Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de Lorena

LAB. DE ENGENHARIA QUÍMICA II

LOQ4061 – Turma 20211N3 – Engenharia Química

Apresentação 04

DIFUSÃO DE GASES

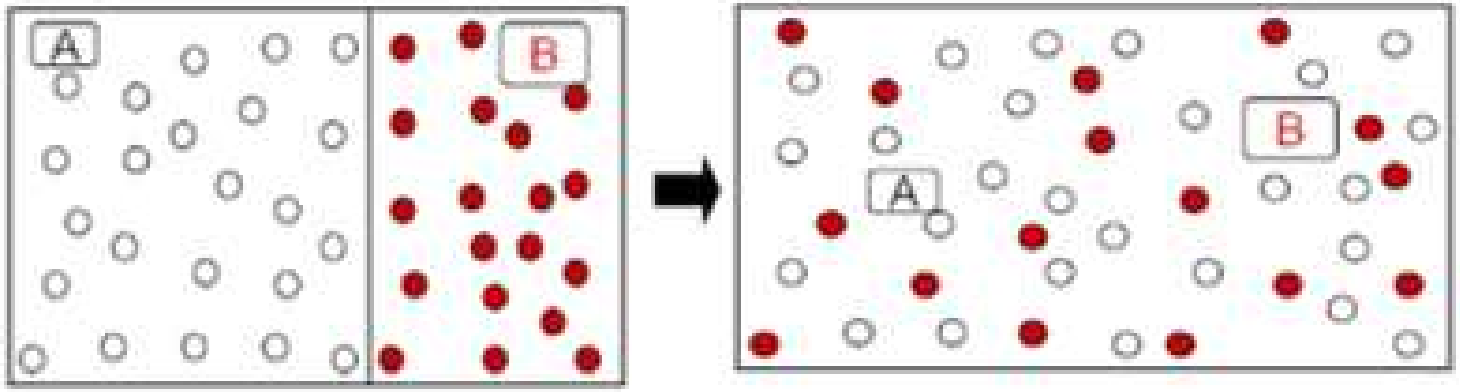
PROF. ANTONIO CARLOS DA SILVA

OBJETIVO DO EXPERIMENTO

Determinar experimentalmente o coeficiente de difusão em misturas gasosas em condições de regime pseudo-estacionário onde um dos constituintes procede de uma substância líquida pura em evaporação

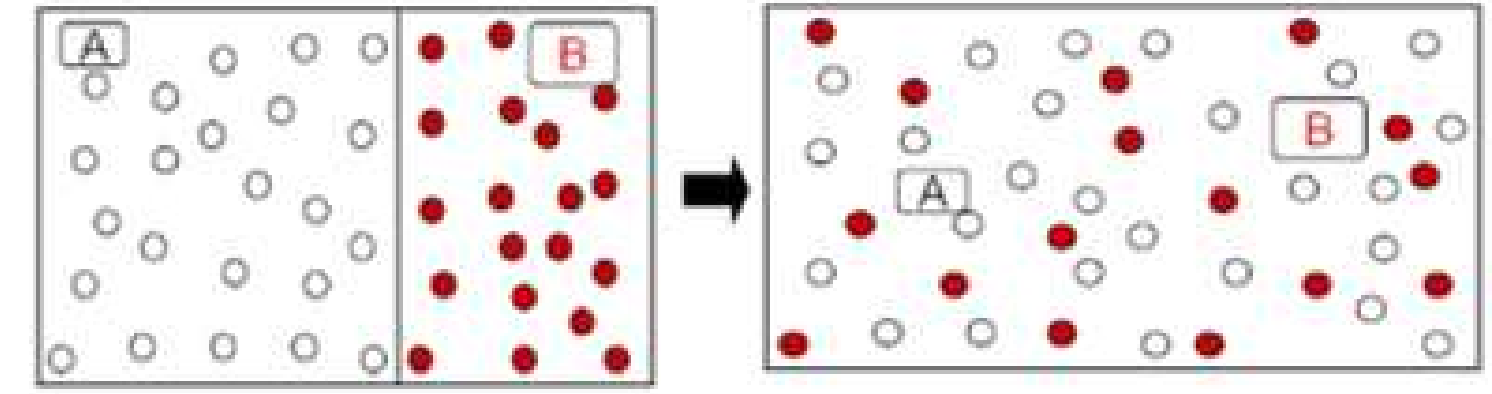
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA

Para ilustrar um exemplo de difusão entre dois gases, considere uma câmara na qual duas espécies de gases, à mesma temperatura e pressão encontram-se separadas por uma partição. Se a partição for removida as espécies serão transportadas por difusão.



