



Fenômenos de Transporte

Introdução a Fenômenos de Transporte

Prof. Dr. Felipe Corrêa



**PUC
GOIÁS**



Introdução a Fenômenos de Transporte

Fenômenos de Transporte

Refere-se ao estudo sistemático e unificado da transferência de quantidade de movimento, energia e matéria.

[Mecânica dos Fluidos](#)

[Transferência de Calor](#)

[Transferência de Massa](#)

Propriedades e grandezas relativas aos fluidos

- Sistema de unidades.
- Definição de fluido.
- Peso e massa específica.
- Densidade. Viscosidade.
- Tensão superficial.
- Capilaridade

UNIDADES DE MEDIDA: Unidades básicas do sistemas Internacional (SI)

Grandeza	Nome	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Intensidade de corrente elétrica	ampère	A
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de substância	mole	mol
Intensidade luminosa	candela	cd

Unidades Derivadas

Grandeza	Nome	Símbolo
Superfície	metro quadrado	m^2
Volume	metro cúbico	m^3
Velocidade	metro por segundo	m/s
Aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s^2
Número de ondas	metro á potencia menos um	m^{-1}
massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m^3
Velocidade angular	radiano por segundo	rad/s
Aceleração angular	radiano por segundo ao quadrado	rad/s^2

Unidades Derivadas com Nomes e Símbolos e Especiais

Grandeza	Nome	Símbolo	Expressão em outras unidades SI	Expressão em unidades básicas SI
Freqüência	hertz	Hz		s^{-1}
Força	newton	N		$m\ kg\ s^{-2}$
Pressão	pascal	Pa	$N\ m^{-2}$	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
Energia, trabalho, Quantidade de calor	joule	J	$N\ m$	$m^2\ kg\ s^{-2}$
Potência	watt	W	$J\ s^{-1}$	$m^2\ kg\ s^{-3}$
Quantidade de eletricidade carga elétrica	coulomb	C		$s\ A$
Potencial elétrico força eletromotriz	volt	V	$W\ A^{-1}$	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
Resistência elétrica	ohm	Ω	$V\ A^{-1}$	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
Capacitância elétrica	farad	F	$C\ V^{-1}$	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
Fluxo magnético	weber	Wb	$V\ s$	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
Indução magnética	tesla	T	$Wb\ m^{-2}$	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
Indutância	henry	H	$Wb\ A^{-1}$	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$

CONVERSÃO DE UNIDADES

**TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES:
COMPRIMENTO**

	cm	m	km	in	ft	mi
1 centímetro (cm)	1	0,01	0,00001	0,3937	0,0328	0,000006214
1 metro (m)	100	1	0,001	39,3	3,281	0,0006214
1 quilômetro (km)	100000	1000	1	39370	3281	0,6214
1 polegada (in)	2,54	0,0254	0,0000254	1	0,08333	0,00001578
1 pé (ft)	30,48	0,3048	3,048	12	1	0,0001894
1 milha terrestre (mi)	160900	1609	1,609	63360	5280	1

**TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES:
MASSA**

	g	Kg	slug	u.m.a.	onça	lb	ton
1 grama (g)	1	0,001	0,00006852	$6,024 \times 10^{23}$	0,03527	0,002205	0,000001102
1quilograma (Kg)	1000	1	0,06852	$6,024 \times 10^{26}$	35,27	2,205	0,001102
1 slug	14590	14,59	1	$8,789 \times 10^{27}$	514,8	32,17	0,01609
1 u.m.a.	$1,66 \times 10^{-24}$	$1,66 \times 10^{-27}$	$1,137 \times 10^{-28}$	1	$5,855 \times 10^{-26}$	$3,66 \times 10^{-27}$	$1,829 \times 10^{-30}$
1 onça	28,35	0,02835	0,001943	$1,708 \times 10^{25}$	1	0,0625	0,00003125
1 libra (lb)	453,6	0,4536	0,03108	$2,732 \times 10^{26}$	16	1	0,0005
1 ton	907200	907,2	62,16	$5,465 \times 10^{29}$	32000	2000	1

CONVERSÃO DE UNIDADES

**TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES:
ÁREA**

	m²	cm²	ft²	in²
1 metro quadrado(m²)	1	10000	10,76	1550
1 centímetro quadrado(cm²)	0,0001	1	0,001076	0,1550
1 pé quadrado(ft²)	0,0929	929	1	144
1 polegada quadrada(in²)	0,0006452	6,452	0,006944	1

**TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES:
VOLUME**

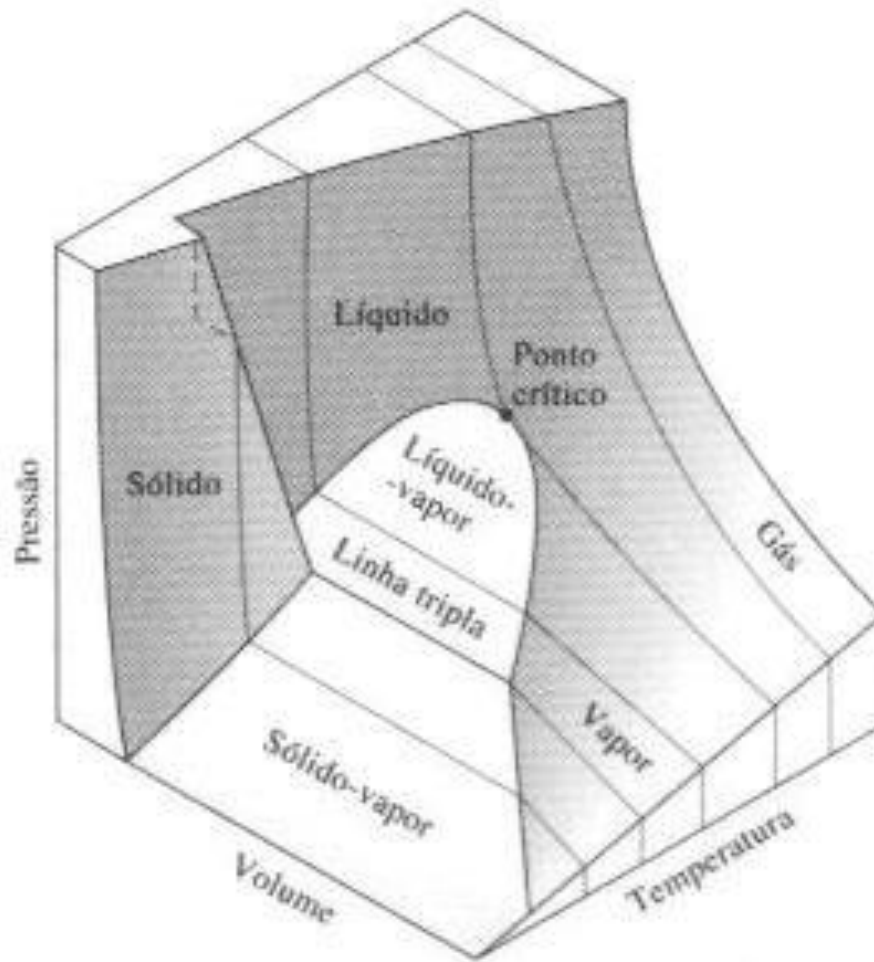
	m³	cm³	l	ft³	in³
1 metro cúbico(m³)	1	1000000	1000	35,31	61020
1 centímetro cúbico(cm³)	0,000001	1	0,001	0,00003531	0,06102
1 litro(l)	0,001	1000	1	0,03531	61,02
1 pé cúbico(ft³)	0,02832	28320	28,32	1	1728
1 polegada cúbica(in³)	0,00001639	16,39	0,01639	0,0005787	1

Tabela de Conversão de Unidades

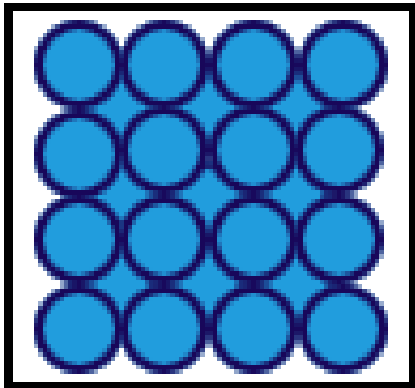
**TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES:
VÁRIOS**

