

**INSTITUTO FEDERAL**

Sertão Pernambucano

Campus Petrolina Zona Rural

# Aula 3 – Propriedade dos fluidos

Prof. José Sebastião Costa de Sousa

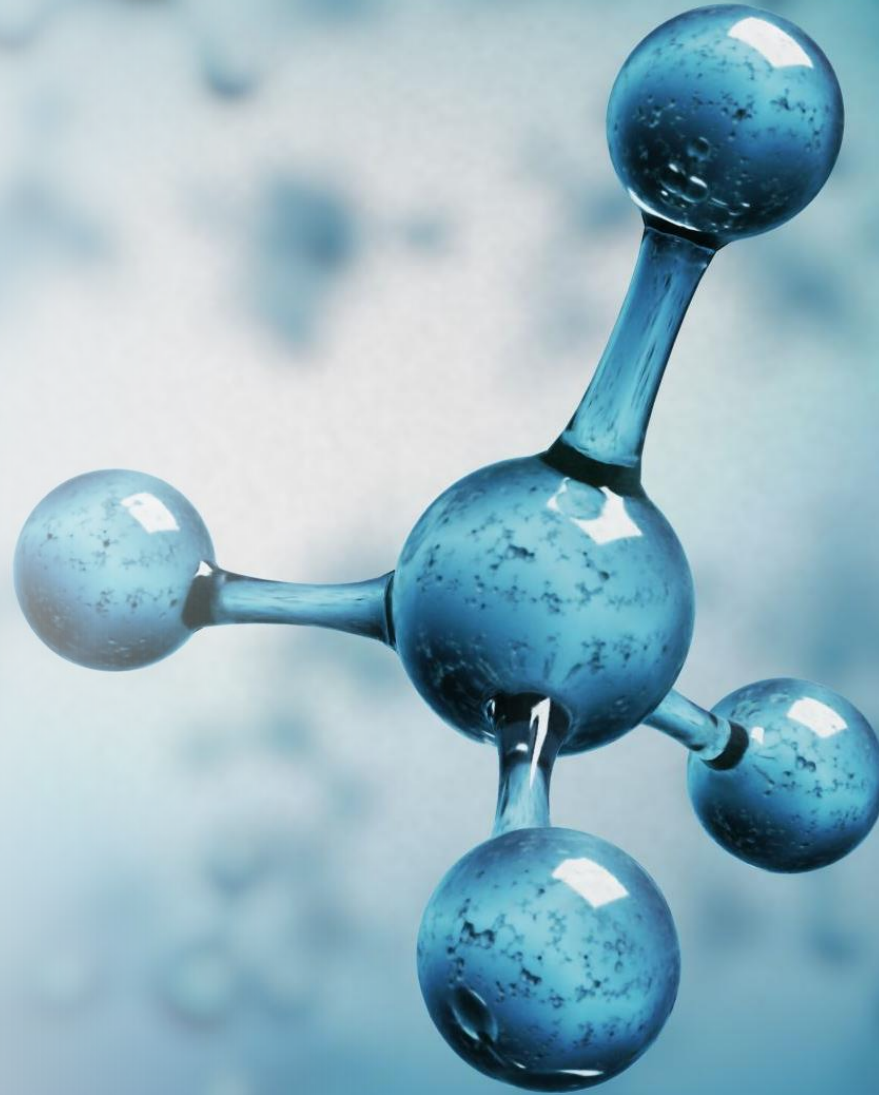
Dr. Engenharia Agrícola

CPZR/IFSertãoPE

# Definições

**Fluidos** – são substâncias que se deformam sob qualquer tensão de cisalhamento, inclusive sob ação do seu próprio peso; assumem o formato do recipiente que os contém e **compreendem os líquidos e os gases** (aeriformes).

