

**Aula 00 - Profa.  
Jordana Abreu**

*PETROBRAS (Engenharia de  
Processamento) Conhecimentos  
Específicos*

Autor:  
**Diego Souza, Jordana Silva Abreu**

13 de Março de 2024

## Sumário

Balço de Massa.....	3
Considerações Iniciais .....	3
1 - Processo e variáveis de processo .....	3
1.1 – Massa e Volume .....	4
1.2 – Vazão.....	4
1.3 – Concentração e composição .....	5
1.3.1 – Peso molecular e número de mols.....	5
1.3.2 – Frações molar e mássica.....	7
1.3.3 – Massa molar e média .....	8
1.3.4 – Concentração.....	9
1.4 – Materiais gasosos e líquidos.....	10
1.4.1 – Condições normais de temperatura e pressão (CNTP) .....	12
1.5 – Equilíbrio de fases, uma introdução.....	13
1.5.1 – Equilíbrio de fases de um componente puro.....	13
1.5.1.1 – Diagramas de fase.....	13
1.5.1.1 – Pressão de vapor .....	14
1.5.2 – Sistema gás-líquido com vapor d'água .....	17
1.6 – Umidade absoluta e umidade relativa.....	19
2 - Classificação dos processos.....	22
2.1 – Processos em Batelada .....	22
2.2 – Processos Contínuos.....	22
2.3 – Processos Semi-Contínuos.....	23
2.4 – Estado Estacionário x Transiente.....	23



3 - Equação Geral do Balanço Material .....	23
3.1 – Balanço integral em processos batelada .....	24
3.2 – Balanço integral em processos contínuos .....	24
3.3 – Balanço integral em processos semi-contínuos .....	26
3.4 – Balanço integral em processos contínuos com múltiplas unidades.....	27
3.5 – Reciclo e bypass .....	29
4 – Considerações Finais.....	31
Questões Comentadas .....	32
Lista de Questões.....	41
Gabarito.....	46



# BALANÇO DE MASSA

## Considerações Iniciais

Trataremos agora de um tópico essencial para a Engenharia Química: o balanço material.

Tanto em processos tradicionais, tais como produção de álcool etílico, polietileno, ácido sulfúrico, entre outros, como em áreas mais novas como engenharia ambiental e dos semicondutores, todas esses sistemas têm em comum o fato de transformarem matéria prima em produtos com maior valor agregado.

Na indústria química, não se parte de um ponto a outro sem ter o conhecimento prévio de todas as variáveis envolvidas no processo. Para a obtenção de um produto desejado, numa quantidade projetada (**massa**), deve-se calcular quanta (**massa**) matéria-prima será necessária.

Ao cálculo da quantidade de massa que entra e que sai de um determinado processo é dado o nome de **Balanço de Massa**.

## 1 - Processo e variáveis de processo

Um **processo** é qualquer operação ou série de operações através das quais um objetivo particular é atingido (Felder, 2008). Podemos dizer que a essência do objeto de estudo da Engenharia Química são os processos, estes que causam transformações físicas ou químicas nas substâncias que compõem a matéria prima para obtermos o produto desejado. O material que entra em um processo é chamado de **entrada ou alimentação** do processo, e o material que o deixa é a **saída ou produto**. Veja um diagrama de blocos bem simples como exemplo:



O objetivo deste processo é separar o etanol e a água, observe que alimentamos uma mistura das duas substâncias e temos duas correntes de saídas com nossos produtos refinados.



## 1.1 – Massa e Volume

A **massa específica** (mais conhecida como densidade) de uma substância é a **massa por unidade de volume da substância** ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ). O **volume específico** de uma substância é o **volume ocupado por unidade de massa**; é, portanto, o inverso da densidade. Vejamos suas respectivas definições matemáticas:

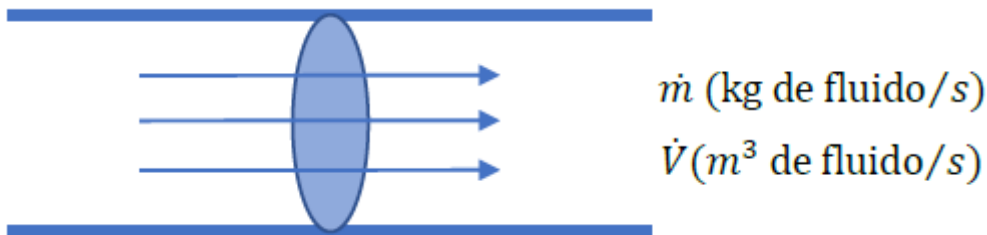
$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$v = \frac{V}{m}$$

## 1.2 – Vazão

A maior parte dos processos envolve o movimento de material de um ponto a outro. A taxa à qual o material é transportado através de uma linha de processo é a **vazão** do material.

A vazão de uma corrente pode ser expressa como **vazão mássica** (massa/tempo) ou como **vazão volumétrica** (volume/tempo). Suponhamos que um fluido (gás ou líquido) flui através da tubulação cilíndrica mostrada a seguir:



Se a vazão mássica do fluido é  $\dot{m} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$ , então a cada segundo  $\dot{m}$  quilogramas do fluido passam através da seção transversal. Se a vazão de um fluido é  $\dot{V} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$ , então a cada segundo  $\dot{V}$  metros cúbicos do fluido passam através da seção transversal a cada segundo. Como é de se imaginar, a massa de um fluido que atravessa essa seção está diretamente relacionada com o volume deste fluido. A relação entre essas duas formas de se medir a vazão é dada por:

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

Expressando as unidades:

$$\frac{\text{massa}}{\text{tempo}} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \times \frac{\text{volume}}{\text{tempo}}$$

Observa-se que a densidade relaciona essas duas quantidades. Ora, nada mais natural, pois a densidade nos permite calcular a massa a partir do volume e vice-versa. Digamos que água escoar por uma torneira a uma vazão de 100 litros por minuto (L/min), sabemos que a densidade da água é de 1 kg/L, logo 100 litros equivalem a 100 quilogramas de água. Portanto a vazão



mássica é de 100 quilogramas por minuto (kg/min).

## 1.3 – Concentração e composição

Nos processos químicos é de suma importância o conhecimento das propriedades físicas e químicas dos materiais que estamos lidando. Estas propriedades dependem fortemente de sua composição. Vejamos então os conceitos que nos permitem expressar a composição de uma mistura.

### 1.3.1 – Peso molecular e número de mols

O **peso atômico** de um elemento é a massa de um átomo, medida em unidade de massa atômica (u), que é definida como 1/12 da massa de um átomo de carbono-12. Em provas de concurso sempre se observa que ou eles fornecem a tabela periódica ou as massas dos elementos necessários são fornecidas como dados da questão. O peso molecular de um composto é a soma dos pesos atômicos dos átomos que constituem a molécula. Por exemplo, o elemento nitrogênio (N) possui massa atômica igual a 14u, logo a molécula do gás nitrogênio (N<sub>2</sub>) possui massa molecular igual a 28u.

Um **mol** de uma espécie é a quantidade desta espécie cuja massa, em gramas, é numericamente igual ao seu peso molecular. Vejamos então o exemplo da água (H<sub>2</sub>O), cujo peso molecular é 18u; logo, 1 mol de água pesará 18 gramas.

Um mol de qualquer espécie contém aproximadamente  $6,022 \cdot 10^{23}$  (o número de Avogadro) moléculas, átomos, íons, etc.

**(FCC 2014 - Engenheiro Químico/SABESP) O mol é a unidade de medida fundamental e amplamente utilizada no preparo de soluções. Um mol representa:**

- (A) uma medida de densidade molecular.
- (B) a unidade padrão de massa atômica de uma molécula ou átomo.
- (C) o número de equivalentes-grama por litro nas condições ideais de pressão e temperatura.
- (D) a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 quilograma de carbono 12.
- (E) uma relação entre massa e volume.

**Resolução:**

A questão exige simplesmente o conceito de mol. Como discutimos anteriormente o carbono-12 foi adotado como referência e possui massa atômica igual a 12 u, logo 1 mol conterá 12 gramas deste carbono (ou 0,012



gramas como descrito na questão). Reforçando: mol é uma grandeza que mede a quantidade de matéria, além disso sua quantidade foi precisamente descrita na assertiva D.

**Gabarito: Letra D)**

Se o peso molecular de uma substância é M, então existem M g/mol ou M kg/kmol desta substância. Este valor M, em gramas por mol (g/mol), é definido como massa molar e é numericamente igual ao peso molecular. Para o mesmo exemplo da água temos que a massa molar dessa substância é igual a 18 g/mol. Portanto, o conceito dessa grandeza é:

A **massa molar** corresponde à massa de um mol de entidades elementares (átomos, moléculas, íons, etc)

Esse conceito é bem básico e você deverá ter já no modo “automático” na resolução de questões, pois em provas como a da Petrobras é certo que você precisará fazer conversões de massa para número de mols (ou o contrário).

Vamos a uma questão de prova bem simples que deve ser resolvida tranquila e rapidamente para ganhar tempo:

**(CESGRANRIO 2012 - Engenheiro de Processamento Júnior/Petrobras) Uma solução aquosa contém bissulfito de sódio, a 316 g/L. Quais são a quantidade em moles e a concentração em mol/L de bissulfito**

**de sódio em 2,5 litros dessa solução?**

- (A) 5 moles e 5 mol/L
- (B) 5 moles e 2,5 mol/L
- (C) 5 moles e 2 mol/L
- (D) 2,5 moles e 5 mol/L
- (E) 2,5 moles e 2 mol/L

**Resolução:**

Em primeiro lugar devemos saber a fórmula molecular do bissulfito de sódio que é NaHSO<sub>3</sub>. Agora calculamos a sua massa molar com base nas massas atômicas fornecidas com a questão:

$$MM = (23 + 1 + 32 + 16 \times 3) \frac{g}{mol} = 104 \text{ g/mol}$$



Com esse dado podemos calcular a concentração em mol/L facilmente:

$$C = \frac{316 \frac{g}{L}}{104 \text{ g/mol}} \cong 3 \text{ mol/L}$$

E o número total de moles na solução:

$$n = 3 \frac{\text{mol}}{L} \times 2,5 L = 7,5 \text{ mol}$$

Essa questão foi ANULADA pela Cesgranrio, causa estranheza pois era muito simples. De toda forma, você pode perceber que com simples conceitos você já pode acertar questões da prova para Engenheiro da Petrobras.

**GABARITO: ANULADA**

### 1.3.2 – Frações molar e mássica

As correntes do processo ocasionalmente contêm apenas uma substância, porém o mais comum é que consistam em misturas de líquidos e gases, ou em soluções de um ou mais componentes em um solvente líquido.

Os seguintes termos podem ser usados para definir a composição de uma mistura de substâncias que inclui a espécie A.