Comprimento	$1\text{m}=3,281\text{pés}=39,37\text{pol}$
Área	$1\text{m}^2=10,76\text{pés}^2=1.550\text{pol}^2$
Volume	$1\text{m}^3=35,3\text{pés}^3=1.000\text{litros}$
Volume	$1\text{galão(USA)}=3,8\text{litros}$
Massa	$1\text{kg}=2,2\text{ lb } 1\text{lb}=0,45\text{kg } 1\text{ onça}=28,35\text{g}$
Pressão	$1\text{atm}=1,033\text{kgf/cm}^2=14,7\text{lbf/pol}^2(\text{PSI})$
Pressão	$1\text{bar}=100\text{kPa}=1,02\text{atm}=29,5\text{polHg}$
Energia	$1\text{kWh}=860\text{kcal } 1\text{kcal}=3,97\text{Btu}$
Energia	$1\text{kgm}=9,8\text{J } 1\text{Btu}=0,252\text{kcal}$
Potência	$1\text{kW}=102\text{kgm/s}=1,36\text{HP}=1,34\text{BHP}=3.413\text{Btu/h}$
Potência	$1\text{TR}=3.024\text{kcal/h}=200\text{Btu/min}=12.000\text{Btu/h}$
Temperatura	$^{\circ}\text{F}=32+1,8.^{\circ}\text{C} \quad \text{K}=273+^{\circ}\text{C} \quad \text{R}=460+^{\circ}\text{F}$

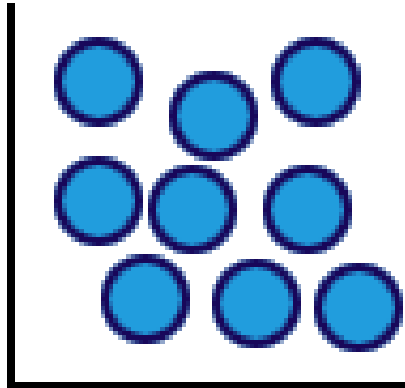
Para representar os estados de equilíbrio de uma substância pura são necessárias três dimensões: Volume, Pressão e Temperatura



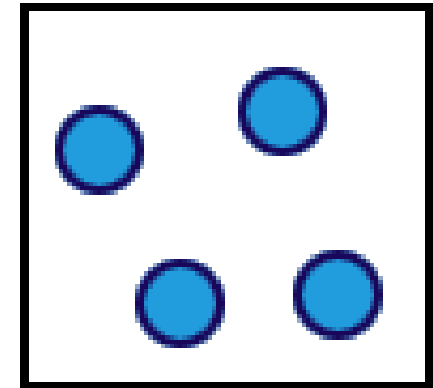
Definição de fluido



Sólido



Líquido



Gasoso

Definição de fluido



Fluido é uma substância que tem a capacidade de escoar. Quando um fluido é submetido a uma força tangencial, deforma-se de modo contínuo, ou seja, quando colocado em um recipiente qualquer, o fluido adquire o seu formato.

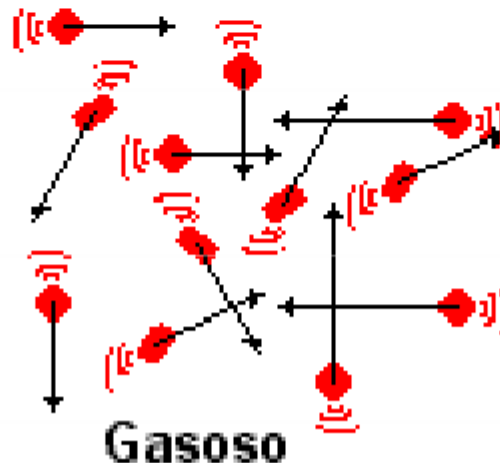
DIVISÃO DOS FLUIDOS: Líquidos

- ▶ As moléculas de um líquido estão muito próximas, porém, mais afastadas do que as de um sólido. Um líquido não tem rede cristalina.
- ▶ As interações entre as moléculas também são bastante intensas, mas menores do que as observadas nos sólidos. As interações entre as moléculas dos líquidos se manifestam como forças de van der Waals.
- ▶ As moléculas têm liberdade para se movimentarem entre os espaços livres existentes entre elas (vacâncias).
- ▶ A disposição molecular de um líquido é regular apenas a curta distância.

