

## Introdução à Engenharia Química – 1HA/1HX/1EA/1EX/1EY

### Algumas Grandezas da Química e da Engenharia Química

Profª Fernanda Cristina Vianna

#### ALGUMAS GRANDEZAS DA QUÍMICA E DA ENGENHARIA QUÍMICA

Referência Bibliográfica: Brasil, N. I. *Introdução à Engenharia Química*. Ed. Interciência. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2004.

#### 1. *Massa específica ( $\rho$ ) e volume específico ( $v$ )*

Uma dada amostra de uma substância de massa  $m$  kg ocupa um volume  $V$  m<sup>3</sup>. A relação massa por volume tem o nome de massa específica e a relação volume por massa tem o nome de volume específico e, obviamente, uma grandeza é a inversa da outra.

Grandeza	Definição	Unidades SI
Massa específica	$\rho = \text{massa} / \text{volume}$	kg/m <sup>3</sup>
Volume específico	$v = \text{volume} / \text{massa}$	m <sup>3</sup> /kg

A massa específica é mais usual na engenharia e tem como símbolo a letra grega  $\rho$  (pronúncia rô). Alguns autores ainda usam indevidamente o termo **densidade** para a relação massa por volume. Densidade é a relação entre as massas específicas de duas substâncias, uma delas tomada como padrão.

O volume específico ( $v$ ) é a mais usual na termodinâmica. Como o volume é dependente da temperatura e pressão, a massa específica e o volume específico também serão.

**Exercício 1)** Sabendo-se que a 20°C e pressão atmosférica a massa de 998,204 kg de água ocupa o volume de 1 m<sup>3</sup>, calcule a massa específica e o volume específico da água nestas condições.

#### 2. *Volume molar ( $V_m$ )*

Uma dada amostra de uma substância ocupa um volume  $V$  e possui uma certa quantidade de matéria  $N$ . A relação entre o volume e a quantidade de matéria equivalente da substância tem o nome de volume molar ( $V_m$ ).

Esta grandeza, embora possa ser aplicada para líquidos e gases, ela é mais usual e conhecida para os gases, onde condições padrão de temperatura e pressão são usadas para defini-lo.

**Exercício 2)** Se o volume específico da água a 20°C e pressão atmosférica é 1,001 77 l/kg, calcule o volume molar da água nestas mesmas condições.

#### 3. *Vazão ou taxa de escoamento*

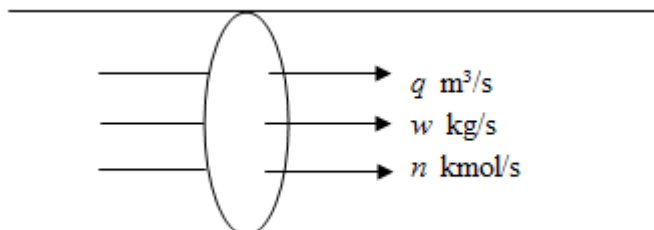
Os processos contínuos envolvem o escoamento de material de um ponto para outro, entre unidades de processo ou entre um processo e tanques de armazenamento e vice-versa. A taxa na qual uma quantidade de material é transportada através de uma tabulação de processo é a taxa de escoamento ou vazão do material, ou seja, uma quantidade por unidade de tempo. A quantidade de uma corrente de processo que é transportada ou escoada através da tubulação pode ser expressa em volume, massa ou quantidade de matéria, dando origem à **vazão volumétrica** (volume por tempo), à **vazão mássica** (massa por tempo) ou à **vazão de quantidade de matéria ou molar** (quantidade de matéria por tempo). Embora, o termo taxa possa ser usado, o termo vazão é mais usual na engenharia química.

Na tabela do Quadro Geral de unidades de Medida publicado pelo INMETRO, que relaciona as unidades derivadas compreendida no SI, consta apenas a grandeza **vazão**, que corresponde unicamente ao que chamamos de vazão volumétrica. Nenhuma referência é feita na referida tabela para a taxa ou vazão de quantidade de matéria, usual na engenharia química. Quanto à taxa de transporte de massa, com unidades de kg/s, a tabela é tradicional usar o termo taxa como definido no parágrafo

acima e o termo fluxo, como veremos na seção seguinte, como a razão entre a taxa e a área da seção transversal ao escoamento do material.