Fração mássica:  $x_A = \frac{\text{massa de A}}{\text{massa total}} \left( \frac{\text{kg A}}{\text{kg total}} \text{ ou } \frac{\text{g A}}{\text{g total}} \right)$

Fração molar:  $y_A = \frac{\text{moles de A}}{\text{moles total}} \left( \frac{\text{kmol A}}{\text{kmol total}} \text{ ou } \frac{\text{mol A}}{\text{mol total}} \right)$

As frações são expressas numericamente por um número de 0 a 1, ou alternativamente em porcentagem, de 0% a 100%. Como é de se esperar, a soma de todas as frações será sempre igual a 1 (ou 100%). Logo, se temos uma mistura com n componentes:

$$x_A + x_B + x_C + \dots + x_n = 1$$

$$y_A + y_B + y_C + \dots + y_n = 1$$





### 1.3.3 – Massa molar e média

Em algumas questões é muito útil o conhecimento do peso molecular médio. Um exemplo bastante abordado é o caso do ar. Como se trata de uma mistura de gases, não existe, a princípio, uma massa molar que possa relacionar a massa com o número de mols. Porém, fazendo uma média ponderada das massas molares dos componentes do ar, chegamos a uma massa molar média capaz de descrever bem essa mistura (o ar). Considere a composição molar aproximada como 79% N<sub>2</sub> e 21% O<sub>2</sub>.

$$\overline{MM} = 0,79 \cdot \left(28 \frac{g}{mol}\right) + 0,21 \cdot \left(32 \frac{g}{mol}\right) = 29 \text{ g/mol}$$

Portanto, a massa molar média do ar é 29 g/mol. A depender da questão você será exigido calcular este dado, em outras ela já é informada para simplificação. Recapitulando: a ideia é bem simples, pense como uma média ponderada das massas molares onde o peso é a própria fração MOLAR (quanto maior o número de mols de um componente na mistura, maior a contribuição da sua massa molar).

$$\overline{MM} = y_A M_A + y_B M_B + y_C M_C + \dots$$

Vejamos uma questão que poderíamos “matar” somente com esse conceito:

**(CESPE 2008 - Engenheiro de Processamento/Petrobras)** Considerando que uma mistura gasosa contenha, em massa, 30% de um gás A e 70% de um gás B, que a massa molar de A seja igual a 30 g/mol e a de B, 210 g/mol, a massa molar média dessa mistura gasosa, em g/mol, será igual a:

- A) 50
- B) 75
- C) 100
- D) 120
- E) 156

**Resolução:**

O problema era o primeiro da prova e apesar de simples exige a atenção. Veja que ele nos fornece a composição do gás em base MÁSSICA, ou seja, não podemos usá-la para calcular diretamente a massa molar média. Mas veja um simples artifício que soluciona o problema: considere como base de cálculo 100 gramas de mistura, então teríamos 30 gramas de A e 70 gramas de B. Agora calculamos o número de mols de cada um dos gases:



$$n_A = \frac{30g}{30g/mol} = 1 \text{ mol}$$

$$n_B = \frac{70g}{210g/mol} = \frac{1}{3} \text{ mol}$$

Agora sim podemos calcular a fração molar:

$$y_A = \frac{1 \text{ mol A}}{4/3 \text{ mol total}} = 3/4$$

$$y_B = \frac{1/3 \text{ mol B}}{4/3 \text{ mol total}} = 1/4$$

Finalmente:

$$\overline{MM} = y_A M_A + y_B M_B = \frac{3}{4} \times \left(30 \frac{g}{mol}\right) + \frac{1}{4} \times \left(210 \frac{g}{mol}\right) = \frac{300}{4} \frac{g}{mol} = 75 \frac{g}{mol}$$

**GABARITO: B**

### 1.3.4 – Concentração

A concentração mássica de um componente em uma mistura ou em uma solução é a massa desse componente por unidade de volume da mistura ( $g/cm^3$ ,  $kg/L$ ). A concentração molar de um componente é o número de moles por unidade de volume da mistura ( $mol/L$ ,  $kmol/m^3$ , etc).

Concentração mássica:  $C_A = \frac{\text{massa de A}}{\text{volume total}}$

Concentração molar:  $M_A = \frac{\text{moles de A}}{\text{volume total}}$



(FCC 2014 - Engenheiro Químico/SABESP) Desejando-se produzir água potável na vazão de  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{minuto}^{-1}$ , contendo uma concentração final de cloro livre de  $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , a vazão necessária de uma solução de hipoclorito de sódio com concentração de cloro livre igual a  $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  para atingir esse objetivo deve ser de:

(A)  $20 \cdot 10^5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

(B)  $20,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

(C)  $2,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

(D)  $500 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

(E)  $5,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

#### Resolução:

Na questão nos foi fornecido a vazão desejada e a concentração de cloro nesta corrente produzida. Podemos então calcular o quanto de cloro está fluindo, ou seja, qual a vazão mássica do cloro:

$$\dot{m}_{\text{cloro}} = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times 1,0 \frac{\text{mg cloro}}{\text{L}} \times 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} = 100.000 \frac{\text{mg cloro}}{\text{min}} = 100 \frac{\text{g cloro}}{\text{min}}$$

Agora sabemos que precisamos de uma quantidade de cloro suficiente para atingir essa vazão de 100 gramas por minuto. Para tanto, precisamos de referida solução concentrada de hipoclorito de sódio com a seguinte vazão:

$$\dot{V} = \frac{100 \text{ g cloro/min}}{50 \text{ g cloro/L}} = 2 \text{ L/min}$$

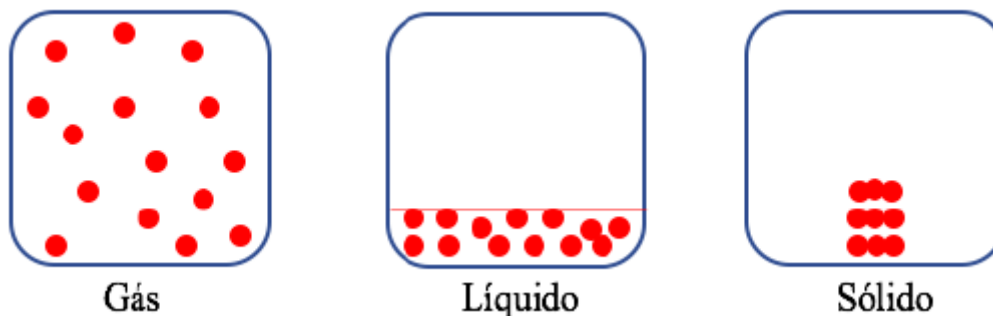
**GABARITO: C**

## 1.4 – Materiais gasosos e líquidos

Gases, líquidos e sólidos são todos feitos de átomos, moléculas e/ou íons, mas o comportamento dessas partículas pode ser diferenciado nessas três diferentes fases.

Veja uma figura bem simples que mostra as diferenças microscópicas entre esses estados:





Perceba que as partículas de um:

- Gás estão bem separadas com nenhum arranjo regular.
- Líquido estão bem próximas, mas ainda sem um arranjo regular.
- Sólido estão bem mais comprimidas e geralmente seguem um padrão regular.

**Gases** são formados por um número muito grande de moléculas e suas propriedades são consequência do comportamento dessas partículas. Quando, por exemplo, fazemos uso de uma bomba de bicicleta, podemos ver que o ar é compressível, isto é, que ele pode ser confinado em um volume menor do que o volume original. A observação de que os gases são mais compressíveis do que sólidos e líquidos sugere que existe muito espaço livre entre as moléculas dos gases.

Os **líquidos** existem em consequência das forças intermoleculares. Essas forças também determinam as suas propriedades físicas. Quando imaginamos um líquido, podemos pensar em um conjunto de moléculas que trocam constantemente de lugar com suas vizinhas. Estudaremos gases e líquidos com maior profundidade ao longo do curso, a função deste tópico bem introdutório é esclarecer alguns conceitos que serão abordados a seguir. Para finalizar vou por aqui uma tabela com as principais características destas fases e a explicação microscópica para tais:

<b>Gás</b>	<b>Líquido</b>	<b>Sólido</b>
Assume a forma e volume do seu recipiente Partículas se movem umas pelas outras	Assume parte da forma do recipiente o qual ocupa Partículas se movem/escorregam umas pelas outras	Possui forma e volume fixos Partículas rígidas e geralmente presas dentro de um arranjo cristalino
Compressível Muito espaço livre entre partículas	Baixa compressibilidade Pequeno espaço livre entre partículas	Baixíssima compressibilidade Pequeno espaço livre entre partículas
Flui facilmente Partículas se movem umas pelas outras	Flui facilmente Partículas se movem/escorregam umas pelas outras	Não fluem Partículas rígidas que não se movem/escorregam umas pelas outras



## 1.4.1 – Condições normais de temperatura e pressão (CNTP)

Se fixarmos uma temperatura e uma pressão podemos determinar o volume ocupado por qualquer gás de comportamento ideal nessas condições. Com o intuito de simplificar os cálculos de gases em condições atmosféricas foram definidas as **condições normais de temperatura e pressão (CNTP)**, caracterizada pela condição experimental com temperatura de 273,15 K (0 °C) e pressão de 101 325 Pa (101,325 kPa = 1,01325 bar = 1 atm = 760 mmHg).

Qualquer gás ideal nas CNTP ocupara um volume molar igual a 22,4 L/mol. Ou seja: 1 mol de gás ideal ocupa 22,4L.

**(CESGRANRIO 2012 - Engenheiro de Processamento Júnior/Petrobras)** Um reservatório, nas CNTP, contém 220 g de propano. O volume, em litros, desse reservatório, e a massa, em gramas, de metano que pode ser nele armazenado nas mesmas condições, ou seja, nas CNTP, são, respectivamente,

- (A) 56 e 40
- (B) 56 e 80
- (C) 112 e 40
- (D) 112 e 80
- (E) 220 e 110

**Resolução:**

Primeiro vamos calcular quantos mols correspondem a essa quantidade de propano ( $C_3H_8$ ):

$$MM_{\text{propano}} = 3 \times (12) + 8 \times (1) = 44 \frac{g}{mol}$$

$$n_{\text{propano}} = \frac{220 g}{44 g/mol} = 5 \text{ mols}$$

Considerando que nas CNTP 1 mol ocupa 22,4 litros:

$$V = 22,4 \frac{L}{mol} \times 5 \text{ mol} = 112 L$$

Já temos a primeira resposta para a questão. Como estamos admitindo que o comportamento dos gases é ideal, 5 mols de qualquer substância ocupam o mesmo volume, logo nos resta calcular quanto pesa 5 mols de metano:



$$MM_{\text{metano}} = 12 + 4 \times (1) = 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$m_{\text{metano}} = 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 5 \text{ mol} = 80 \text{ g}$$

GABARITO: D

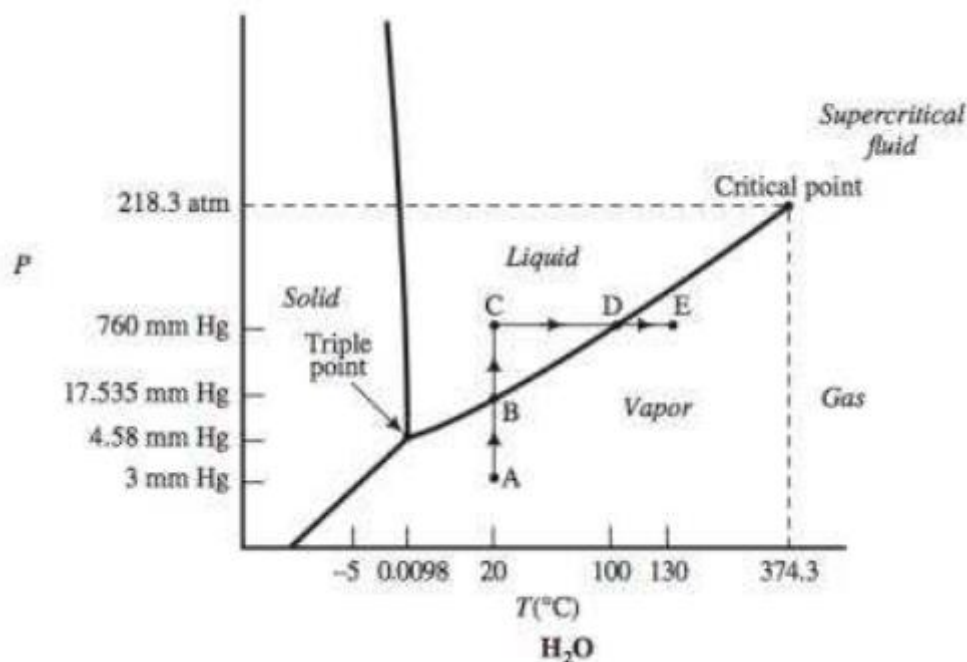
## 1.5 – Equilíbrio de fases, uma introdução

### 1.5.1 – Equilíbrio de fases de um componente puro

#### 1.5.1.1 – Diagramas de fase

Usualmente uma substância pura no equilíbrio existe inteiramente como um sólido, um líquido ou um gás; mas a certas temperaturas e pressões, duas ou mesmo três fases podem coexistir. Por exemplo, água pura é um vapor a 20°C e 3 mmHg e um líquido a 20°C e 760 mmHg, mas a 100°C e 760 mmHg pode ser um vapor, um líquido ou uma mistura dos dois. Na particular temperatura de 0,0098°C e pressão de 4,58 mmHg temos o ponto triplo da água, no qual sólido, líquido e gás podem coexistir.

Expressamos graficamente as fases que uma substância pode assumir a depender das variáveis do sistema através de **diagramas de fase**. O mais comum de todos e o que trabalharemos neste tópico introdutório é o gráfico pressão versus temperatura. Vejamos o diagrama de fases da água (Felder, 2008):



As fronteiras (linhas) entre duas fases representam pressões e temperaturas nas quais duas fases podem existir. Por exemplo, a linha que vai do “**ponto triplo**” até o “**ponto crítico**” representa as condições nas quais o equilíbrio líquido-vapor existe, pois esta linha está exatamente entre as fases líquido e vapor.