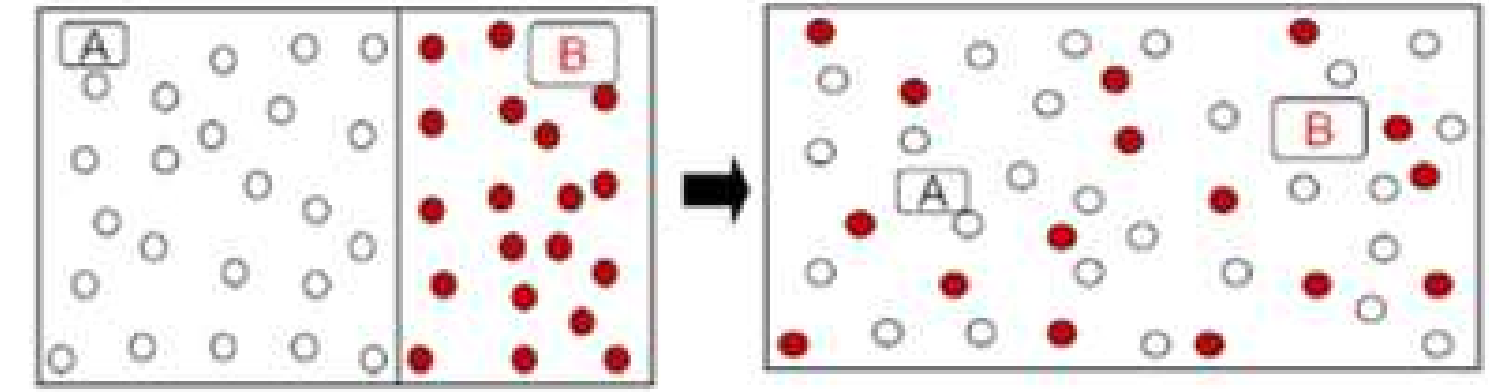
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA

Maior concentração significa mais moléculas por unidade de volume e a concentração da espécie A decresce com o aumento de x.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA

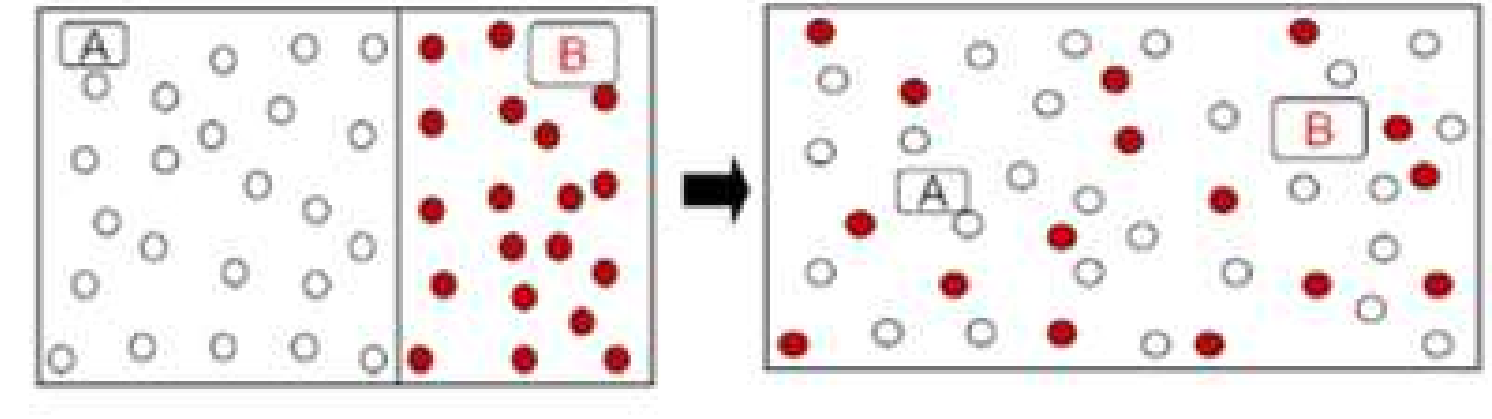
Uma vez que a difusão de massa é na direção do decréscimo de concentração, ocorre transporte líquido da espécie A para a direita e da espécie B para a esquerda. Após um tempo suficiente, concentrações uniformes de A e B são alcançadas e não há transporte líquido das espécies através do plano imaginário.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA

A difusão de massa pode ocorrer em líquidos, sólidos e gases.