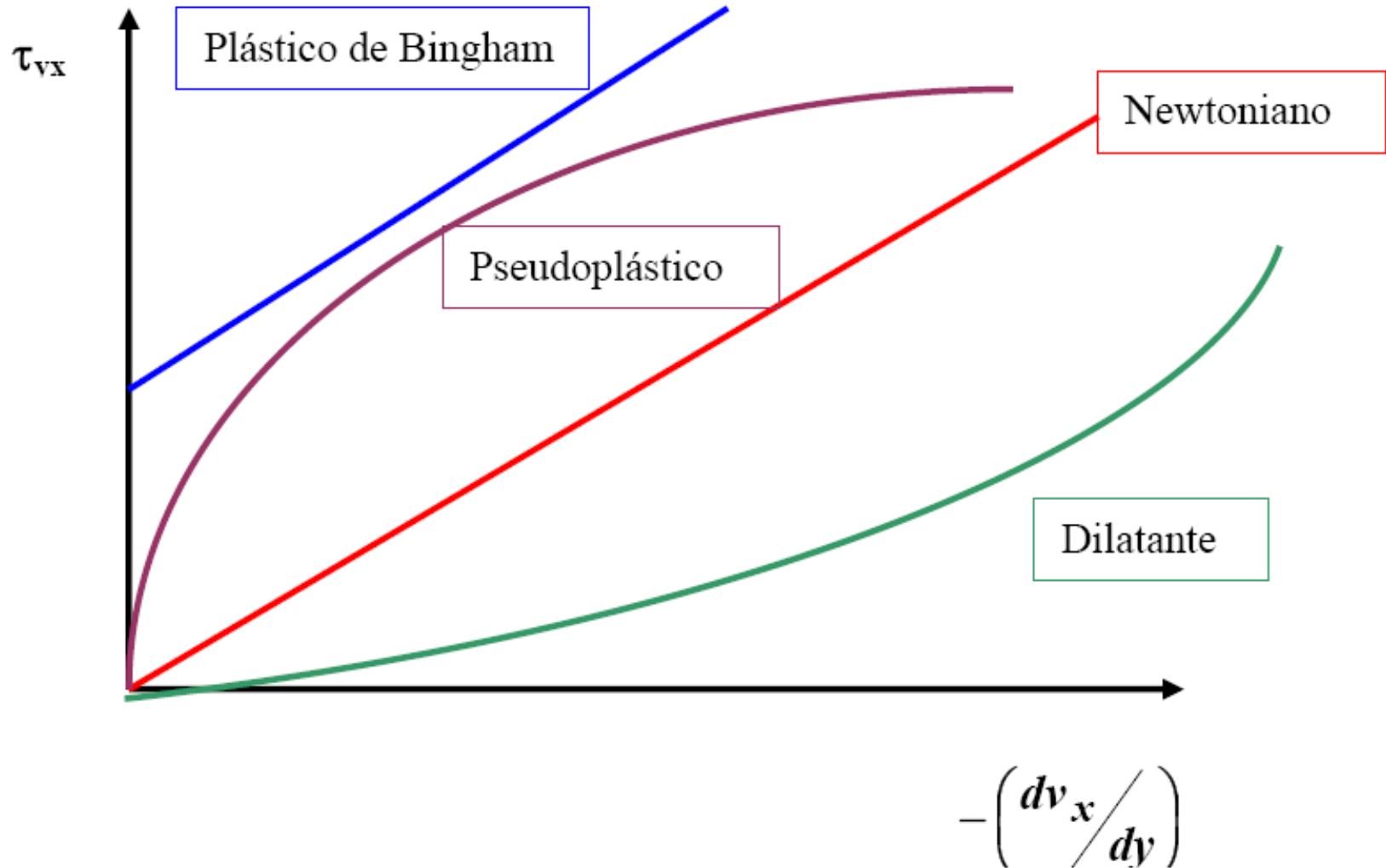


DIVISÃO DOS FLUIDOS: Gases

- ▶ Estado caracterizado pela desorganização espacial de suas partículas constitutivas (átomos, íons ou moléculas).
- ▶ As interações entre as moléculas são fracas e as partículas estão em constante movimento, devido à agitação térmica, que é caótico e não tem direção preferencial.