Conforme descreve Felder em seu livro, vários termos familiares podem ser definidos em referência ao diagrama de fases:

1. Para cada coordenada (T, P) que se encontra sobre a curva de equilíbrio líquido-vapor para uma determinada substância, P é a **pressão de vapor** da substância a temperatura T, e T é o **ponto de ebulição** da substância a pressão P.
2. O **ponto de ebulição normal** da substância é o ponto de ebulição para P=1 atm.
3. O **ponto de fusão ou ponto congelamento**, à uma pressão P, é a temperatura T da coordenada (T,P) que cai sobre a curva do equilíbrio sólido-líquido.
4. O **ponto de sublimação**, à uma pressão P, é a temperatura T da coordenada (T,P) que cai sobre a curva do equilíbrio sólido-vapor.
5. O **ponto triplo** é aquele no qual as fases sólida, líquida e vapor podem coexistir.
6. O **ponto crítico** se localiza ao final da curva do equilíbrio líquido-vapor.

Se a temperatura e pressão forem maiores do que nesse ponto a substância terá um comportamento denominado de **supercrítico**. Nele não temos duas fases, mas sim apenas uma com comportamento misto entre líquido e gás.

### 1.5.1.1 – Pressão de vapor

A pressão de vapor de uma espécie pode ser entendida como uma medida da volatilidade<sup>2</sup> de uma substância. Para uma dada temperatura T, quanto maior a pressão de vapor maior é a volatilidade da substância. Existem muitos processos na indústria que utilizam a diferença de volatilidade (ou pressão de vapor) das substâncias para separá-las. Um exemplo seria a destilação. Imaginamos então que é fundamental sabermos as pressões de vapor das substâncias. Como elas são obtidas na prática? As mais conhecidas têm valor tabelado, porém todas as outras precisam ser estimadas por meio de correlações empíricas.

Entretanto há uma relação analítica para substâncias puras, a **equação de Clapeyron**. Ela é capaz de relacionar  $p_i^*$ , a pressão de vapor da substância  $i$ , com T, a temperatura absoluta:

**Equação de Clapeyron:**

$$\frac{dp_i^*}{dT} = \frac{\Delta\hat{H}_V}{T(\hat{V}_g - \hat{V}_l)}$$

Onde  $\hat{V}_g$  e  $\hat{V}_l$  são os volumes molares específicos (volume/mol) do gás e do líquido, respectivamente. Já  $\Delta\hat{H}_V$  é o **calor latente de vaporização**, a energia necessária para vaporizar 1 mol de líquido.

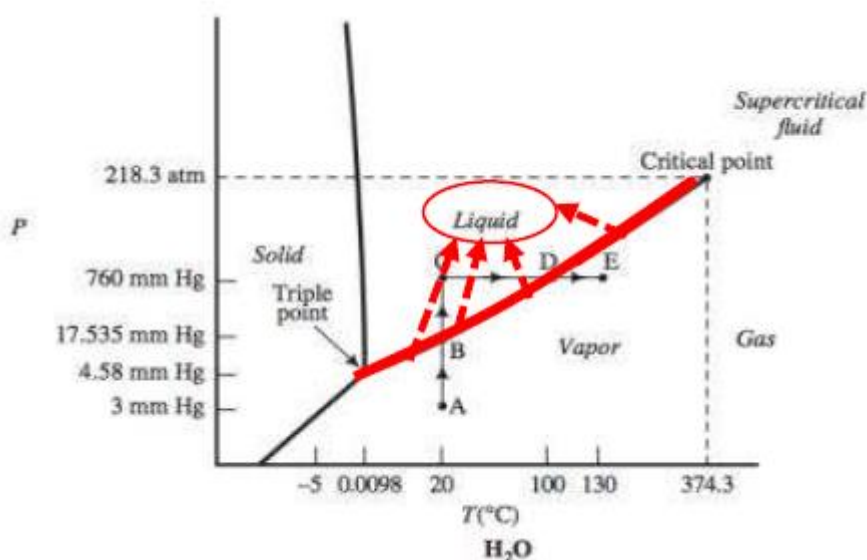
(CESGRANRIO 2010 - Engenheiro de Processamento Júnior/Petrobras) Em relação à pressão de vapor de um líquido, é INCORRETO afirmar que



- (A) A pressão de vapor de um líquido aumenta linearmente com o aumento da temperatura.
- (B) a curva de pressão de vapor relaciona pressão a temperatura, sendo que, em qualquer ponto acima da curva, existem duas fases, líquido e vapor.
- (C) a pressão de vapor pode ser estimada por meio de equações empíricas.
- (D) a Equação de Clapeyron estabelece uma relação termodinâmica entre pressão de vapor e entalpia de vaporização de uma substância pura.
- (E) um líquido puro entra em ebulição, em dada temperatura, quando sua pressão de vapor é igual à pressão à qual está submetido.

#### Resolução:

- A) INCORRETA: pela equação de Clapeyron constatamos que a dependência da pressão de vapor com a temperatura não é linear, logo a afirmativa está errada e foi o gabarito preliminar da questão.
- B) INCORRETA: quando estudamos o digrama de fases vimos que na curva da pressão de vapor podem existir duas fases, mas acima dela temos SOMENTE a fase líquida:

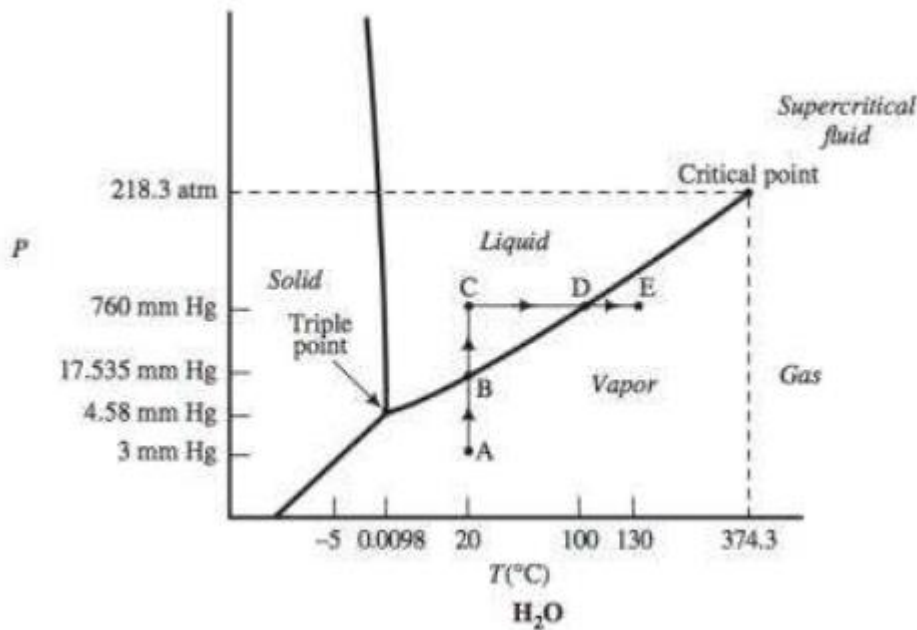


- C) CORRETA: conforme afirmamos é comum o uso de equações empíricas para estimativas.
- D) CORRETA: perfeitamente! Foi como observamos na definição da equação.
- E) CORRETA: exato. Digamos que temos água pura a 20°C e 1 atm (760 mmHg) e começamos a aumentar a temperatura, aumentando assim a sua pressão de vapor também. No momento em que essa pressão de vapor igualar a pressão externa teremos o início da ebulição, o que acontece a 100°C e 1 atm (760 mmHg).

No gráfico a seguir, isso seria equivalente a começar no ponto C e aquecer até o ponto D







A questão foi posteriormente anulada, pois tanto (A) como (B) estão incorretas, logo:

**GABARITO: ANULADA**

Vale o destaque para a equação empírica mais famosa e que cai em provas de concurso: a **equação de Antoine**. Ela correlaciona muito bem dados de pressão de vapor com a temperatura:

$$\log_{10} p^* = A - \frac{B}{T + C}$$

Os valores de A, B e C são tabelados de acordo com o componente.

(CESGRANRIO 2008 – Engenheiro de Processamento Júnior/Petrobras) Considerando que a equação que relaciona a pressão de vapor “P” de uma substância pura com a temperatura “T” seja dada por:

$$\log(P) = A - \frac{B}{T+C},$$

em que A = 2, B = 1.000, C = 200; T está em kelvin e P, em atmosfera, a temperatura normal de ebulição dessa substância, em kelvins, será igual a

- (A) 100
- (B) 200
- (C) 300
- (D) 400



(E) 500

**Resolução:**

Questão de rápida resolução! Vamos só aplicar a equação e lembrar a temperatura de ebulição é aquela que proporciona uma pressão de vapor igual a pressão à qual a substância está submetida. O ponto de ebulição normal é a temperatura de ebulição para  $P = 1 \text{ atm}$ .

$$\log_{10} 1 = 2 - \frac{1000}{T + 200}$$

$$0 = 2 - \frac{1000}{T + 200}$$

$$1000 = 2 \cdot (T + 200)$$

$$T = 500 - 200 = 300 \text{ K}$$

**GABARITO: C**

## 1.5.2 – Sistema gás-líquido com vapor d'água

É muito comum em processos industriais a transferência de água da fase vapor para a fase líquida, tais como **evaporação, secagem e umidificação**. Ou o contrário, com transferência da fase líquida para a fase sólida, como **condensação e desumidificação**. Portanto o estudo desse sistema gás líquido no qual a água é um dos componentes é de fundamental importância e corriqueiramente cobrado em concursos.

Vamos exemplificar para esclarecermos alguns conceitos: suponha que temos uma garrafa cheia de água e vamos colocá-la em uma câmara que inicialmente contém apenas ar seco, e que temperatura e pressão do sistema são mantidas constantes a  $75 \text{ °C}$  e  $760 \text{ mmHg}$  (pressão atmosférica). No começo a fase gasosa não apresenta vapor d' água e a pressão parcial da água é igual a 0 ( $p_{H_2O} = 0$ ). Porém, com o tempo, as moléculas d' água começam a evaporar, ou seja, elas saem do líquido e migram para a fase gasosa. Agora teremos  $p_{H_2O} = y_{H_2O}P$ , isto é: a pressão parcial da água é igual a fração molar de água na fase vapor vezes a pressão total do sistema. Progressivamente a fase vapor vai acumulando vapor d'água até um ponto em que não há mais mudança na composição das fases, de forma que se atinge o equilíbrio. Dizemos então que a fase vapor está **saturada** com água – esta fase contém toda a água que pode manter na temperatura e pressão do sistema.

Chamamos de **vapor saturado** a água presente nessa fase gasosa.

Agora vamos à prática: muitas questões exigem que saibamos relacionar a pressão de vapor da água ( $p_{H_2O}^*$ ) com a sua composição na fase gasosa ( $y_{H_2O}$ ).

Como é de se esperar, quanto mais água tivermos na fase gasosa maior será



a pressão de vapor e a Lei de Raoult nos fornece essa relação:

### Lei de Raoult, uma única espécie na fase líquida:

$$p_i = y_i \cdot P = p_i^*(T)$$

Estudaremos melhor o equilíbrio líquido-vapor no tópico Termodinâmica, mas é conveniente introduzir aqui este caso particular da lei Raoult no qual temos apenas uma espécie capaz de condensar (existir na fase líquida), no caso exemplificado essa espécie é a água:

$$p_{H_2O} = y_{H_2O} \cdot P = p_{H_2O}^*(T)$$

(CESGRANRIO 2006 - Engenheiro de Processamento Júnior/Petrobras) Ar e água líquida estão em equilíbrio em um recipiente fechado a 75 °C e 760 mmHg. Sabendo que a pressão de vapor da água (75 °C e 760 mmHg) = 289 mmHg, a composição molar da fase gasosa é:

	AR	ÁGUA
(A)	24%	76%
(B)	38%	62%
(C)	50%	50%
(D)	62%	38%
(E)	76%	24%

#### Resolução:

Veja que o caso traz as mesmas condições que utilizamos como exemplo (75 °C e 760 mmHg). O problema informa que ar e água estão em equilíbrio, isto é: nessas condições a fase vapor está saturada com água.