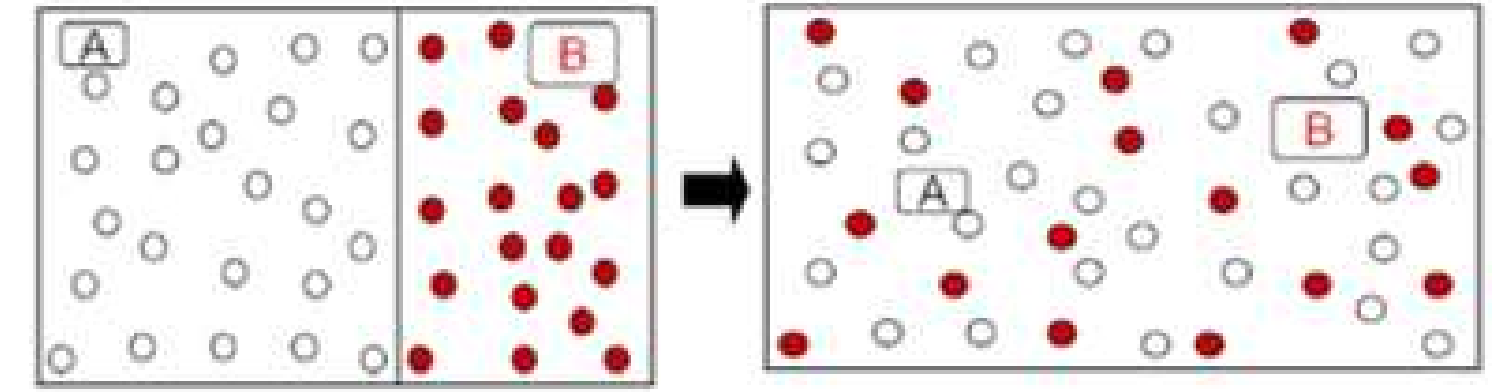
Entretanto, uma vez que a transferência de massa é altamente influenciada pelos espaçamento molecular, a difusão ocorre mais facilmente em gases do que em líquidos e mais facilmente em líquidos do que em sólidos.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA

Em outras palavras, a magnitude da difusividade mássica para líquidos ou gases em sólidos é menor que a difusividade mássica de gases em líquidos.

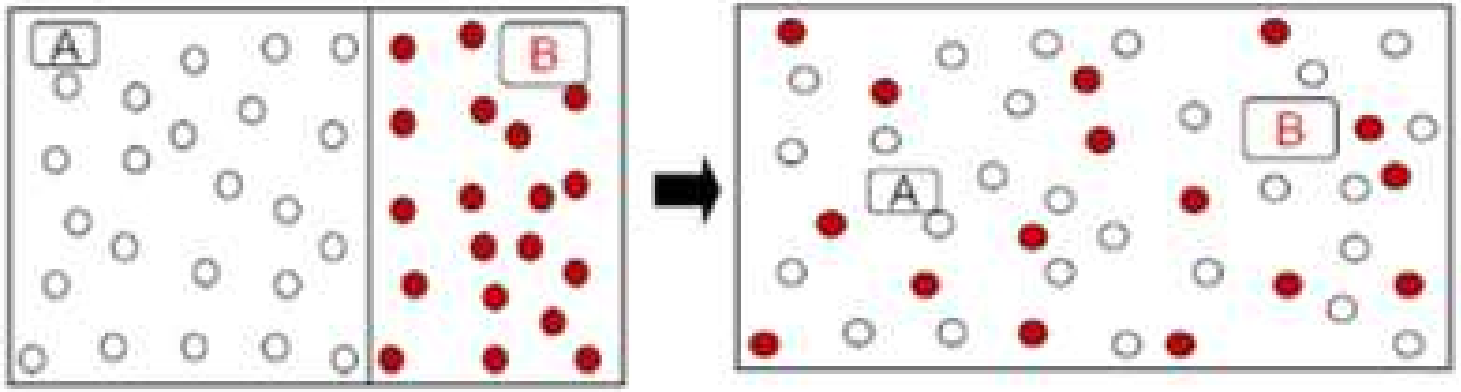
Estas diferenças são devido a mobilidade da moléculas.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA

De acordo com a Lei de Fick:

$$J_{A,z} = -D_{A,B} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z}$$



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA

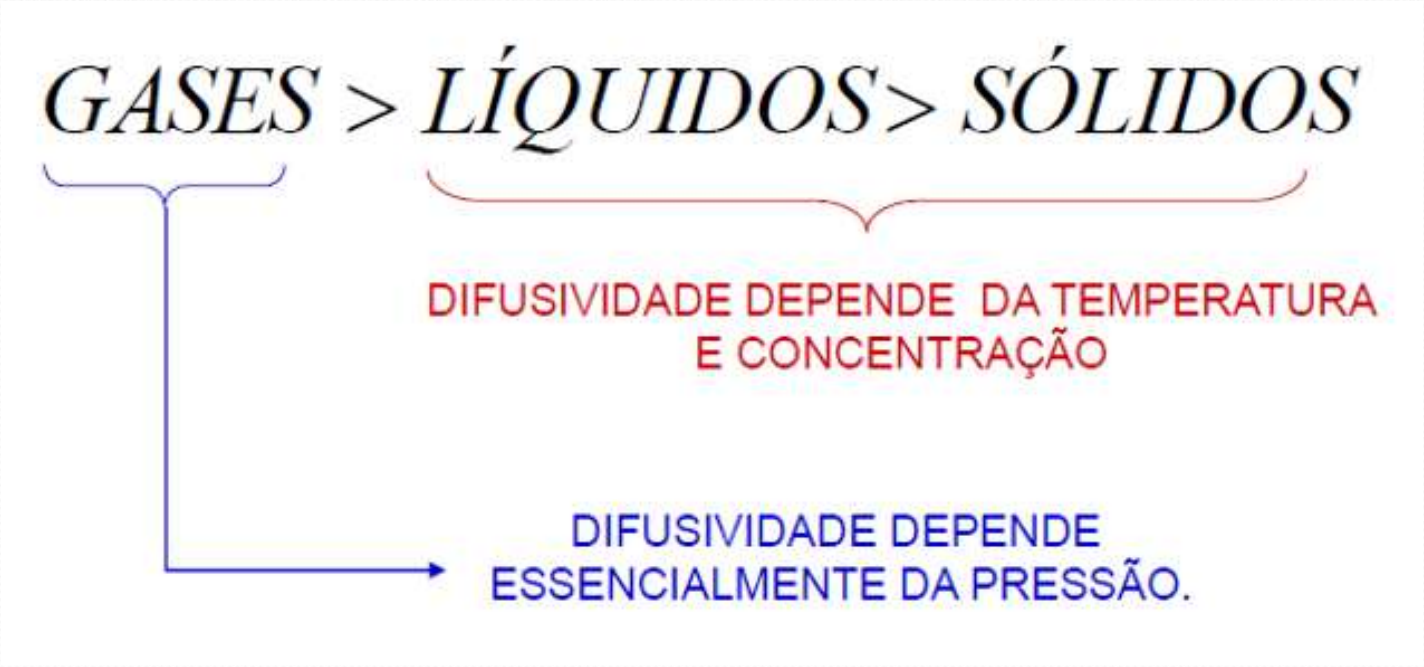
DIFUSIVIDADE MÁSSICA

Constante de proporcionalidade entre o fluxo de massa e o gradiente de concentração.

Representa o grau de "rapidez" com que a difusão ocorre.

- **Líquidos: 10^{-6} a 10^{-5} cm^2/s**
- **Sólidos: 10^{-9} a 10^{-1} cm^2/s**
- **Gases: 5.10^{-1} a 10^{-1} cm^2/s**

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA

VALORES DOS COEFICIENTES DE DIFUSIVIDADE DE ALGUNS GASES EM ÁGUA A 20°C:

GÁS	$D \cdot 10^9 \left(m^2/s\right)$
AMÔNIA	1,8
DIÓXIDO DE CARBONO	1,8
HIDROGÊNIO	5,3
NITROGÊNIO	1,9
OXIGÊNIO	2,1

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – DIFUSÃO GASOSA

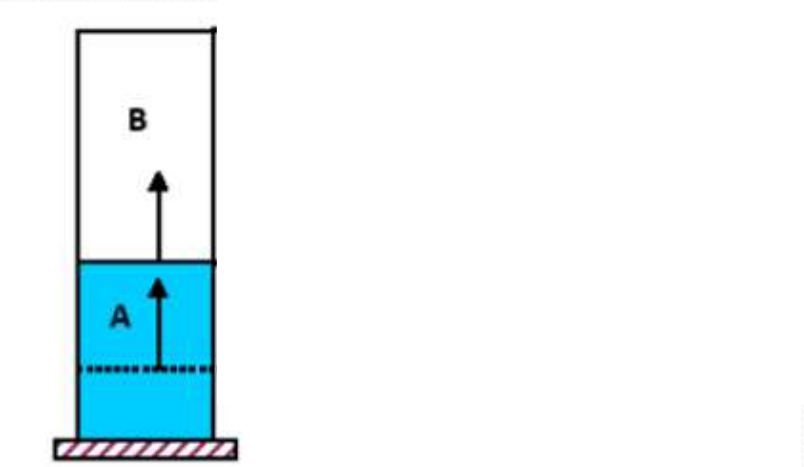
VALORES DOS COEFICIENTES DE DIFUSIVIDADE DE ALGUNS GASES E VAPORES EM AR A 20°C e 1 atm:

GÁS	$D \cdot 10^6 \left(m^2/s \right)$
AMÔNIA	17,0
BENZENO	7,7
DIÓXIDO DE CARBONO	13,8
ÁLCOOL ETÍLICO	10,2
HIDROGÊNIO	61,1
METANOL	13,3
NITROGÊNIO	13,2
OXIGÊNIO	17,8
DIÓXIDO DE ENXÔFRE	10,3
VAPOR DE ÁGUA	21,9

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

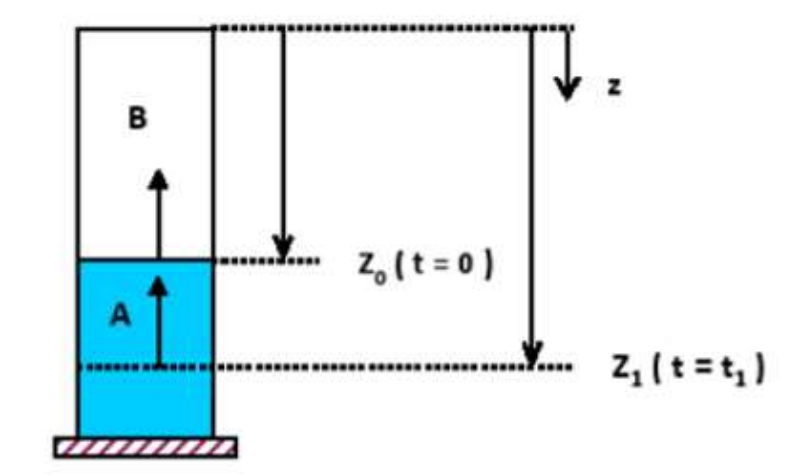
A figura ilustra um capilar semipreenchido por líquido puro volátil A.

Supondo que sobre esse líquido exista um filme gasoso estagnado B, deseja-se avaliar o coeficiente de difusão do vapor de A nessa película.



EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

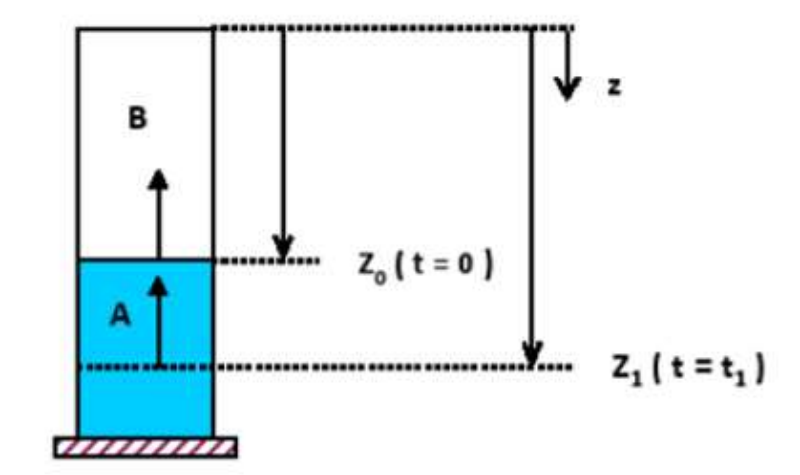
Após um intervalo de tempo considerável, nota-se a variação do nível do líquido a partir do topo do capilar desde Z0(t=0) até Z1(t=t1).



EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

A equação que descreve o fluxo mássico de um soluto "A" desde Z0 até Z1 em um filme de gás estagnado "B" em um tubo capilar de dimensões infinitas é:

$$N_{A,z} = -\frac{C.D_{A,B}}{1-y_A}.\frac{dy_A}{dz}$$



EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

O fluxo de A na direção oposta de z é:

$$N_{A,z} = -C.D_{A,B}.\frac{dy_A}{dz} + y_A.\left(N_{A,z} + N_{B,z}\right)$$

Considerando o fluxo de B estagnado:

$$N_{B,z} = 0$$

$$N_{A,z} = -\frac{C.D_{A,B}}{1 - y_A}.\frac{dy_A}{dz}$$

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

$$N_{A,Z}\int_{Z_0}^{Z_1} dz = -CD_{AB}\int_{y_{A,S}}^{y_{A,t}} \frac{dy_A}{1 - y_A}$$

$$N_{A,Z}(z_1 - z_0) = CD_{AB}\left[\text{Ln}(1 - y_A)\right]_{y_{A,S}}^{y_{A,t}}$$

$$N_{A,Z}(z_1 - z_0) = CD_{AB}\left[\text{Ln}(1 - y_{A,t}) - \text{Ln}(1 - y_{A,S})\right]$$

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

$$N_{A,z} = \frac{C.D_{A,B}}{Z_1 - Z_0} . ln\left(\frac{1-y_{A,t}}{1-y_{A,S}}\right) \quad (1)$$