Tipos de Fluidos



Tipos de Fluidos



- Fluidos newtonianos
- Fluidos não newtonianos independentes do tempo
- Fluidos não newtonianos dependentes do tempo
- Viscoelásticos

Propriedades dos fluidos



- Massa específica
- Peso específico
- Peso específico relativo
- Viscosidade
- Tensão superficial
- Capilaridade

Propriedades dos fluidos

Massa específica

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Peso específico

$$\gamma = \rho g \quad (\text{N/m}^3)$$

Peso específico relativo

$$d = \frac{\rho_{\text{fluido}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}(4^\circ\text{C})}} = \frac{\gamma_{\text{fluido}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}(4^\circ\text{C})}}$$

Tabela de propriedades de fluidos

Líquido	Massa Específica - ρ (kg/m ³)	Peso Específico - γ (N/m ³)	Peso específico Relativo - γ_r
Água	1000	10000	1
Água do mar	1025	10250	1,025
Benzeno	879	8790	0,879
Gasolina	720	7200	0,720
Mercúrio	13600	136000	13,6
Óleo lubrificante	880	8800	0,880
Petróleo bruto	850	8500	0,850
Querosene	820	8200	0,820
Etanol	789	7890	0,789
Acetona	791	7910	0,791

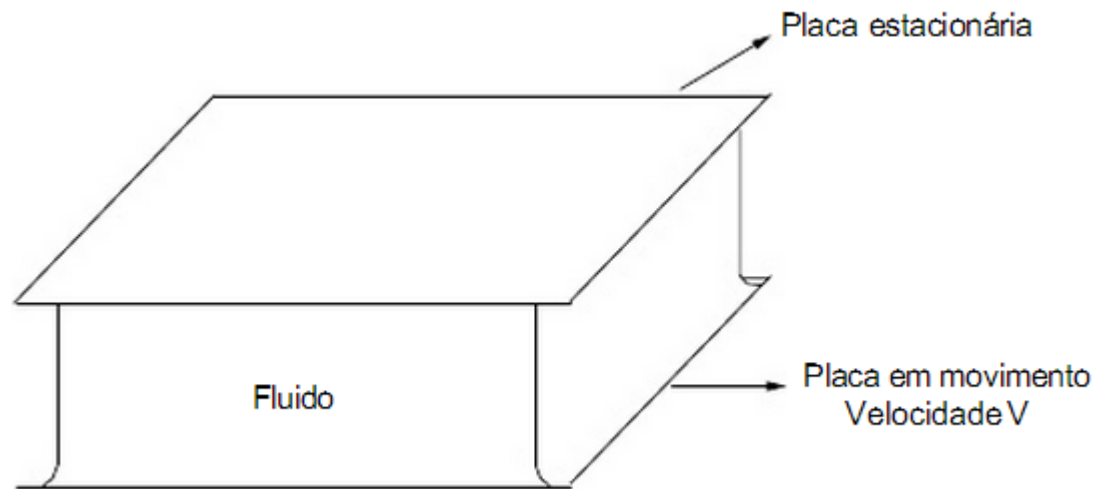
Viscosidade

- A viscosidade de um fluido é a propriedade que determina o grau de sua resistência a uma força de cisalhamento. Esta é decorrente da interação entre as moléculas dos fluidos.
- Viscosidade dinâmica
- Viscosidade cinemática