Além disso informa que:

$$p_{H_2O}^*(75 \text{ °C}) = 289 \text{ mmHg}$$



Como a água é o único componente na fase líquida podemos aplicar o caso limite da Lei de Raoult que descrevemos anteriormente:

$$y_{H_2O} \cdot P = p_{H_2O}^*(75^\circ C)$$
$$y_{H_2O} = \frac{289 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} = 0,38$$

O complemento dessa fração é 0,62 (para atingirmos um total de 1,00 ou 100%). Logo:

$$y_{Ar} = 0,62$$

## 1.6 – Umidade absoluta e umidade relativa

O conceito de umidade faz parte do senso comum. O tempo pode estar úmido, assim como o chão pode estar úmido. A ideia de que os objetos e as substâncias possam conter mais ou menos água é natural. É esta a ideia de umidade - o quanto há de água em determinada substância ou material.

Com o ar não é diferente. O ar é uma mistura de gases e inclui quantidades variáveis de água em estado de vapor. O ar seco, isento de água, é composto por gases em porcentagens diversas: nitrogênio (N<sub>2</sub>) - aproximadamente 78% -, seguido de oxigênio (O<sub>2</sub>) - aproximadamente 21% -, e argônio (Ar) - cerca de 1% -, além de outros gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), neon (Ne), metano (CH<sub>4</sub>) em quantidades menores.

Vamos entender como a água, ou mais especificamente o vapor d' água, comporta-se na atmosfera. Por exemplo, ao passearmos à beira de um lago ou de uma represa no fim da tarde, quando a temperatura baixou repentinamente, normalmente nos deparamos com a neblina. Como se explica esse fenômeno?

Com o nascer do sol e com o passar do dia, a temperatura tende a aumentar e, ao fim do dia, diminuir. Este fato é bastante importante, pois a quantidade de vapor de água que o ar pode conter aumenta com a temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de água possível no ar.

Mas há limites para essa quantidade. Há um ponto de saturação, ou seja, a quantidade máxima de vapor d'água que o ar pode conter em determinada temperatura. As unidades utilizadas são pressão relativa de vapor de água, em relação massa/massa (gramas de vapor d' água por kg de ar) ou ainda massa/volume (gramas de vapor d'água por metros cúbicos de ar). De qualquer modo elas demonstram o quanto de água o ar pode conter. Este valor limite é chamado de Ponto de Orvalho (Dew Point, em inglês).

Para entendermos a situação da formação da neblina, vamos atribuir valores ao exemplo acima. Imaginem um dia quente, com a temperatura próxima a 30°C, e a quantidade de vapor d' água a beira do lago estivesse bem próxima do limite de saturação, do ponto de orvalho. A 30°C o valor é cerca de 30 g/m<sup>3</sup>. Agora imaginemos que a temperatura diminuísse em 5°C, sendo que para a temperatura de 25°C o ponto de orvalho de 23 g/m<sup>3</sup>. A diferença de aproximadamente 7 g/m<sup>3</sup> de vapor d' água que estava no ar, não “cabe” mais, ou seja, o ar não consegue retê-la. O vapor então se condensa em minúsculas gotículas de água líquida que fica suspensa no ar formando a neblina.

Para descrever o estado e a composição desse sistema ar-água adotamos parâmetros como umidade absoluta e umidade relativa.



Há formas de medir a quantidade de vapor d' água em determinada quantidade de ar em um momento específico. Esse valor é a umidade absoluta do ar, o que nos fornece a informação de quanto de vapor d'água há.

A **umidade absoluta** é definida como a razão da massa de vapor de água ( $m_{\text{água}}$ ) por quilograma de ar seco ( $m_{\text{ar seco}}$ ):

$$UA = \frac{\text{massa de vapor}}{\text{massa de gás seco}}$$

Essa equação também pode ser expressa em termos da pressão parcial da água:

$$UA = \frac{p_i M_i}{(P - p_i) M_{\text{seco}}}$$

Onde  $p_i$ : pressão parcial do vapor de água

$M_i$ : peso molecular do vapor

$M_{\text{seco}}$ : peso molecular médio do gás seco (livre do vapor de água)

Observe a diferença ( $P - p_i$ ) corresponde a pressão parcial do vapor seco. Ou seja, no numerador temos a “contribuição” do vapor d' água em base mássica e no denominador a “contribuição” do gás seco também em base mássica. Veja aqui a dedução desta equação:

$$UA = \frac{m_i}{m_{\text{seco}}} = \frac{n_i M_i}{n_{\text{seco}} M_{\text{seco}}} = \frac{n_{\text{total}} x_i M_i}{n_{\text{total}} x_{\text{seco}} M_{\text{seco}}}$$

Multiplicando pela pressão total do sistema e “cortando” o número de mols total:

$$UA = \frac{\cancel{n_{\text{total}}} x_i M_i}{\cancel{n_{\text{total}}} x_{\text{seco}} M_{\text{seco}}} \times \frac{P}{P}$$

$$UA = \frac{p_i M_i}{p_{\text{seco}} M_{\text{seco}}} = \frac{p_i M_i}{(P - p_i) M_{\text{seco}}}$$

A **umidade relativa** é definida como a razão entre a quantidade de água presente em uma determinada porção da atmosfera (pressão parcial de vapor de água) e a quantidade total de vapor de água que a atmosfera pode suportar em uma determinada temperatura (pressão de vapor da água nesta específica temperatura).



A umidade relativa é expressa como fração (%) e é calculada da seguinte maneira:

$$UR = \frac{p_i}{p_i^*(T)} \times 100\%$$

Onde  $p_i$ : pressão parcial do vapor de água

$p_i^*(T)$ : pressão de vapor na temperatura T

Por exemplo, uma umidade relativa de 50% significa que a pressão parcial do vapor de água é igual a metade (5/10) da pressão de vapor da água na temperatura específica em que o sistema se encontra, ou seja, a quantidade de vapor de água presente é igual a metade daquela que o ar consegue suportar numa dada temperatura.

Vejamos como esse assunto já foi cobrado em provas anteriores:

(CESGRANRIO 2011 - Engenheiro de Processamento /Transpetro) Uma corrente de ar com umidade relativa igual a 60% entra em um desumidificador, de onde sai com umidade relativa igual a 40%. Se o desumidificador opera a pressão e temperatura constantes, a razão entre a pressão parcial do vapor d' água na saída e a pressão parcial do vapor d' água na entrada é, aproximadamente, igual a

- (A) 0,50
- (B) 0,67
- (C) 1,50
- (D) 2,00
- (E) 2,40

**Resolução:**

Se o desumidificador opera a pressão e temperatura constantes a pressão de vapor da água na temperatura T será constante:  $p_i^*(T) = \text{constante}$ .

São dados da questão:



$$UR_{entrada} = \frac{P_{entrada}}{p_i^*(T)} \times 100\% = 60\%$$

$$UR_{saída} = \frac{P_{saída}}{p_i^*(T)} \times 100\% = 40\%$$

Dividindo a segunda equação pela primeira:

$$\frac{\frac{P_{saída}}{p_i^*(T)} \times 100\%}{\frac{P_{entrada}}{p_i^*(T)} \times 100\%} = \frac{40\%}{60\%}$$

$$\frac{P_{saída}}{P_{entrada}} = \frac{4}{6} = 0,67$$

**GABARITO: B**

## 2 - Classificação dos processos

Os processos químicos são, em geral, classificados como **batelada, contínuos ou semi-contínuos**. Além dessa classificação, existe o conceito de **estado estacionário e transiente**.

### 2.1 – Processos em Batelada

A quantidade alimentada ao sistema é colocada em um recipiente (reator, vaso, cilindro, etc.) no início do processo. Após determinado tempo, a massa processada é retirada do recipiente. Normalmente, os processos em batelada envolvem reações, onde são adicionados reagentes a um reator batelada e, em seguida, são retirados os produtos da reação para uma futura separação.

Com isso, podemos dizer que **nenhum material ultrapassa as fronteiras do sistema**.

### 2.2 – Processos Contínuos

Diferentemente dos processos em batelada, os processos contínuos possuem quantidade de matéria fluindo pelas fronteiras do sistema. O que isso significa? Significa, caro aluno, que um **processo contínuo possui vazões de entrada e saída** do sistema. Esse tipo de processo é o que mais acontece em indústrias de larga escala.



## 2.3 – Processos Semi-Contínuos

Esse tipo de processo é um meio termo entre os processos em batelada e os processos contínuos. São processos que possuem corrente de entrada e/ou corrente de saída com variação de acúmulo ao longo do tempo.

## 2.4 – Estado Estacionário x Transiente

Se os valores de todas as variáveis (M: temperatura, pressão, vazão, volume, etc) de um determinado processo não sofrerem alterações ao longo do tempo ( $dM/dt = 0$ ), este processo está ocorrendo em **regime estacionário**. Do contrário, se pelo menos uma variável sofrer alteração ao longo do tempo, esse regime é **transiente**.

Os processos contínuos operam, por natureza, em estado estacionário. Os processos em batelada e semi-contínuos operam em regime transiente.

# 3 - Equação Geral do Balanço Material

Pela lei de Lavoisier da conservação da massa, podemos enunciar a equação do balanço material como se segue:

$$\text{Acúmulo} = \text{Entrada} + \text{Geração} - \text{Saída} - \text{Consumo}$$

Vamos à descrição de cada termo da equação:

**Entrada:** vazões que atravessam a fronteira do sistema antes que determinada quantidade seja processada;

**Geração:** quantidade de massa gerada (produtos) em determinada reação;

**Saída:** vazões que atravessam a fronteira do sistema após o processamento de determinada carga que foi alimentada na entrada;

**Consumo:** quantidade de massa que reagiu; e

**Acúmulo:** é a quantidade de matéria que restou dentro do sistema.

O balanço material pode ser escrito de duas formas, como uma função das taxas de entrada/saída e taxas de reação (geração/consumo), e como essas mesmas quantidades em um determinado intervalo de tempo. Ao primeiro tipo de balanço é dado o nome de **diferencial**. Ao segundo é dado o nome de **integral**.

**Balanço Diferencial:**  $\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{\text{entrada}} + \dot{G} - \dot{m}_{\text{saída}} - \dot{C}$ , acostume-se com esse ponto (.) em cima das letras, representa vazões e taxas.

**Balanço Integral:** igual ao que descrevemos na equação geral, são quantidades de matéria absolutas, não taxas.





### 3.1 – Balanço integral em processos batelada

Para processos batelada, não há vazões de entrada e saída, apenas os termos de geração, consumo e acúmulo:

$$\text{Acúmulo} = \text{Geração} - \text{Consumo}$$



**(INÉDITA)** Um reagente A é alimentado a um reator batelada na quantidade de 10 kg. O objetivo desse processo é transformar A em um produto B. Em um dado instante, A havia sido consumido em 30%. Nesse instante, qual era o acúmulo no reator e dos componentes A e B? Em instantes subsequentes, o acúmulo do reator se altera?

#### Comentários:

Caro aluno, esse é um exercício para você consolidar esse assunto. Vamos fazer um balanço global para o reator e balanços para os componente A e B:

#### Balanço Global:

$$A = G - C;$$

Ora, antes de ser dado início à reação, já havia um acúmulo de A no reator, no valor de 10 kg. Este valor de acúmulo é o mesmo em qualquer instantes, já que respeita a lei de conservação da massa de Lavoisier.

#### Balanço de A:

No início, A tinha um acúmulo de 10 kg. No instante requerido, A foi consumido em 30%, ou seja, teve um consumo de 3 kg. O atual acúmulo de A é, portanto,  $10 - 3 \text{ kg} = 7 \text{ kg}$ .

#### Balanço de B:

B teve uma geração de 3 kg. A equação fica assim:  $A = G = 3 \text{ kg}$ .

### 3.2 – Balanço integral em processos contínuos

Para processos contínuos não há o termo de acúmulo, a quantidade de matéria que entra pela fronteira do sistema é igual à quantidade de matéria que sai:

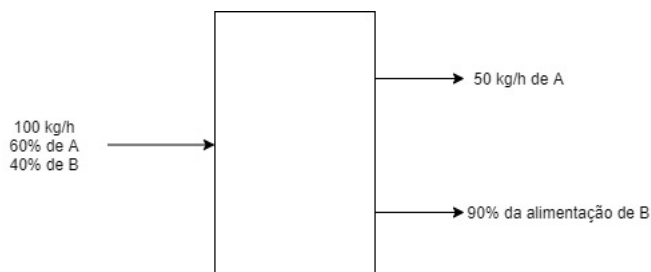
$$\text{Entrada} + \text{Geração} = \text{Saída} + \text{Consumo}$$



(INÉDITA) Uma mistura de 100 kg/h contendo 60 % de A e o restante de B é alimentada a uma torre de destilação. Na corrente de topo A é retirado a uma taxa de 50 kg/h. 90 % de B é retirado pela corrente de fundo. Calcule a vazão mássica de A e B em todas as correntes (entrada, fundo e topo).