Z_0 ... Altura entre o topo da coluna e a superfície do líquido antes de iniciar o processo de difusão de "A" em "B" (t=0)

Z1 ... Altura entre o topo da coluna e a superfície do líquido após iniciar o processo iniciar o processo de difusão de "A" em "B" (t=qualquer)

$y_{A,t}$ ... Fração molar de "A" no topo do tubo

$y_{A,t}$ ... Fração molar de "A" na superfície do líquido

C ... Concentração molar global na coluna gasosa

$D_{A,B}$ ... Coeficiente de Difusão de "A" em "B"

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

Em muitas operações de transferência de massa, uma das condições de contorno pode mover-se com o tempo.

O modelo pseudo-estacionário pode ser usado quando a difusão varia em pequena quantidade sobre um longo período de tempo. Assim, o fluxo molar $N_{A,z}$ em regime pseudo-estacionário será dado por:

$$N_{A,z} = C_A . v_A = C_A . \frac{dz}{dt} = \frac{\rho_A}{M_A} . \frac{dz}{dt} \qquad (2)$$

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

Substituindo (2) em (1):

$$\frac{\rho_A}{M_A}\cdot\frac{dz}{dt} = \frac{C.D_{A,B}}{Z_1 - Z_0}\,Ln\left(\frac{1 - y_{A,t}}{1 - y_{A,S}}\right) \qquad (3)$$

ρ_A **... Concentração mássica de "A"**

M_A **... Massa molecular de "A"**

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

Determine o tempo final de difusão de "A" em "B" (ou num instante qualquer e o coeficiente de difusão para um determinado instante qualquer):

$$\left(\frac{\rho_A}{M_A}\right).\frac{dz}{dt} = \frac{C.D_{A,B}}{Z}Ln\left(\frac{1-y_{A,t}}{1-y_{A,S}}\right)$$

$$\int_0^t dt = \frac{\rho_A}{M_A.C.D_{A,B}}\frac{1}{Ln\left(\frac{1-y_{A,t}}{1-y_{A,S}}\right)}\int_{Z_0}^{Z_1} z.dz$$

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

$$t = \frac{\rho_A}{M_A.C.D_{A,B}} \frac{1}{Ln\left(\frac{1-y_{A,t}}{1-y_{A,S}}\right)} \left[\frac{z^2}{2}\right]_{z_0}^{z_1}$$

$$t = \frac{\rho_A}{M_A.C.D_{A,B}} \frac{1}{Ln\left(\frac{1-y_{A,t}}{1-y_{A,S}}\right)} \left[\frac{z_1^2}{2} - \frac{z_0^2}{2}\right]$$

$$t = \frac{\rho_A}{M_A.C.D_{A,B}} \frac{1}{Ln\left(\frac{1-y_{A,t}}{1-y_{A,S}}\right)} \left[\frac{z_1^2 - z_0^2}{2}\right] \quad (4)$$

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

Para misturas gasosas:

$$C = \frac{P}{R \cdot T}$$

$$Ln\left(\frac{1-y_{A,t}}{1-y_{A,S}}\right) = Ln\left(1-\frac{P_v}{P}\right)$$

$$L(t)^2 = L(t_0)^2 - \frac{2 \cdot M_A \cdot P}{p_{liq} \cdot R \cdot T} \cdot D_{AB} \cdot \ln\left[1-\frac{Pa}{P}\right](t-t_0)$$

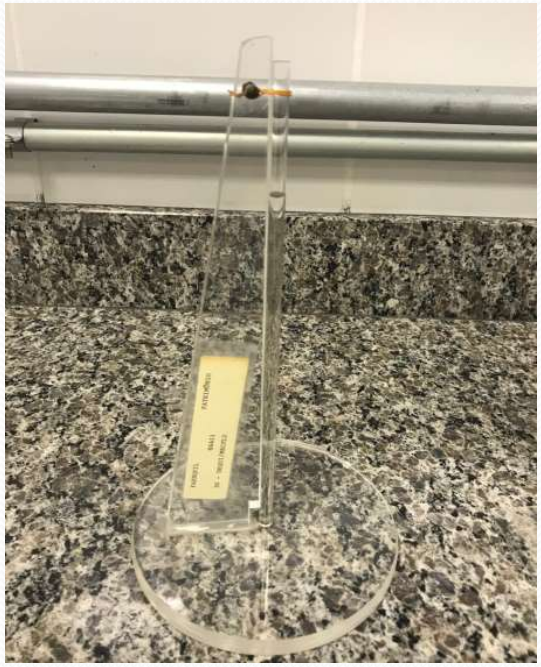
$L(t_0) = Z_0$ ... Altura entre o topo da coluna e a superfície do líquido antes de iniciar o processo de difusão de "A" em "B" (t=0)