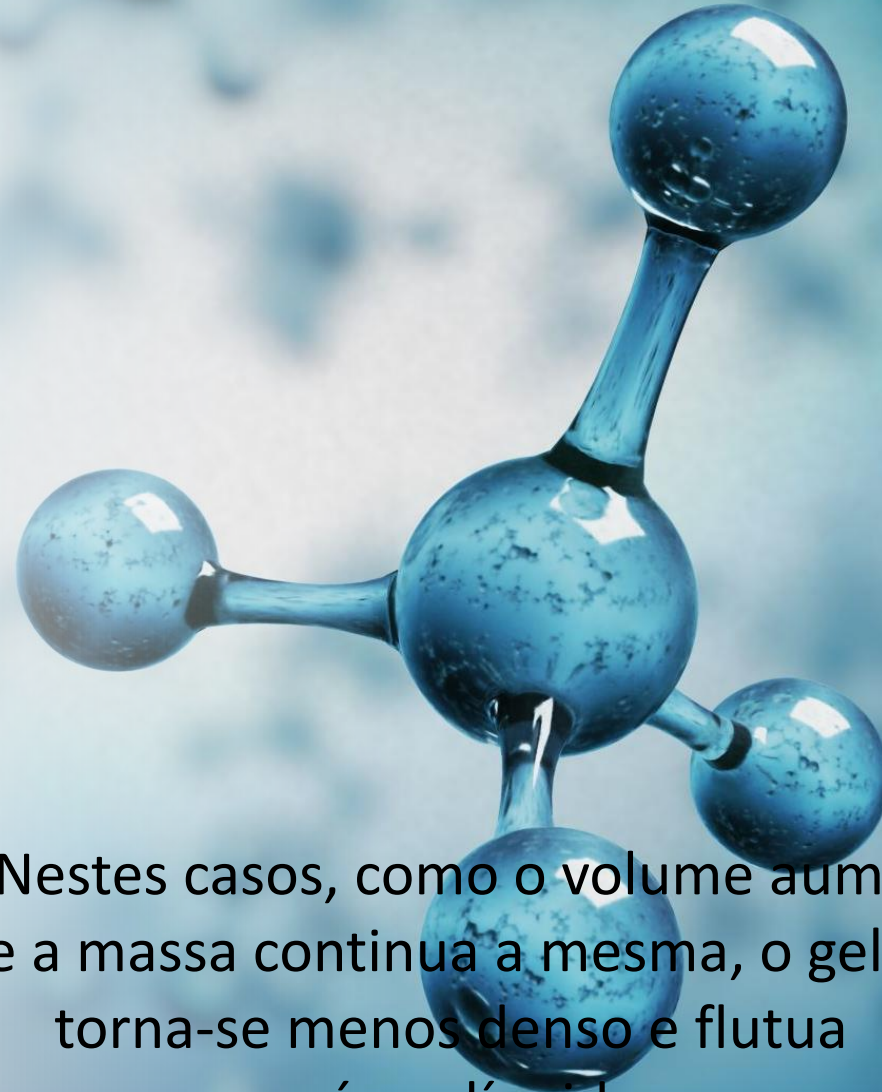
**A água** é o fluido mais importante para o nosso curso/disciplina.



# Definições

As propriedades dos fluidos consistem num conjunto de características que definem o comportamento da substância (fluido) em determinadas condições de pressurização, temperatura etc.

**Exemplo:** Já perceberam que as garrafas d'água, plásticas, ficam a ponto de estourar quando a água congela?



E + Nestes casos, como o volume aumenta e a massa continua a mesma, o gelo torna-se menos denso e flutua na água líquida.

# Densidade

- **Densidade absoluta ou massa específica**

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

$\rho$  – densidade,  $M L^{-3}$  (no SI  $kg/m^3$ )  
 $M$  – massa,  $M$  (no SI  $kg$ )  
 $V$  – volume,  $L^3$  (no SI  $m^3$ )

- **Densidade relativa**

$$d = \frac{\rho_s}{\rho_r}$$
$$d = \frac{M[kg]}{V[L]}$$

$d$  – densidade relativa, adimensional  
 $\rho_s$  – densidade da substância,  $M L^{-3}$   
 $\rho_r$  – densidade de referência,  $M L^{-3}$   
 $\rho_r = 1.000 kg/m^3$  (água a 4 °C)  
 $d$  do gelo  $\approx 0,92$ .

**Exemplo:** Considere a densidade ( $d$ ) da água do mar morto de 1,12, **pergunta-se**, quantos litros destas águas são necessários para gerar 20 toneladas?

Tabela A-1.4.2-a Variação da massa específica da água doce com a temperatura

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
0	999,87	40	992,24
2	999,97	50	988
4	1.000,00	60	983
5	999,99	70	978
10	999,73	80	972
15	999,13	90	965
20	998,23	100	958
30	995,67		

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

R.: 17.857,14 L

**Vejam:**

$$d = M [kg]/V[L] \Rightarrow V = M/d$$
$$V = 20.000/1,12$$
$$V = 17.857,14 L$$

# Densidade

- **Densidade absoluta ou massa específica**

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

$\rho$  – densidade,  $M L^{-3}$  (no SI  $kg/m^3$ )  
 $M$  – massa,  $M$  (no SI  $kg$ )  
 $V$  – volume,  $L^3$  (no SI  $m^3$ )

- **Densidade relativa**

$$d = \frac{\rho_s}{\rho_r}$$

$d$  – densidade relativa, adimensional  
 $\rho_s$  – densidade da substância,  $M L^{-3}$   
 $\rho_r$  – densidade de referência,  $M L^{-3}$   
 $\rho_r = 1.000 \text{ kg/m}^3$  (água a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ )  
 $d$  do gelo  $\approx 0,92$ .

$$d = \frac{M[\text{kg}]}{V[\text{L}]}$$

**Interessante!** Se nos oceanos a  $d \approx 1,03$ , um iceberg esconde (embaixo d'água) cerca de 89,32% do seu volume. **Demostre!!**