#### Comentários:

A melhor forma de resolver esse tipo de problema é desenhando um fluxograma, como se segue:



Vamos escrever três balanços, balanço global, de A e B:

Balanço Global:

A alimentação será designada como A, o topo será designado como T e o fundo como F.

$$A = T + F;$$

100 kg/h = T + F. Por enquanto, essa é a única informação que temos.

Balanço de A:

Para encontrarmos as quantidades de A em cada corrente, basta multiplicarmos sua fração pela corrente total.

$$0,6 \times A = 50 \text{ kg/h} + m(\text{A no fundo});$$

$$0,6 \times 100 = 50 + m(\text{A no fundo});$$

$$m(\text{A no fundo}) = 60 - 50;$$

$$m(\text{A no fundo}) = 10 \text{ kg/h.}$$

Balanço de B:

Primeiro vamos calcular a vazão mássica de B no fundo, pois já temos uma informação importante de quanto foi recuperado nessa corrente.

$$m(\text{B no fundo}) = 0,9 \times m(\text{B na alimentação});$$

$$m(\text{B na alimentação}) = 0,4 \times A = 0,4 \times 100 = 40 \text{ kg/h};$$

$$m(\text{B no fundo}) = 0,9 \times 40 = 36 \text{ kg/h.}$$

Para encontrarmos o valor de B no topo, basta efetuarmos o cálculo do balanço:

$$m(\text{B na alimentação}) = m(\text{B no fundo}) + m(\text{B no topo});$$

$$40 \text{ kg/h} = 36 \text{ kg/h} + m(\text{B no topo});$$

$$m(\text{B no topo}) = 40 - 36;$$

$$m(\text{B no topo}) = 4 \text{ kg/h.}$$



Agora, podemos voltar ao balanço global, pois já temos o valor de todas as correntes de interesse:

$$T = m(\text{A no topo}) + m(\text{B no topo});$$

$$T = 50 + 4;$$

$$T = 54 \text{ kg/h.}$$

$$A = T + F;$$

$$100 = 54 + F;$$

$$F = 46 \text{ kg/h.}$$

### 3.3 – Balanço integral em processos semi-contínuos

Apesar de balanços integrais não possuírem a variável tempo nas suas equações, é possível determinar o tempo. Questões envolvendo balanço material em processos semi-contínuos, normalmente, solicitam a variável tempo. Vamos a um exemplo:



**(INÉDITA)** 100 kg/h de água são alimentados a um vaso de pressão. A corrente de saída desse vaso é de 40 kg/h. Sabendo que a massa específica da água é de 1000 kg/m<sup>3</sup>, em quanto tempo o vaso terá atingido 3 m<sup>3</sup>?

#### Comentários:

A questão fornece dados de vazão mássica, mas pede o tempo em função de um dado de volume. Para esse tipo de questão, o ideal é que se converta as vazões mássicas em vazões volumétricas. Vamos ao cálculo:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Cálculo da vazão volumétrica de entrada:

$$V(\text{entrada}) = m(\text{entrada}) / \rho;$$

$$V(\text{entrada}) = 100 / 1000;$$

$$V(\text{entrada}) = 0,1 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Cálculo da vazão volumétrica de saída:

$$V(\text{saída}) = m(\text{saída}) / \rho;$$

$$V(\text{saída}) = 40 / 1000;$$

$$V(\text{saída}) = 0,04 \text{ m}^3/\text{h.}$$



De posse das variáveis de interesse, vamos escrever a equação do balanço material volumétrico. Observe que a vazão de entrada é maior que a vazão de saída, logo está havendo acúmulo positivo:

Acúmulo = Entrada - Saída;

$A = V(\text{entrada}) - V(\text{saída});$

$A = 0,1 - 0,04;$

$A = 0,06 \text{ m}^3/\text{h}.$

Agora ficou fácil calcular o tempo que leva para o tanque encher. Segue aqui a regra de ouro:

$$\text{Taxa de Acúmulo} = \frac{\text{Quantidade de matéria (massa, mol, volume)}}{\text{tempo (h, s, min)}}$$

Para nossa questão, temos:

$0,06 \text{ m}^3/\text{h} = 3 \text{ m}^3 / t;$

$t = 3 / 0,06;$

**$t = 50 \text{ horas}.$**

### 3.4 – Balanço integral em processos contínuos com múltiplas unidades

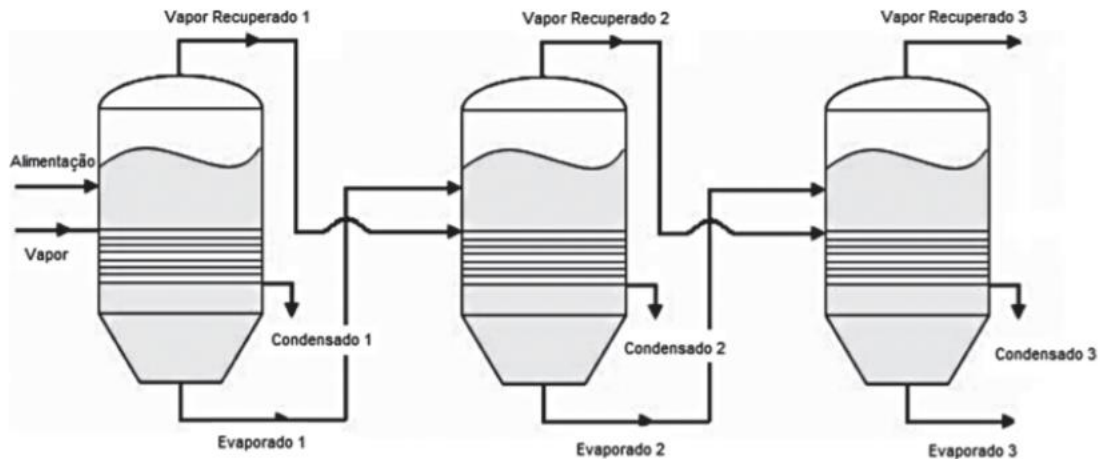
Na indústria química, raramente, os processos ocorrem em unidades separadas. Na maioria das vezes, várias unidades são integradas. Por exemplo, na produção de cerveja, há o reator de fermentação, há torres de destilação, separadores em geral, todos integrados visando sair de uma matéria prima e chegar a um produto específico. Acostume-se, pois na maioria das questões, haverá duas ou mais unidades para cálculo do balanço material.

Vejamos como já foi cobrado em prova:



**(CESGRANRIO - 2012 - Petrobras - Engenheiro de Processamento Júnior-2012) Para efetuar a concentração de melão de cana, para fins de fermentação alcoólica, efetua-se um processo de eliminação de água por evaporação, como ilustrado na figura. O processo é alimentado com 20.000 kg/h de uma solução com 15% de açúcares e, no primeiro estágio, utilizam-se 2.000 kg/h de vapor, sendo a razão entre os vapores recuperados de 2:2:1.**





Se a solução na saída contém 40% de açúcares, então o total de vapor recuperado e o volume de solução final, ambos em kg/h, são, respectivamente,

- A) 2.500 e 7.500
- B) 2.500 e 1.200
- C) 5.000 e 5.000
- D) 12.500 e 7.500
- E) 12.500 e 1.200

#### Comentários:

Observe que há 3 unidades nessa figura. **Sempre que a questão cobrar multi-estágios, você deverá efetuar primeiro um balanço global colocando todas as unidades como se fossem uma só. Apenas depois você deverá fazer o balanço material em cada unidade.** Em muitas questões, como nessa, será possível encontrar a resposta com o balanço global.

Veja que, nesse caso, todo o açúcar alimentado será retirado na saída. Vamos ao balanço global de açúcares:

$$0,15 \times 20.000 = 0,4 \times m(\text{solução final});$$

$$m(\text{solução final}) = 7.500 \text{ kg/h.}$$

A quantidade de vapor recuperado é a quantidade que foi evaporada da solução, ou seja, a diferença entre a alimentação e o que saiu de solução final:

$$m(\text{alimentação}) = m(\text{solução final}) + m(\text{vap. recuperado});$$

$$20.000 = 7.500 + m(\text{vap. recuperado});$$

$$m(\text{vap. recuperado}) = 12.500 \text{ kg/h.}$$

**Gabarito: Letra D.**



### 3.5 – Reciclo e bypass

Nos processos químicos há, em geral, uma grande quantidade de espécies que são combinadas, seja para reagirem e formarem produtos, seja para serem separadas ou misturadas. O fato é que dificilmente o produto final de um determinado processo terá pureza de 100 %, tampouco a reação será completa.

Com o objetivo de aumentar o tempo de contato entre os compostos químicos, frequentemente os projetistas de plantas químicas inserem correntes de reciclo ou bypass.

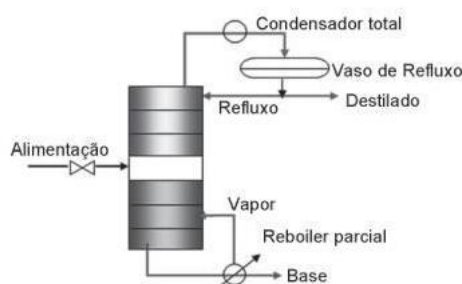
**Reciclo (ou refluxo)** é uma fração da corrente de saída de determinada unidade que retorna para a corrente de entrada ou diretamente para dentro da unidade. Normalmente, esse recurso é usado em processos que envolvem separação de substâncias químicas.

**Bypass** é a corrente que, ao invés de entrar numa unidade, contorna essa unidade sendo combinada à corrente de saída.

Vejamos como isso é cobrado em prova e como procedemos para a solução:



(CESGRANRIO - 2012 - Petrobras - Engenheiro de Processamento Júnior-2012 - ADAPTADA) No processo de destilação descrito na figura, a alimentação tem uma mistura de 390 kg/h de benzeno ( $M = 78 \text{ kg/kmol}$ ) e 460 kg/h de tolueno ( $M = 92 \text{ kg/kmol}$ ). O destilado tem composição de 10% (molar) de tolueno e, na base, a composição de saída é de 80% (molar) em tolueno. Além disso, a razão de refluxo (refluxo/destilado) é 3.



O refluxo na coluna, em kmol/h, e a composição dessa corrente, em %(molar), são, respectivamente,

- A) 4,3 e 10 % em tolueno
- B) 4,3 e 90 % em benzeno
- C) 12,9 e 10 % em tolueno
- D) 12,9 e 10 % em benzeno
- E) 12,9 e 50 % em benzeno



### Comentários:

Esse é o típico processo que envolve reciclo, um processo de destilação. As vazões fornecidas no enunciado estão em base mássica, vamos convertê-las para base molar:

$$\dot{n}(\text{kmol}/h) = \dot{m}(\text{kg}/h) \div M(\text{kg}/\text{kmol})$$

Tolueno:

$$n(\text{tolueno na alimentação}) = 460 \text{ kg}/h / 92 \text{ kg}/\text{kmol};$$

$$n(\text{tolueno na alimentação}) = 5 \text{ kmol}/h.$$

Benzeno:

$$n(\text{benzeno na alimentação}) = 390 \text{ kg}/h / 78 \text{ kg}/\text{kmol};$$

$$n(\text{benzeno na alimentação}) = 5 \text{ kmol}/h.$$

Agora vamos ao balanço global total, desconsiderando o refluxo, ou seja, pegando apenas as correntes de alimentação, destilado e base:

$$10 \text{ kmol}/h = D + B.$$

Balanço molar de tolueno:

$$5 \text{ kmol}/h = 0,1 \times D + 0,8 \times B.$$

Podemos, agora resolver um sistema de equações para encontrarmos D e B:

$$\begin{cases} 10 = D + B & (1) \\ 5 = 0,1D + 0,8B & (2) \end{cases}$$

Se multiplicarmos a equação (1) por 0,1 e subtrairmos a eq. (2) da eq. (1), encontramos:

$$B = 5,7 \text{ kmol}/h;$$

$$10 = D + 7;$$

$$D = 4,3 \text{ kmol}/h.$$

Como sabemos que a razão molar entre refluxo e destilado (R/D) é igual a 3, podemos facilmente calcular a vazão molar do refluxo:

$$R = 3 \times D;$$

$$R = 3 \times 4,3;$$

$$\mathbf{R = 12,9 \text{ kmol}/h.}$$

A composição molar de tolueno é a mesma fornecida para o destilado, ou seja, **10%**.