Considere um fluido (gás ou líquido) escoando em uma tubulação de seção transversal constante, como mostrada na Figura 1, onde a área da elipse representa a seção perpendicular à direção do escoamento (seção transversal).

Se a vazão volumétrica do fluido na dada seção transversal é  $q \text{ m}^3/\text{s}$ , haverá uma correspondente vazão mássica  $w \text{ kg/s}$  e uma molar  $n \text{ kmol/s}$  escoando na tubulação. Estas vazões não são independentes, pois estão relacionadas entre si através das respectivas massa específica,  $\rho \text{ kg/m}^3$ , massa molar,  $M \text{ kg/kmol}$  ou o volume molar,  $V_m \text{ m}^3/\text{kmol}$ , do fluido em consideração.



**Figura 1. Conceito de vazão**

As vazões mássica e molar das correntes de processo devem ser conhecidas para muitos cálculos de engenharia química, principalmente para se fazer balanço de massa e energia nos processos. De uma forma geral, estas vazões são calculadas a partir da medição da vazão volumétrica das correntes de processo e do uso da massa específica (para o cálculo da vazão mássica) e do volume molar ou da massa molar (para o cálculo da vazão molar) através das fórmulas:

$$\begin{aligned} w \text{ (kg/s)} &= q \text{ (m}^3/\text{s)} \times \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ n \text{ (kmol/s)} &= q \text{ (m}^3/\text{s)} / V_m \text{ (m}^3/\text{kmol)} \\ n \text{ (kmol/s)} &= w \text{ (kg/s)} / M \text{ (kg/kmol)} \end{aligned}$$

**Exercício 3)** Água a 20°C escoa em uma tubulação com a vazão volumétrica de 100,0 m<sup>3</sup>/h, calcule as suas vazões mássica e molar.

#### 4. Fluxo de material

Na engenharia química, é comum expressar as vazões (ou taxas de escoamento) por unidade de área perpendicular ao escoamento. A essa razão se dá o nome de fluxo. Assim, teremos o **fluxo volumétrico**, **fluxo mássico** e **fluxo molar do fluido**.

Fluxo = Taxa ou vazão por área transversal

$$\text{Fluxo volumétrico} = \frac{\text{vazão volumétrica}}{\text{área transversal}} = \frac{q \text{ m}^3/\text{s}}{A \text{ m}^2} = u \text{ m/s}$$

O Fluxo volumétrico corresponde à velocidade média ( $u$ ) de escoamento do fluido na tubulação.

$$\text{Fluxo mássico} = \frac{\text{vazão mássica}}{\text{área transversal}} = \frac{w \text{ kg/s}}{A \text{ m}^2} = G \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$$

Por analogia ao fluxo volumétrico (velocidade), se usa também o nome de velocidade mássica do fluido ( $G$ ).

$$\text{Fluxo molar} = \frac{\text{vazão molar}}{\text{área transversal}} = \frac{n \text{ kmol/s}}{A \text{ m}^2} = G_m \text{ kmol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$$

Analogamente, poder-se-ia chamar o fluxo molar de velocidade molar ( $G_m$ ), embora não seja usual.

Quando se estiver tratando de energia, teremos o fluxo de energia, que corresponde à taxa de energia dividida pela área de trocas de energia, que terá as unidades de J/(s.m<sup>2</sup>) ou W/m<sup>2</sup>.

**Exercício 4)** Se no exercício 3 a área transversal da tubulação for 0,020 m<sup>2</sup>, calcule os fluxos: volumétrico (velocidade média), mássico e molar da corrente de água.

## 5. Peso específico ( $\gamma$ )

O peso específico é uma grandeza não prevista no SI e deve ser evitada, pois a grandeza massa específica já é suficiente para caracterizar essa propriedade da matéria, além de eliminar a confusão existente na prática, quando o termo **peso** é empregado erroneamente no sentido de massa.