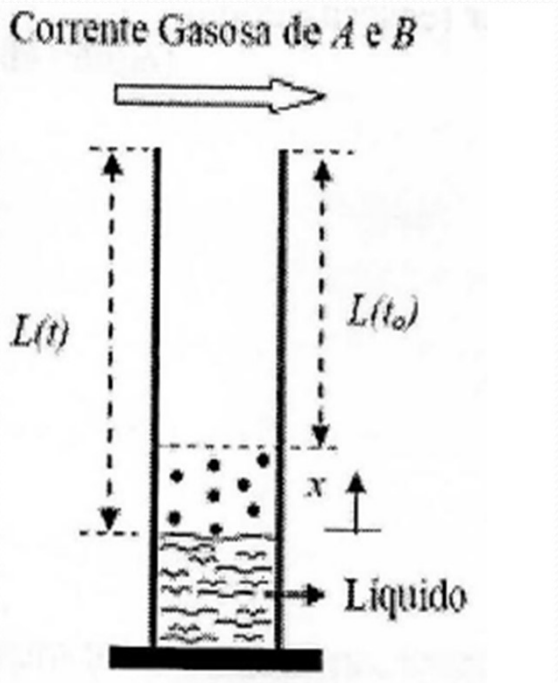
$L(t) = Z_1$ ... Altura entre o topo da coluna e a superfície do líquido após iniciar o processo iniciar o processo de difusão de "A" em "B" (t=qualquer)

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

Materiais utilizados:

- Célula de Stefan (tubo aberto para a atmosfera, onde é colocado um líquido volátil que vai ser submetido a difusão no ar)





EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

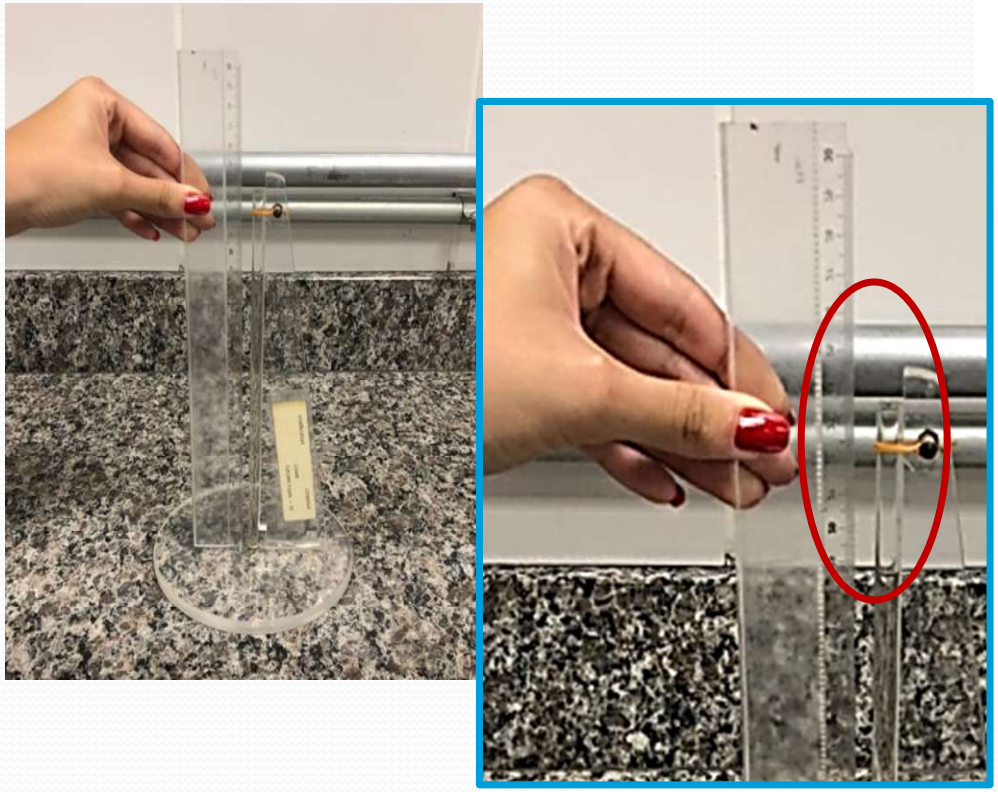
Materiais utilizados:

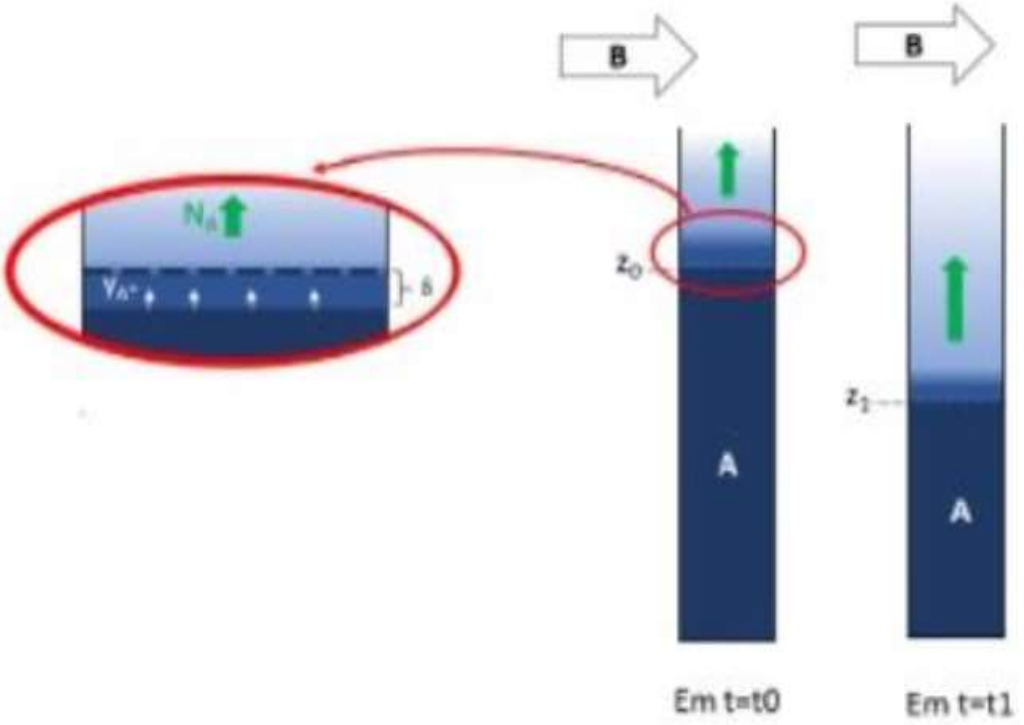
- **Célula de Stefan (tubo aberto para a atmosfera, onde é colocado um líquido volátil que vai ser submetido a difusão no ar)**
- **Termômetro**
- **Cronômetro**
- **Régua**
- **Pipeta**
- **Pipetador**
- **Dietil-éter**

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA

1. **Preencher a Célula de Stefan (capilar), utilizando pipeta e pipetador com o Dietil-Éter (substância cujo vapor será objeto de difusão no ar).**
2. **Anotar a temperatura do Dietil-Éter.**
3. **Após um tempo de espera de 5 minutos o sistema deverá atingir o pseudo repouso, formando a película de vapor.**
4. **Registrar a altura inicial entre o topo da coluna e o nível de líquido na célula – $L(t_0)$.**
5. **Durante 60 minutos, a cada 4 minutos, fazer a medição da altura entre o topo da coluna e o nível de líquido na célula – L(t).**
6. **Tratar os dados para obter o coeficiente de difusão.**

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO GASOSA





PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA II

Prof. Antonio Carlos da Silva

EXPERIMENTO DE DIFUSÃO DE GASES

OBJETIVOS:

- Determinar experimentalmente o coeficiente de difusão em misturas gasosas em condições de regime pseudo-estacionário onde um dos constituintes procede de uma substância líquida pura em evaporação.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

PROCEDIMENTOS:

- Tratar os dados para obtenção do coeficiente de difusão.
  - Preencher a Célula de Stefan (capilar), utilizando pipeta e pipetador com o Dietil-Éter (substância cujo vapor será objeto de difusão no ar).
  - Anotar a temperatura do Dietil-Éter **(26°C)**.
  - Após um tempo de espera de 5 minutos o sistema deverá atingir o pseudo repouso, formando a película de vapor.
  - Registrar a altura inicial entre o topo da coluna e o nível de líquido na célula – $L(t_0)$.
  - Durante 60 minutos, a cada 4 minutos, fazer a medição da altura entre o topo da coluna e o nível de líquido na célula – L(t).
  - Tratar os dados para obter o Coeficiente de Difusão.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

DADOS EXPERIMENTAIS:

Medição	Tempo (s)	Altura de líquido na célula (mm)
1	0	187,0
2	240	186,5
3	480	186,0
4	720	185,5
5	960	185,0
6	1200	184,5
7	1440	184,0
8	1680	183,5
9	1920	183,0
10	2160	182,5
11	2400	182,0
12	2880	182,0
13	3120	181,5
14	3360	181,5
15	3600	181,0

Observação: a Célula de Stefan tem 240 mm de altura.