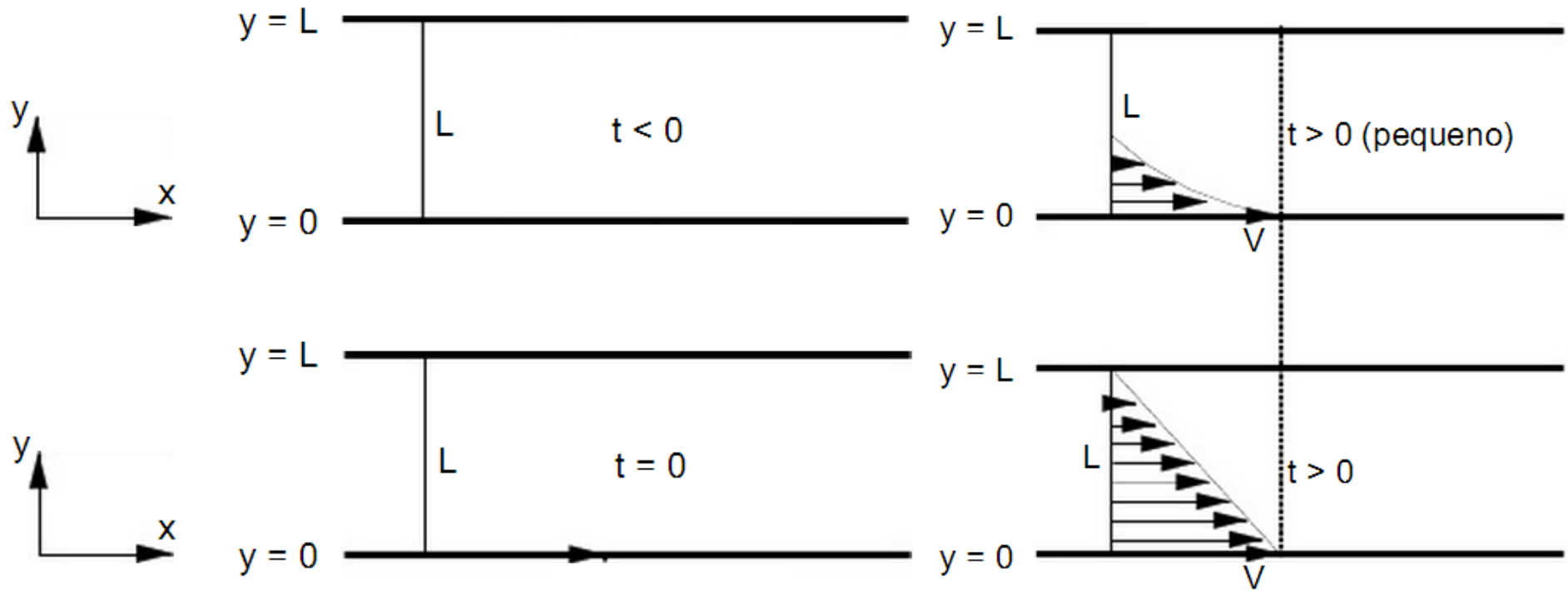
Viscosidade dinâmica

- A viscosidade dinâmica (μ) é o **coeficiente de proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade**. O seu significado físico é a propriedade do fluido através da qual ele oferece resistência às tensões de cisalhamento. Os fluidos que apresentam esta relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação são denominados **newtonianos** e representam a maioria dos fluidos.

Viscosidade de fluidos



Viscosidade de fluidos



Viscosidade dinâmica

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dy} = \frac{\textit{Tensão de cisalhamento}}{\textit{Taxa de deformação por cisalhamento}}$$

Unidades de viscosidade nos sistemas de unidade mais comuns são:

CGS : $[\mu]$ poise = dina x s/ cm²

MK*S: $[\mu]$ kgf x $\frac{s}{m^2}$

SI : $[\mu]$ N x s/m²

Viscosidade cinemática

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\textit{viscosidade dinamica}}{\textit{massa especifica}}$$

Unidades de viscosidade nos sistemas de unidade mais comuns são:

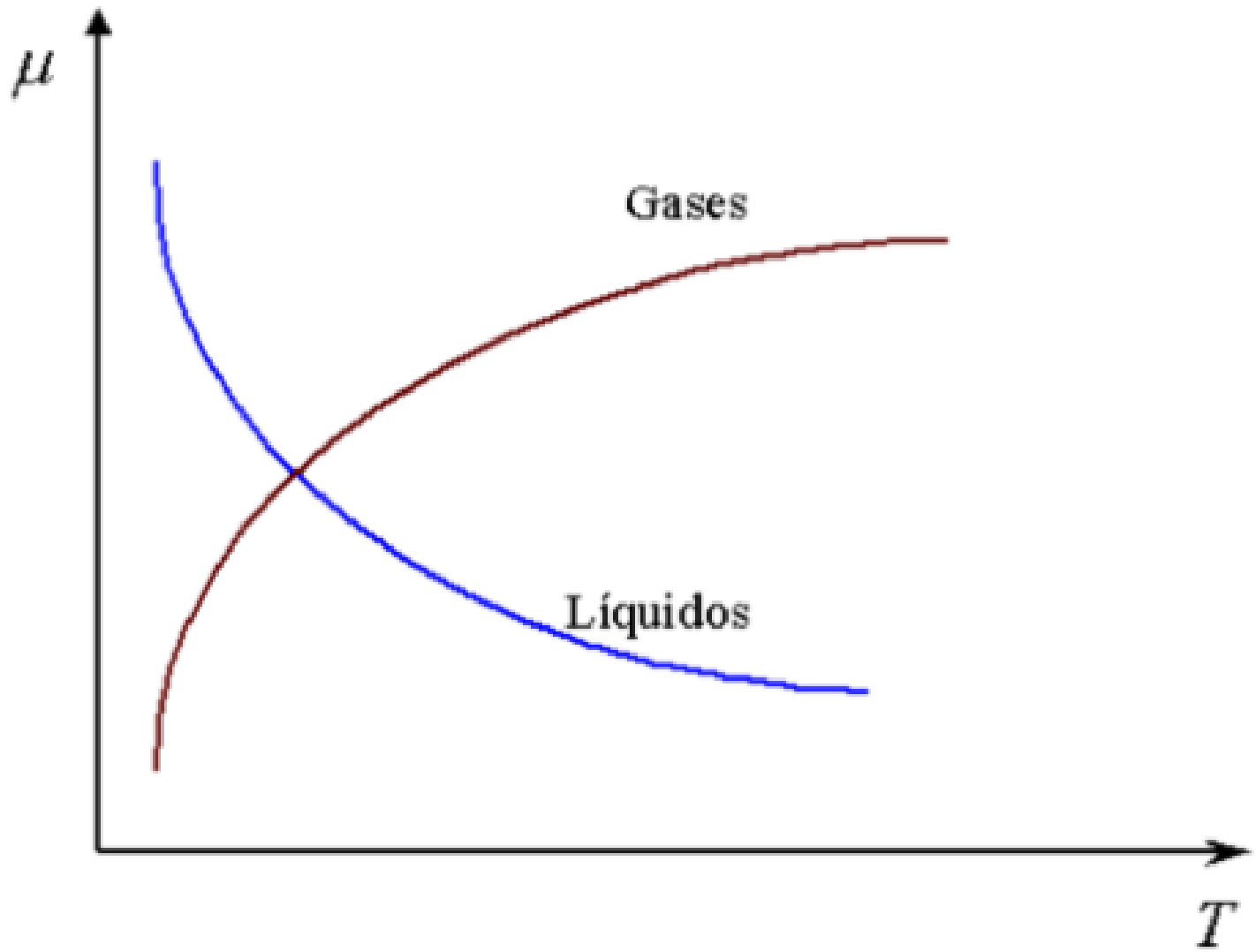
$$\text{CGS : } v = \textit{stokes} = \frac{\textit{cm}^2}{\textit{s}}$$

$$\text{MK*S e SI : } v = \frac{\textit{m}^2}{\textit{s}}$$

Viscosidade



Fluido	Comportamento	Fenômeno
Líquidos	A viscosidade diminui com a temperatura.	Observa-se um pequeno espaçamento entre moléculas pequeno e ocorre a redução da atração molecular com o aumento da temperatura
Gases	A viscosidade aumenta com a temperatura.	Observa-se um grande espaçamento entre moléculas e ocorre o aumento do choque entre moléculas com o aumento da temperatura.



Efeito da temperatura na viscosidade em líquidos e gases



Tensão superficial

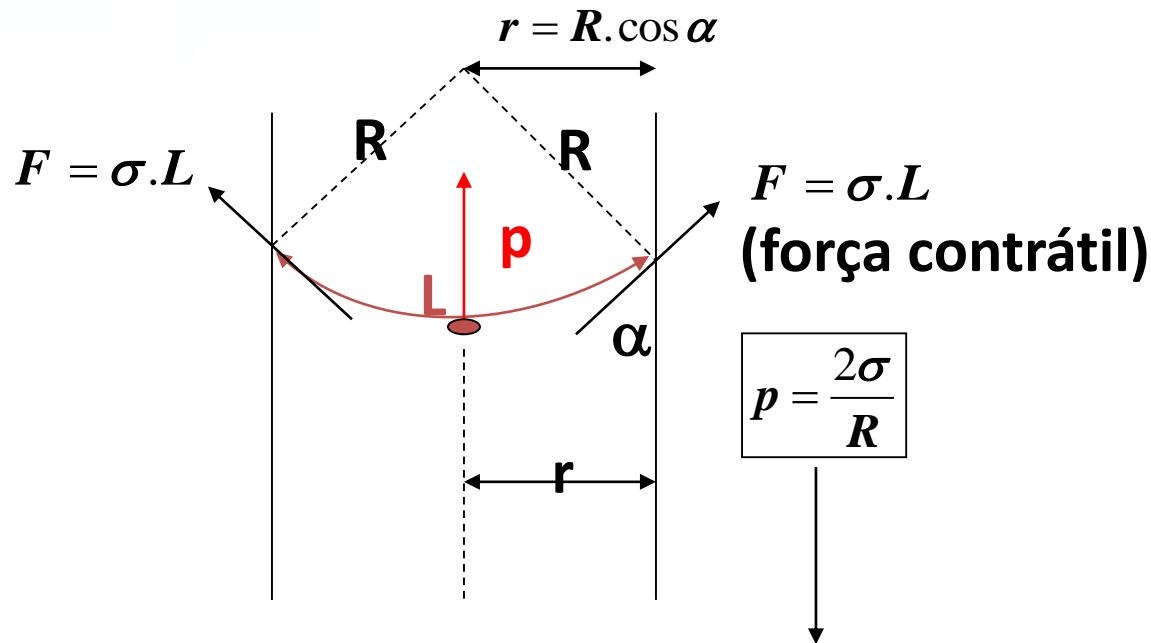
A tensão superficial é uma grandeza física decorrente de forças de atração moleculares. Uma partícula líquida, em consequência de forças de atração entre as moléculas e sem o efeito de outras forças que não essa atração molecular, toma uma forma esférica. Pode ser definida como **uma força contrativa que opera no perímetro da superfície livre para o ar e que tende a comprimi-la.**