**Gabarito: Letra C.**



## 4 – Considerações Finais

Chegamos ao final da nossa aula! Vale ressaltar que as questões resolvidas fazem parte da teoria.

Quaisquer dúvidas, vocês podem entrar em contato comigo através do meu e-mail.

Bons estudos!!!

Jordana Abreu

**E-mail:** [abreu.s.jordana@gmail.com](mailto:abreu.s.jordana@gmail.com)





## QUESTÕES COMENTADAS

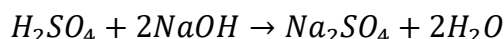


1. (FCC - 2014 - SABESP - Engenharia Química) Um efluente contendo ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) com uma concentração de  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$  de solução será neutralizado com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a  $4,0 \text{ mol.L}^{-1}$  de solução. O tratamento é em batelada e o volume de efluente ácido a tratar é de  $20,0 \text{ m}^3$ . O volume necessário de hidróxido de sódio na concentração de  $4,0 \text{ mol.L}^{-1}$  é de

- A)  $3,0 \text{ m}^3$ .
- B)  $2,0 \text{ m}^3$ .
- C)  $0,50 \text{ m}^3$ .
- D)  $1,0 \text{ m}^3$ .
- E)  $4,0 \text{ m}^3$ .

**Comentários:**

Trata-se de uma questão de balanço molar envolvendo reação de neutralização. O primeiro passo é escrever a reação balanceada:



Para haver neutralização, o n° de mols de  $H_2SO_4$  deve ser estequiometricamente proporcional ao n° de mols de NaOH, na proporção de 1:2.

$$n = C \times V$$

$$n(H_2SO_4) = 0,1 \text{ mol.L}^{-1} \times 20 \text{ m}^3 = 2 \text{ kmol};$$
$$n(NaOH) = 2 \times n(H_2SO_4) = 2 \times 2 = 4 \text{ kmol};$$

Invertendo a equação, temos que:  $V = n/C$ :

$$V(NaOH) = 4 \text{ kmol} / 4 \text{ mol.L}^{-1};$$
$$V(NaOH) = 1. 10^3 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$$

**Gabarito:** Letra D.

2. (FCC - 2014 - SABESP - Engenharia Química) Desejando-se produzir água potável na vazão de  $100 \text{ m}^3$ .  $\text{minuto}^{-1}$ , contendo uma concentração final de cloro livre de  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ , a vazão necessária de uma solução de hipoclorito de sódio com concentração de cloro livre igual a  $50 \text{ g.L}^{-1}$  para atingir esse objetivo deve ser de

- A)  $20 \cdot 105 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- B)  $20,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- C)  $2,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- D)  $500 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- E)  $5,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .



### Comentários:

Questão parecida com a que já vimos, mas agora envolvendo um processo em regime permanente. Neste caso, usaremos a regra de diluição:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

A regra de diluição acima é consequência da regra de ouro do balanço material:

$$\sum \text{entra} = \sum \text{sai}$$

$C_1 = 50 \text{ g.L}^{-1}$ ;  $V_1$  é o que queremos encontrar;

$C_2 = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $V_2 = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ;

Aplicando esses dados na primeira equação, encontramos o resultado esperado. Observação: tenha atenção às unidades, da forma como estão escritas já é possível encontrar o gabarito na unidade correta:

$$50 \times V_1 = 1 \times 100;$$

$$V_1 = 2,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}.$$

**Gabarito:** Letra C.

**3. (IF-TO - 2017 - IF-TO - Professor - Engenharia Química)** Uma vazão  $Q_1$  de 30 litros/s de água e  $Q_2$  de 20 litros/s de óleo entram em um reservatório para serem homogeneizados, conforme a figura abaixo. Encontre a massa específica da mistura formada que é descarregada do reservatório.

Dados:  $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$  ;  $\rho_{\text{óleo}} = 900 \text{ Kg/m}^3$



A)  $\rho = 940 \text{ Kg/m}^3$

B)  $\rho = 930 \text{ Kg/m}^3$

C)  $\rho = 960 \text{ Kg/m}^3$

D)  $\rho = 920 \text{ Kg/m}^3$

E)  $\rho = 910 \text{ Kg/m}^3$

### Comentários:

Questão clássica, base da engenharia química:

$$\sum \text{entra} = \sum \text{sai}$$

$$Q_1 \cdot \rho_1 + Q_2 \cdot \rho_2 = Q_3 \cdot \rho_3.$$

Temos que:

$$Q_1 = 30 \text{ L/s}; \rho_1 = 1000 \text{ kg/m}^3;$$

$$Q_2 = 20 \text{ L/s}; \rho_2 = 900 \text{ kg/m}^3;$$

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = 30 + 20 = 50 \text{ L/s};$$

Substituindo em  $Q_1 \cdot \rho_1 + Q_2 \cdot \rho_2 = Q_3 \cdot \rho_3$ , temos:

$$\rho_3 = 960 \text{ kg/m}^3.$$

**Gabarito:** Letra C.

**4. (IF-TO - 2017 - IF-TO - Professor - Engenharia Química)** Um tanque em forma de cilindro circular reto está sendo alimentado com óleo combustível à razão de  $4 \text{ m}^3 / \text{min}$ . Sabendo-se que o diâmetro do cilindro vale  $5 \text{ m}$ , podemos estimar que a altura do combustível está aumentando a uma razão de:

A)  $4/(25 \pi) \text{ m/min}$



- B)  $4/(6,25 \pi)$  m/min
- C)  $4/(5 \pi)$  m/min
- D)  $4/(20 \pi)$  m/min
- E)  $5/(4 \pi)$  m/min

**Comentários:**

Caro aluno, as questões podem envolver diferentes disciplinas, mas isso faz parte da nossa formação. Nesta questão, vai ser um balanço material usando um pouco de geometria espacial. Como o cilindro não varia sua área de seção transversal ( $A_s$ ), a vazão volumétrica ( $Q$ ) varia na mesma proporção que a taxa de variação da altura no cilindro ( $h'$ ):

$$Q = A_s \times h'$$
$$A_s = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_s = \pi \times 5^2/4 = 25\pi/4;$$

$$h' = Q / A_s = 4 / (25\pi/4);$$

$$h' = 16 / 25\pi = 4 / 6,25 \pi \text{ m/min.}$$

**Gabarito:** Letra B.

**5. (FUNRIO - 2017 - SESAU-RO - Engenheiro Químico)** Em um tanque de mistura, operando em estado estacionário, misturam-se três líquidos incompressíveis. Os líquidos, A, B e C, são miscíveis idealmente com densidades relativas iguais, respectivamente, a 0,7; 0,9 e 1,0. Misturando-se 5 partes em massa de A, 3 partes em massa de B e 2 partes em massa de C, a corrente de saída do tanque apresentará massa específica (em kg/m<sup>3</sup>) igual a:

- A)  $7,64 \times 10^2$
- B)  $7,92 \times 10^2$
- C)  $8,02 \times 10^2$
- D)  $8,50 \times 10^2$
- E)  $9,52 \times 10^2$

**Comentários:**

A primeira coisa a ser feita é calcular o volume de cada líquido de posse das partes em massa:

$$V(A) = 5/0,7=7,14$$

$$V(B) = 3/0,9=3,33$$

$$V(C) = 2/1=2$$

O volume final da mistura será a soma dos volumes de cada líquido:  $V(\text{sai}) = V(A) + V(B) + V(C)$ .  $V(\text{sai}) = 7,14 + 3,33 + 2$ .  $V(\text{sai}) = 12,47$

$$DR(\text{sai}) = (m(A) + m(B) + m(C)) / V(\text{sai});$$

$$DR(\text{sai}) = 10 / 12,47;$$

$$DR(\text{sai}) = 0,802;$$

$$\rho (\text{composto}) = DR \times \rho (\text{água}).$$

$$P(\text{sai}) = 0,802 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 8,02 \times 10^2 \text{ kg/m}^3.$$

**Gabarito:** Letra C.

**6. (FUNRIO - 2017 - SESAU-RO - Engenheiro Químico)** Observe as afirmativas a seguir, sobre balanço de massa em sistemas elementares: I. A massa global do sistema é conservada mesmo com reações químicas acontecendo. II. A massa de qualquer componente no sistema é conservada mesmo com reações químicas



acontecendo. III. O acúmulo de massa global no sistema é dado pela diferença entre a massa que entra no sistema e a massa que sai do sistema. Assinale a alternativa correta:

- A) apenas a afirmativa I está correta.
- B) apenas a afirmativa II está correta.
- C) apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- D) apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- E) todas as afirmativas estão erradas.

**Comentários:**

Item I: Correta. Trata-se da definição da Lei de Lavoisier, a massa, obrigatoriamente, se conserva;

Item II: Incorreta. Os componentes podem ser consumidos ou produzidos, tendo sua massa alterada ao longo da reação química;

Item III: Correta.  $Acúmulo = \sum entra - \sum sai$ .

**Gabarito:** Letra D.

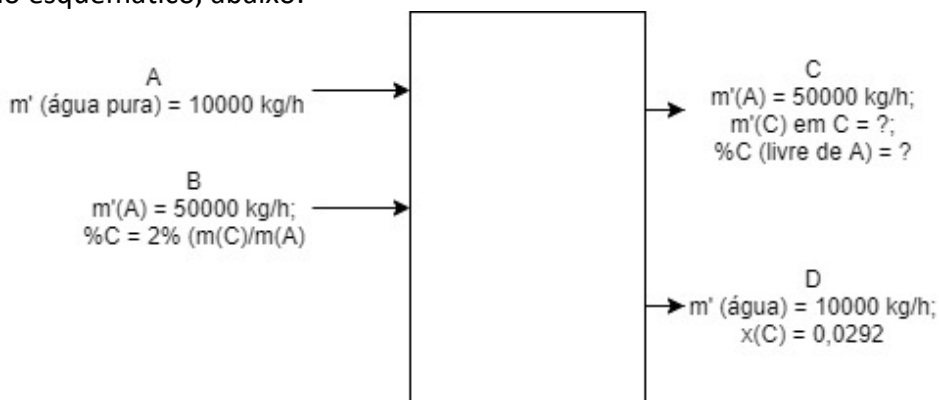
7. (FUNDEP (Gestão de Concursos) - 2017 - UFVJM-MG - Engenheiro Químico) Considere que um gás A contendo um soluto C é alimentado em uma coluna de absorção. A vazão do gás A é 50.000 kg/h (base livre de C), e o percentual de soluto C nele presente é 2% (massa de C/massa de A). No processo, utiliza-se, para a retirada do soluto, 10.000 kg/h de água (B), e a solução aquosa que deixa a coluna contém 2,92% de C (em massa).

Então, a vazão (kg/h) e o percentual do soluto C na corrente gasosa final na base livre do soluto são, respectivamente:

- A) 708 kg/h e 1,4%.
- B) 300 kg/h e 1,4%.
- C) 300 kg/h e 2,9%.
- D) 700 kg/h e 1,4%.

**Comentários:**

Observe o desenho esquemático, abaixo:



Balanço de Massa global:  $A + B = C + D$ .

Balanço de Massa da água:

$$B = (1-x(C)) \times D; 10000 = (1-0,0292) \times D; D = 10301 \text{ kg/h.}$$

Balanço de Massa do soluto C:

$$\text{Em B: } m'(C) = m'(A) \times \%C = 50000 \text{ kg/h} \times 0,02; m'(C) = 1000 \text{ kg/h;}$$



Em D:  $m'(C) = 0,0292 \times 10301$ ;  $m'(C) = 300$  kg/h.  
 $m'(C \text{ em B}) = m'(C \text{ em C}) + m'(C \text{ em D})$ ;  $1000 = m'(C \text{ em C}) + 300$ ;

Em C:  $m'(C) = 700$  kg/h.  $m'(A) = 50000$  kg/h.  $\%C(\text{livre de A}) = m'(C)/m'(A)$ .  $\%C = 700/50000$ .  $\%C = 0,014 = 1,4\%$ .