Como essa grandeza ainda é bastante usada com certa freqüência na engenharia química, principalmente na mecânica dos fluidos, vamos analisá-la sob o ponto de vista das unidades. Por definição, o peso específico é a relação entre o peso e o volume de uma substância e tem como símbolo  $\gamma$ . Usando sistema absoluto, vem:

$$\gamma = \frac{E_p}{V} = \frac{mg}{V} = \frac{m}{V} g = \rho g$$

Se o sistema de unidades é o SI, as unidades do peso específico são:

$$[\gamma] = [\rho g] = \frac{\text{kg m}}{\text{m}^3 \text{ s}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = \text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-2}$$

**Exercício 5)** Se a massa específica da água a 0°C é 1 000 kg/m<sup>3</sup>, calcule o peso específico da água (no SI e no sistema MKK<sub>r</sub>S).

- a) em um local onde  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- b) em um local onde  $g = 9,6 \text{ m/s}^2$

## 6) Viscosidade absoluta ( $\mu$ ) e viscosidade cinemática ( $\nu$ )

A viscosidade é a propriedade que determina o grau de resistência do fluido a uma força cisalhante. A viscosidade absoluta (ou dinâmica) de um fluido é importante no estudo do escoamento de fluidos newtonianos através de tubulações ou dutos. A lei das viscosidade de Newton diz que a tensão cisalhante  $\tau$  (razão entre a força  $F$  e a área  $A$  em que ela se aplica) numa interface tangente à direção do escoamento é proporcional à variação de velocidade  $u$  na direção  $y$  normal à interface. Matematicamente, pode-se escrever:

$$\tau = \frac{F}{A} \propto \frac{du}{dy}$$

Os fluidos que seguem esta lei são chamados de fluidos newtonianos.

A introdução da constante de proporcionalidade na lei de Newton leva ao resultado:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy},$$

onde a constante de proporcionalidade tem como símbolo a letra grega  $\mu$  (pronúncia **mi**) e é chamada de viscosidade absoluta (ou dinâmica). Esta viscosidade é dependente da temperatura do fluido e é praticamente independente da pressão.

Se o sistema de unidades é absoluto, como o SI, as unidades da viscosidade são:

$$[\mu] = \frac{[\tau]}{\left[\frac{du}{dy}\right]} = \frac{\left[\frac{F}{A}\right]}{\left[\frac{du}{dy}\right]} = \frac{\frac{ML}{T^2L^2}}{\frac{L}{TL}} = \frac{M}{LT} = L^{-1}MT^{-1}$$

$$\text{No SI: } [\mu] = \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} = \text{Pa}\cdot\text{s}$$

Ainda hoje a viscosidade absoluta é indevidamente expressa em unidades do antigo CGS, o poise, símbolo P, e o seu submúltiplo, centipoise, cujo símbolo é cP. Para esse sistema, as unidades equivalentes ao poise são:

$$[\mu] = \frac{\text{g}}{\text{cm}\cdot\text{s}} = P$$

A viscosidade cinemática tem como símbolo a letra grega  $\nu$  (pronúncia **ni**) e é definida como a relação entre a viscosidade absoluta ( $\mu$ ) e a massa específica do fluido ( $\rho$ ), ambas à mesma temperatura e pressão. Ela foi criada para a determinação da viscosidade em viscosímetros-padrão industriais.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \therefore [\nu] = \left[\frac{\mu}{\rho}\right] = \frac{ML^{-1}T^{-1}}{ML^{-3}} = L^2T^{-1} = \frac{L^2}{T}$$

No SI, as unidades da viscosidade cinemática são: m<sup>2</sup>/s. Da mesma forma que o poise, ainda se encontra a viscosidade cinemática expressa no sistema CGS, cuja unidade é o stokes, símbolo St (equivalente a cm<sup>2</sup>/s), ou seu submúltiplo, o centistokes, símbolo cSt.

**Exercício 6)** A viscosidade da água a 20°C é 1 mPa.s. Calcule o seu valor equivalente em centípoise.