Tensão superficial

A tensão superficial de um líquido representa o trabalho que ser executado para trazer do interior do líquido uma quantidade de moléculas para formar uma nova unidade de área daquela superfície.

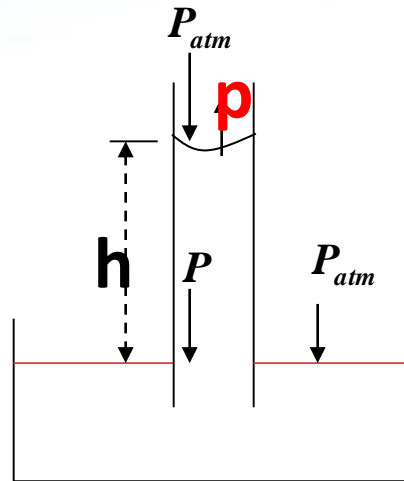
$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta L}$$

Capilaridade



p = pressão interna sob a superfície côncava = “tensão”

Capilaridade



$$P = P_{atm} + \rho g h - p$$

$$P_{atm} + \rho g h - p = P_{atm}$$

$$p = \rho g h$$

$$\frac{2\sigma}{R} = \rho g h$$

$$\frac{2\sigma}{r} = \rho g h$$

$$\cos\alpha$$

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\alpha}{\rho \cdot g \cdot r}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} h = \text{cm} \\ \sigma = 71,9 \text{ dinas} \cdot \text{cm}^{-1} \\ \alpha = 0 - 10^0 \text{ (águas x vidro)} \\ \rho_w = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \\ g = 981 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2} \end{array} \right.$$

Exercício 1

- A massa específica de uma determinada substância é igual a 740 kg/m^3 , determine o volume ocupado por uma massa de 500 kg, 625 kg e 765 kg dessa substância.

Exercício 2

- Um reservatório cilíndrico possui de base igual a 2 m e altura de 4 m, sabendo que o mesmo está totalmente preenchido com gasolina (720 kg/m^3), determine a massa de gasolina presente no reservatório.

Exercício 3

- Sabe-se que 400 kg de um líquido ocupa um reservatório com volume de 1500 L, determine a sua massa específica, seu peso específico e peso específico relativo. Dados:

$$\gamma_{H_2O} = 10000 \text{ N/ m}^3; g = 10 \text{ m/s}^2.$$

Exercício 4

- Determine o peso específico relativo e a massa de mercúrio presente em uma garrafa de 2 L.
Dados $g: 10 \text{ m/s}^2$.

Exercício 5

- Enquanto que, nos líquidos, a viscosidade decresce com o aumento da temperatura, nos gases ocorre o contrário. Explique o porquê.

Exercício 6

- Duas placas planas paralelas estão situadas a 3 mm de distância. A placa superior move-se com velocidade de 4m/s, enquanto que a inferior está imóvel. Considerando que um óleo ($\nu = 0,15$ stokes e $\rho = 905 \text{ kg/m}^3$) ocupa o espaço entre elas, determinar a tensão de cisalhamento que agirá sobre o óleo.



Grato pela atenção

Prof. Dr. Felipe Corrêa