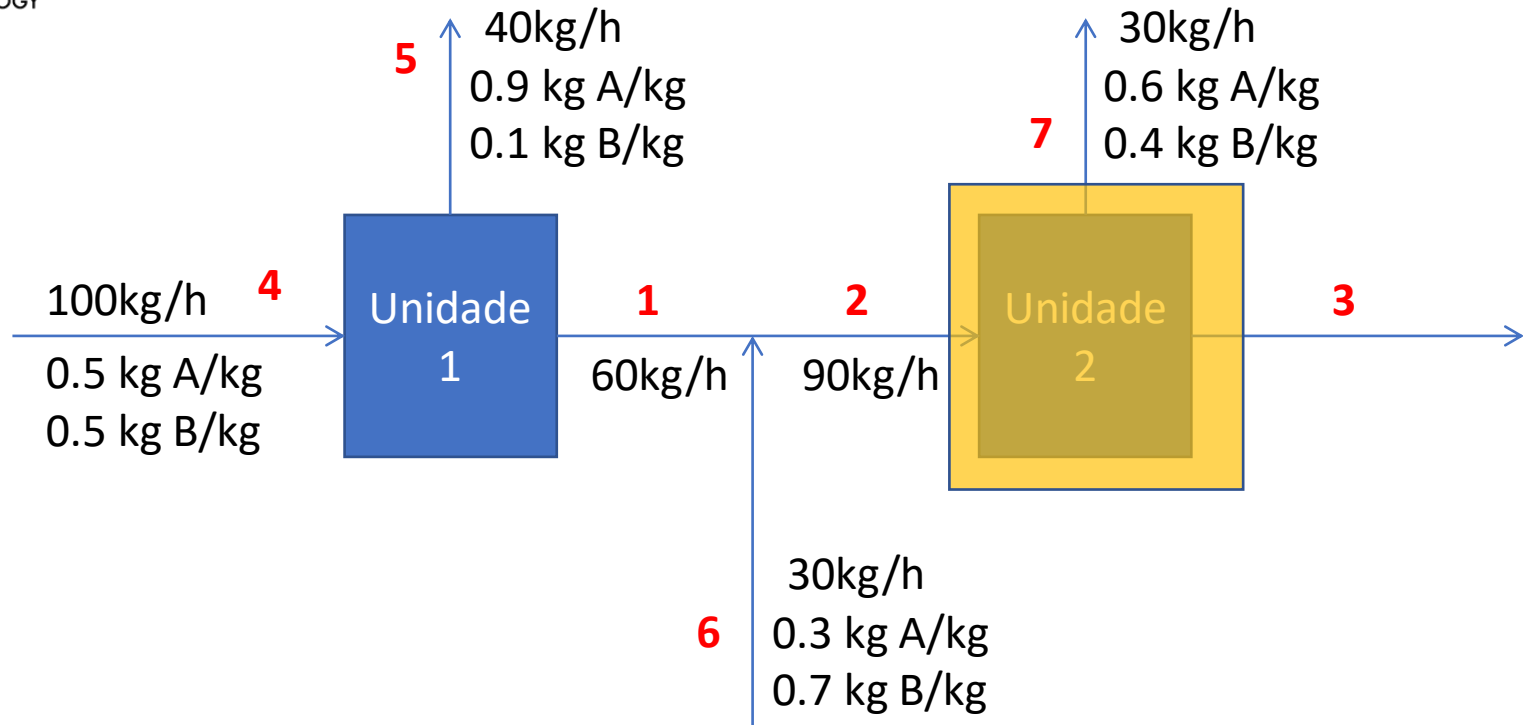


Balanço mássico global ao nó de
adição

$$m_1 + m_6 = m_2$$

$$60 + 30 = m_2$$

$$m_2 = 90 \text{ kg / h}$$



Balanço mássico global à unidade 2:

$$m_2 = m_7 + m_3$$

$$90 = 30 + m_3$$

$$m_3 = 60 \text{ kg / h}$$

E a composição?

BM à espécie A na
Unidade 1

$$X_{A4} m_4 = X_{A5} m_5 + X_{A1} m_1$$

$$0.5 \times 100 = 0.9 \times 40 + X_{A1} \times 60$$

$$X_{A1} = 0.233$$

$$X_{B1} = 0.767$$

BM à espécie A
no Nó de adição

$$X_{A1} m_1 + X_{A6} m_6 = X_{A2} m_2$$

$$0.233 \times 60 + 0.3 \times 30 = X_{A2} \times 90$$

$$X_{A2} = 0.255$$

$$X_{B2} = 0.745$$

BM à espécie A na
Unidade 2

$$X_{A2} m_2 = X_{A7} m_7 + X_{A3} m_3$$

$$0.255 \times 90 = 0.6 \times 30 + X_{A3} \times 60$$

$$X_{A3} = 0.082$$

$$X_{B3} = 0.918$$