**Gabarito:** Letra D.

**8. (FUNDEP (Gestão de Concursos) - 2017 - UFVJM-MG - Engenheiro Químico)** Em um processo contínuo, tem-se uma corrente de alimentação de 100 moles/h de uma mistura 30-70 (molar) de benzeno (B) e tolueno (T), que deverá ser separada em duas frações, cada uma delas com as seguintes características.

**Corrente de topo**

Vazão molar: 20 moles/h

Composição:

0,95 mol B/mol

0,05 mol T/mol

**Corrente de fundo**

Vazões molares:

11 moles B/h

69 moles T/h

Pretende-se escalonar o processo para uma nova vazão de alimentação de 1.500 moles/h.

Considerando-se que se deseja atingir essa mesma separação, quais serão os novos valores para as vazões molares da corrente de topo (vazão total) e para as vazões de B e de T na corrente de fundo, respectivamente?

A) 150 moles/h / 15 moles B/h / 55 molesT/h

B) 1.500 moles/h / 150 moles B/h / 275 molesT/h

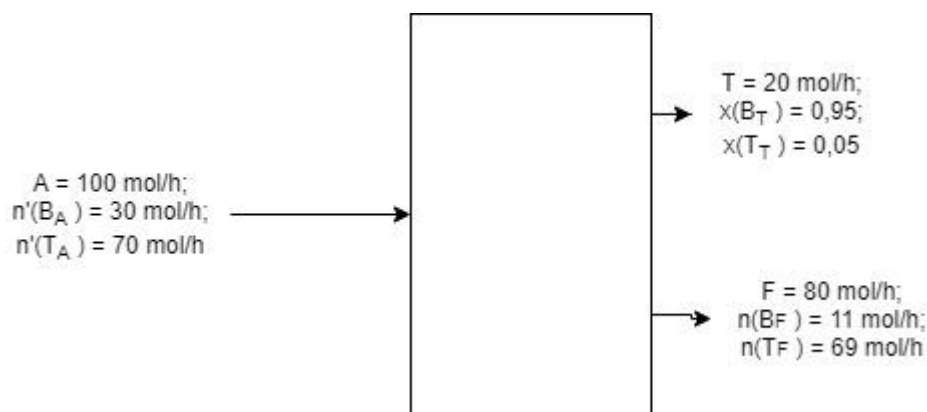
C) 300 moles/h / 165 moles B/h / 1.035 molesT/h

D) 600 moles/h / 57 moles B/h / 518 molesT/h

**Comentários:**

Questão básica de balanço molar. Observe o desenho esquemático:





Ao escalonar o processo para quaisquer valores, as frações molares permanecem idênticas. Desta forma, vamos fazer o balanço molar por espécies:

Para o Benzeno:

$$x(BA) = 0,3; x(BT) = 0,95; x(BF) = 11/80 = 0,1375.$$

Para A = 1500 mol/h, o balanço molar de benzeno fica como se segue:

$$0,3 \times 1500 = 0,95 \times T + 0,1375 \times F. \text{ Vamos guarda essa relação.}$$

Para o Tolueno:

$$x(TA) = 0,7; x(TT) = 0,05; x(TF) = 1 - 0,1375 = 0,8625.$$

$$0,7 \times 1500 = 0,05 \times T + 0,8625 \times F.$$

Balanço Global:

$1500 = T + F$ . Podemos escrever a equação como função de  $F = 1500 - T$ . Substituindo na primeira equação, temos:

$$0,3 \times 1500 = 0,95 \times T + 0,1375 \times (1500 - T); 450 = 0,95T + 206,25 - 0,1375T.$$

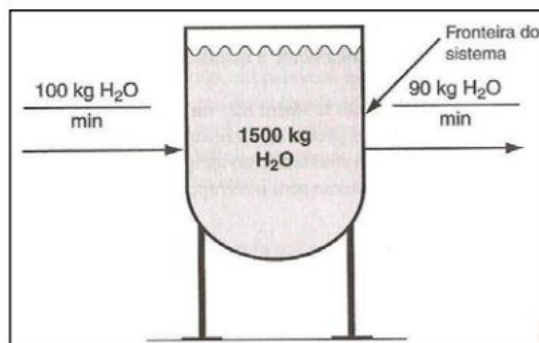
Com algebrismo, encontramos  $T = 300$  mol/h. Substituindo em F, temos  $F = 1200$  mol/h.

$$n'(BF) = 0,1375 \times 1200; n'(BF) = 165 \text{ mol/h.}$$

$$n'(TF) = 1200 - n'(BF) = 1200 - 165; n'(TF) = 1035 \text{ mol/h.}$$

**Gabarito: Letra C.**

9. (IDECAN - 2015 - INMETRO - Pesquisador - Tecnologista em Metrologia e Qualidade - Engenharia Química) A imagem apresenta um sistema aberto com acúmulo após 50 minutos.



De acordo com as informações anteriores, analise.

I. O acúmulo representará a soma de todo o material que se acumulou no sistema durante esse intervalo



de tempo.

II. As condições das correntes em escoamento não variam no tempo.

III. O balanço material para o processo é: acúmulo de material dentro do sistema = total de material alimentado no sistema — total de material retirado do sistema.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

A) I, II e III.

B) I, apenas.

C) I e II, apenas.

D) I e III, apenas.

E) II e III, apenas.

**Comentários:**

Item I: Correto. Ipsis litteris;

Item II: Incorreto. Se há acúmulo variando com o tempo, está implicado que há variação das correntes;

Item III: Correto. Esse é o equacionamento do balanço de massa.

**Gabarito:** Letra D.

10. (COPEVE-UFAL - 2014 - ALGÁS - Engenheiro - Engenharia de Produção) Uma amostra de gás natural foi coletada de um reservatório. Devido a grandes concentrações de metano, etano e propano, foi adotada a composição mássica dada na tabela.

Tabela: Composição mássica do gás natural analisado

Composto	Porcentagem (%)	Massa Molar (g/mol)
Metano	80.0	16
Etano	10.0	30
Propano	10.0	44

De acordo com esses dados, a fração molar obtida para o metano, etano e o propano são, respectivamente,

A) 84, 9 e 7.

B) 86, 9 e 5.

C) 88, 7 e 5.

D) 90, 6 e 4.

E) 92, 6 e 2.

**Comentários:**

Nesse tipo de questão precisamos usar uma base de cálculo. Recomendo  $M = 100$  g.

Calcula-se a massa de cada espécie química:

$$m(\text{metano}) = 0,8 \times 100 = 80 \text{ g};$$

$$m(\text{etano}) = 0,1 \times 100 = 10 \text{ g};$$

$$m(\text{propano}) = 0,1 \times 100 = 10 \text{ g}.$$

O número de mols da substância é calculado pela expressão:  $n = m / MM$ . Vamos calcular para cada espécie:

$$n(\text{metano}) = 80 \text{ g} / 16 \text{ g.mol}^{-1} = 5 \text{ mol};$$

$$n(\text{etano}) = 10 \text{ g} / 30 \text{ g.mol}^{-1} = 0,33 \text{ mol};$$

$$n(\text{propano}) = 10 \text{ g} / 44 \text{ g.mol}^{-1} = 0,23 \text{ mol}.$$

$$n(\text{total}) = n(\text{metano}) + n(\text{etano}) + n(\text{propano}) = 5 + 0,33 + 0,23 = 5,56 \text{ mol}.$$

A fração molar é calculada pela seguinte expressão:  $x(\text{espécie}) = n(\text{espécie})/n(\text{total})$ :



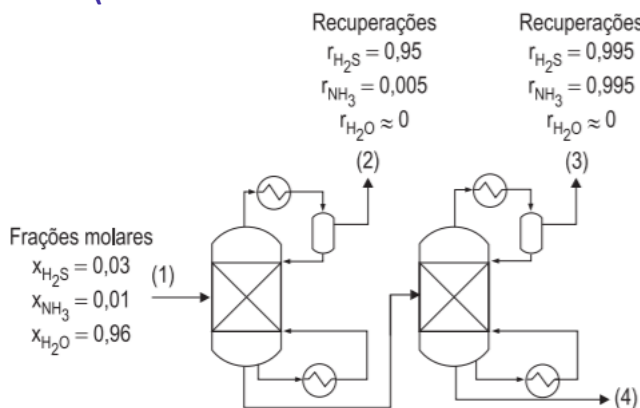
$$x(\text{metano}) = 5 \text{ mol} / 5,56 \text{ mol} = 0,9;$$

$$x(\text{etano}) = 0,33 \text{ mol} / 5,56 \text{ mol} = 0,06;$$

$$x(\text{propano}) = 1 - x(\text{metano}) - x(\text{etano}) = 1 - 0,9 - 0,06 = 0,04.$$

Gabarito: Letra D.

11. (CESGRANRIO - 2014 - Petrobras - Engenheiro(a) de Processamento Júnior)



Um dos efluentes do processo de hidrotratamento de gás combustível é água contendo  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{NH}_3$ , denominada água ácida. De forma a possibilitar a remoção de  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{NH}_3$ , duas colunas de destilação são empregadas, conforme apresentado na Figura acima. As condições da entrada e recuperações dos compostos nas colunas estão apresentadas nessa Figura (as recuperações de água no topo das colunas são admitidas iguais a zero). A fração molar de  $\text{H}_2\text{S}$  que sai junto à água na corrente 4 é, aproximadamente, igual a

- A)  $7,8 \times 10^{-7}$
- B)  $7,8 \times 10^{-6}$
- C)  $7,8 \times 10^{-5}$
- D)  $7,8 \times 10^{-4}$
- E)  $7,8 \times 10^{-3}$

**Comentários:**

Usaremos como base de cálculo em (1) 100 mol/h. A recuperação significa o quanto de determinada espécie alimentada foi retirada em uma determinada corrente. De posse das informações do desenho, vamos calcular as vazões molares em cada corrente:

Em (1):

$$n(\text{H}_2\text{S}(1)) = 0,03 \times 100 = 3 \text{ mol/h};$$

$$n(\text{NH}_3(1)) = 0,01 \times 100 = 1 \text{ mol/h};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}(1)) = 0,96 \times 100 = 96 \text{ mol/h}.$$

Em (2):

$$n(\text{H}_2\text{S}(2)) = r(\text{H}_2\text{S}(2)) \times n(\text{H}_2\text{S}(1)) = 0,95 \times 3 = 2,85 \text{ mol/h};$$

$$n(\text{NH}_3(2)) = r(\text{NH}_3(2)) \times n(\text{NH}_3(1)) = 0,005 \times 1 = 0,005 \text{ mol/h}.$$

Em (3):

$$n(\text{H}_2\text{S}(3)) = r(\text{H}_2\text{S}(3)) \times (3 - 2,85) = 0,995 \times (3 - 2,85) = 0,14925 \text{ mol/h};$$

$$n(\text{NH}_3(3)) = r(\text{NH}_3(3)) \times (1 - 0,005) = 0,995 \times (1 - 0,005) = 0,990025.$$





Em (4):

$$n(\text{H}_2\text{S}(4)) = 3 - 2,85 - 0,14925 = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/h};$$

$$n(\text{NH}_3(4)) = 1 - 0,005 - 0,990025 = 4,975 \cdot 10^{-3} \text{ mol/h};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}(4)) = n(\text{H}_2\text{O}(1)) = 96 \text{ mol/h};$$

$$n(\text{Total}(4)) = 7,5 \cdot 10^{-4} + 4,975 \cdot 10^{-3} + 96 = 96,005725 \text{ mol/h};$$

$$x(\text{H}_2\text{S}(4)) = n(\text{H}_2\text{S}(4)) / n(\text{Total}(4)) = 7,5 \cdot 10^{-4} / 96,005725 = 7,8 \cdot 10^{-6}.$$

**Gabarito:** Letra B.

**12. (CESGRANRIO - 2014 - Petrobras - Engenheiro(a) de Processamento Júnior)** Uma solução líquida de n-butano e n-pentano é adicionada a ácido acético, resultando em uma mistura líquida com massa específica igual a  $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Admitindo comportamento ideal do sistema, a fração mássica de ácido acético na mistura é, aproximadamente, de

**Dados**  
massa específica do ácido acético  $\approx 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$   
massa específica da mistura n-butano + n-pentano  $\approx 600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

- A) 0,40
- B) 0,45
- C) 0,50
- D) 0,55
- E) 0,62

**Comentários:**

Usaremos como base de cálculo  $V(\text{total}) = 1 \text{ m}^3$ . Desta forma:

$$m(\text{total}) = V(\text{total}) \times \rho(\text{total}) = 1 \times 800 = 800 \text{ kg}.$$

$$m(\text{total}) = m(\text{mistura}) + m(\text{ácido acético}) = 800 \text{ kg}.$$

$$V(\text{total}) = 1 = V(\text{ácido acético}) + V(\text{mistura}); V(\text{ácido acético}) = 1 - V(\text{mistura});$$

$$m(\text{ácido acético}) = V(\text{ácido acético}) \times \rho(\text{ácido acético}) = (1 - V(\text{mistura})) \times 1000;$$

$$m(\text{mistura}) = V(\text{mistura}) \times \rho(\text{mistura}) = V(\text{mistura}) \times 600;$$

$$m(\text{mistura}) + m(\text{ácido acético}) = 800 \text{ kg} = (1 - V(\text{mistura})) \times 1000 + V(\text{mistura}) \times 600;$$

$$V(\text{mistura}) = 0,5 \text{ m}^3; \text{ Logo, } V(\text{ácido acético}) = 0,5 \text{ m}^3;$$

$$m(\text{ácido acético}) = V(\text{ácido acético}) \times \rho(\text{ácido acético}) = 0,5 \times 1000 = 500 \text{ kg};$$

$$x(\text{ácido acético}) = m(\text{ácido acético}) / m(\text{total}) = 500 / 800 = 0,62.$$

**Gabarito:** Letra E.



## LISTA DE QUESTÕES

1. (FCC - 2014 - SABESP - Engenharia Química) Um efluente contendo ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) com uma concentração de  $0,10 \text{ mol} \cdot L^{-1}$  de solução será neutralizado com uma solução de hidróxido de sódio ( $NaOH$ ) a  $4,0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$  de solução. O tratamento é em batelada e o volume de efluente ácido a tratar é de  $20,0 \text{ m}^3$ . O volume necessário de hidróxido de sódio na concentração de  $4,0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$  é de

- A)  $3,0 \text{ m}^3$ .
- B)  $2,0 \text{ m}^3$ .
- C)  $0,50 \text{ m}^3$ .
- D)  $1,0 \text{ m}^3$ .
- E)  $4,0 \text{ m}^3$ .

2. (FCC - 2014 - SABESP - Engenharia Química) Desejando-se produzir água potável na vazão de  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , contendo uma concentração final de cloro livre de  $1,0 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ , a vazão necessária de uma solução de hipoclorito de sódio com concentração de cloro livre igual a  $50 \text{ g} \cdot L^{-1}$  para atingir esse objetivo deve ser de

- A)  $20 \cdot 10^5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- B)  $20,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- C)  $2,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- D)  $500 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- E)  $5,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

3. (IF-TO - 2017 - IF-TO - Professor - Engenharia Química) Uma vazão  $Q_1$  de  $30 \text{ litros/s}$  de água e  $Q_2$  de  $20 \text{ litros/s}$  de óleo entram em um reservatório para serem homogeneizados, conforme a figura abaixo. Encontre a massa específica da mistura formada que é descarregada do reservatório.

Dados:  $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$  ;  $\rho_{\text{óleo}} = 900 \text{ Kg/m}^3$



- A)  $\rho = 940 \text{ Kg/m}^3$
- B)  $\rho = 930 \text{ Kg/m}^3$
- C)  $\rho = 960 \text{ Kg/m}^3$
- D)  $\rho = 920 \text{ Kg/m}^3$
- E)  $\rho = 910 \text{ Kg/m}^3$

4. (IF-TO - 2017 - IF-TO - Professor - Engenharia Química) Um tanque em forma de cilindro circular reto está sendo alimentado com óleo combustível à razão de  $4 \text{ m}^3 / \text{min}$ . Sabendo-se que o diâmetro do cilindro vale  $5 \text{ m}$ , podemos estimar que a altura do combustível está aumentando a uma razão de:

- A)  $4/(25 \pi) \text{ m/min}$
- B)  $4/(6,25 \pi) \text{ m/min}$
- C)  $4/(5 \pi) \text{ m/min}$
- D)  $4/(20 \pi) \text{ m/min}$
- E)  $5/(4 \pi) \text{ m/min}$



5. (FUNRIO - 2017 - SESAU-RO - Engenheiro Químico) Em um tanque de mistura, operando em estado estacionário, misturam-se três líquidos incompressíveis. Os líquidos, A, B e C, são miscíveis idealmente com densidades relativas iguais, respectivamente, a 0,7; 0,9 e 1,0. Misturando-se 5 partes em massa de A, 3 partes em massa de B e 2 partes em massa de C, a corrente de saída do tanque apresentará massa específica (em  $\text{kg/m}^3$ ) igual a:

- A)  $7,64 \times 10^2$
- B)  $7,92 \times 10^2$
- C)  $8,02 \times 10^2$
- D)  $8,50 \times 10^2$
- E)  $9,52 \times 10^2$

6. (FUNRIO - 2017 - SESAU-RO - Engenheiro Químico) Observe as afirmativas a seguir, sobre balanço de massa em sistemas elementares: I. A massa global do sistema é conservada mesmo com reações químicas acontecendo. II. A massa de qualquer componente no sistema é conservada mesmo com reações químicas acontecendo. III. O acúmulo de massa global no sistema é dado pela diferença entre a massa que entra no sistema e a massa que sai do sistema. Assinale a alternativa correta:

- A) apenas a afirmativa I está correta.
- B) apenas a afirmativa II está correta.
- C) apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- D) apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- E) todas as afirmativas estão erradas.

7. (FUNDEP (Gestão de Concursos) - 2017 - UFVJM-MG - Engenheiro Químico) Considere que um gás A contendo um soluto C é alimentado em uma coluna de absorção. A vazão do gás A é 50.000 kg/h (base livre de C), e o percentual de soluto C nele presente é 2% (massa de C/massa de A). No processo, utiliza-se, para a retirada do soluto, 10.000 kg/h de água (B), e a solução aquosa que deixa a coluna contém 2,92% de C (em massa).

Então, a vazão (kg/h) e o percentual do soluto C na corrente gasosa final na base livre do soluto são, respectivamente:

- A) 708 kg/h e 1,4%.
- B) 300 kg/h e 1,4%.
- C) 300 kg/h e 2,9%.
- D) 700 kg/h e 1,4%.

8. (FUNDEP (Gestão de Concursos) - 2017 - UFVJM-MG - Engenheiro Químico) Em um processo contínuo, tem-se uma corrente de alimentação de 100 moles/h de uma mistura 30-70 (molar) de benzeno (B) e tolueno (T), que deverá ser separada em duas frações, cada uma delas com as seguintes características.

Corrente de topo

Vazão molar: 20 moles/h

Composição:

0,95 mol B/mol

0,05 mol T/mol



## Corrente de fundo

Vazões molares:

11 moles B/h

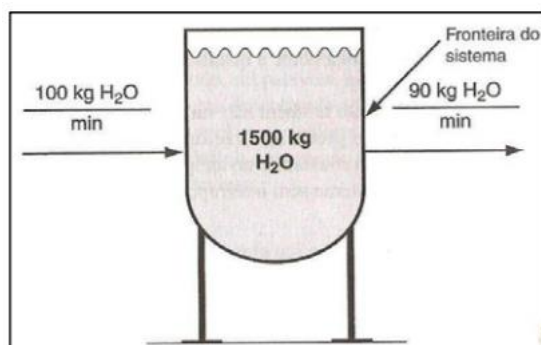
69 moles T/h

Pretende-se escalar o processo para uma nova vazão de alimentação de 1.500 moles/h.

Considerando-se que se deseja atingir essa mesma separação, quais serão os novos valores para as vazões molares da corrente de topo (vazão total) e para as vazões de B e de T na corrente de fundo, respectivamente?

- A) 150 moles/h / 15 moles B/h / 55 molesT/h
- B) 1.500 moles/h / 150 moles B/h / 275 molesT/h
- C) 300 moles/h / 165 moles B/h / 1.035 molesT/h
- D) 600 moles/h / 57 moles B/h / 518 molesT/h

9. (IDECAN - 2015 - INMETRO - Pesquisador - Tecnologista em Metrologia e Qualidade - Engenharia Química) A imagem apresenta um sistema aberto com acúmulo após 50 minutos.



De acordo com as informações anteriores, analise.

I. O acúmulo representará a soma de todo o material que se acumulou no sistema durante esse intervalo de tempo.

II. As condições das correntes em escoamento não variam no tempo.

III. O balanço material para o processo é: acúmulo de material dentro do sistema = total de material alimentado no sistema — total de material retirado do sistema.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

- A) I, II e III.
- B) I, apenas.
- C) I e II, apenas.
- D) I e III, apenas.
- E) II e III, apenas.



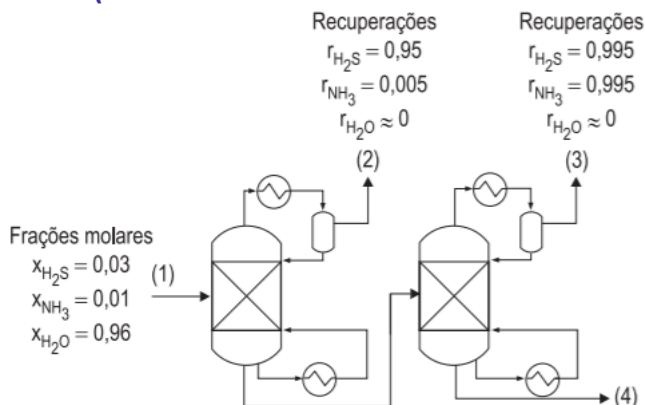
10. (COPEVE-UFAL - 2014 - ALGÁS - Engenheiro - Engenharia de Produção) Uma amostra de gás natural foi coletada de um reservatório. Devido a grandes concentrações de metano, etano e propano, foi adotada a composição mássica dada na tabela. Tabela: Composição mássica do gás natural analisado

Composto	Porcentagem (%)	Massa Molar (g/mol)
Metano	80.0	16
Etano	10.0	30
Propano	10.0	44

De acordo com esses dados, a fração molar obtida para o metano, etano e o propano são, respectivamente,

- A) 84, 9 e 7.
- B) 86, 9 e 5.
- C) 88, 7 e 5.
- D) 90, 6 e 4.
- E) 92, 6 e 2.

11. (CESGRANRIO - 2014 - Petrobras - Engenheiro(a) de Processamento Júnior)



Um dos efluentes do processo de hidrotratamento de gás combustível é água contendo H<sub>2</sub>S e NH<sub>3</sub>, denominada água ácida. De forma a possibilitar a remoção de H<sub>2</sub>S e NH<sub>3</sub>, duas colunas de destilação são empregadas, conforme apresentado na Figura acima. As condições da entrada e recuperações dos compostos nas colunas estão apresentadas nessa Figura (as recuperações de água no topo das colunas são admitidas iguais a zero). A fração molar de H<sub>2</sub>S que sai junto à água na corrente 4 é, aproximadamente, igual a

- A)  $7,8 \times 10^{-7}$
- B)  $7,8 \times 10^{-6}$
- C)  $7,8 \times 10^{-5}$
- D)  $7,8 \times 10^{-4}$
- E)  $7,8 \times 10^{-3}$

12. (CESGRANRIO - 2014 - Petrobras - Engenheiro(a) de Processamento Júnior) Uma solução líquida de n-butano e n-pentano é adicionada a ácido acético, resultando em uma mistura líquida com massa específica igual a  $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .



Admitindo comportamento ideal do sistema, a fração mássica de ácido acético na mistura é, aproximadamente, de

Dados

massa específica do ácido acético  $\approx 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

massa específica da mistura n-butano + n-pentano  $\approx 600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

- A) 0,40
- B) 0,45
- C) 0,50
- D) 0,55
- E) 0,62



# GABARITO

GABARITO



1. D
2. C
3. C
4. B
5. C
6. D
7. D
8. C
9. D
10. D
11. B
12. E



# ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE: PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.



**1** Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.



**2** Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).



**3** Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).



**4** Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).



**5** Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).



**6** Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).



**7** Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.



**8** O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.



Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.