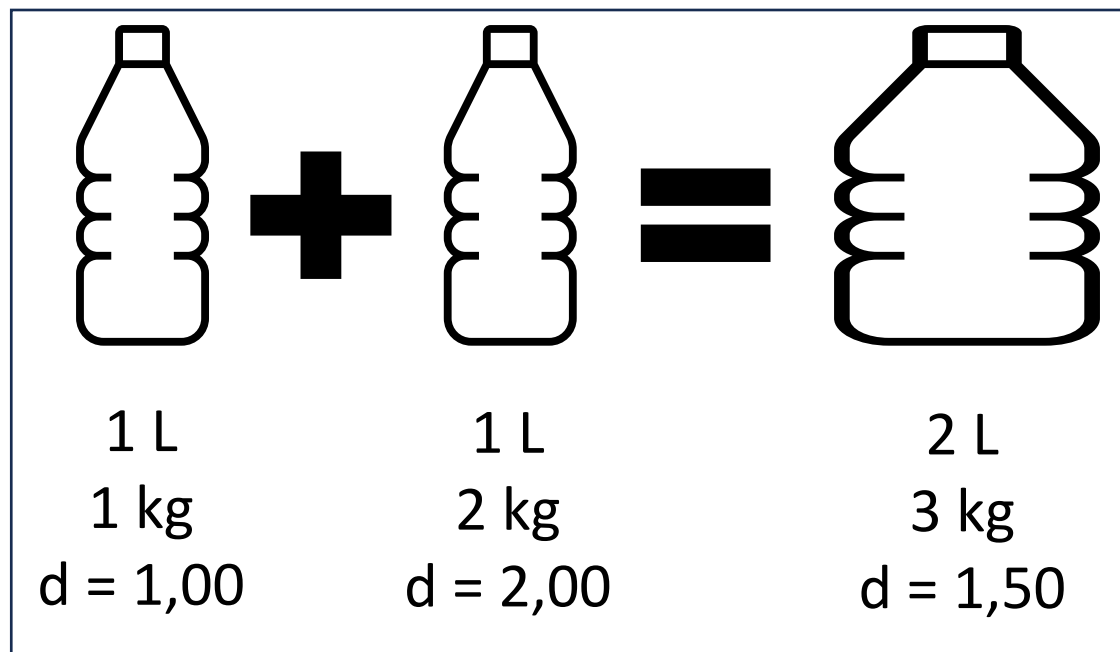


[Densidade da água e do gelo. Importância da densidade do gelo \(uol.com.br\)](http://uol.com.br)

# Densidade

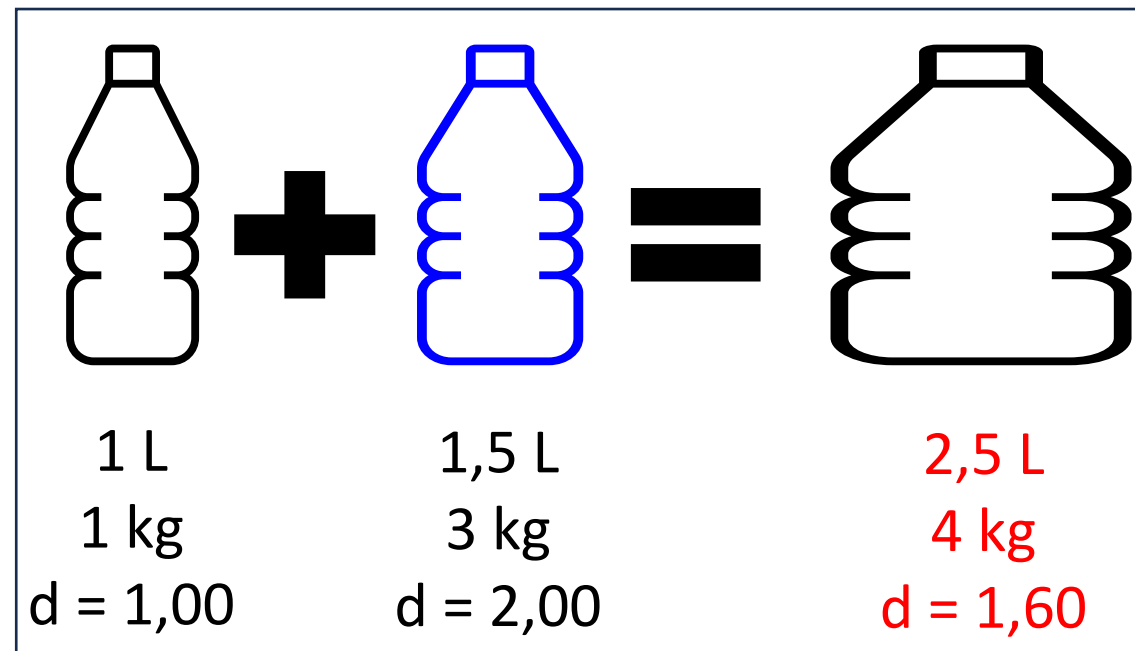
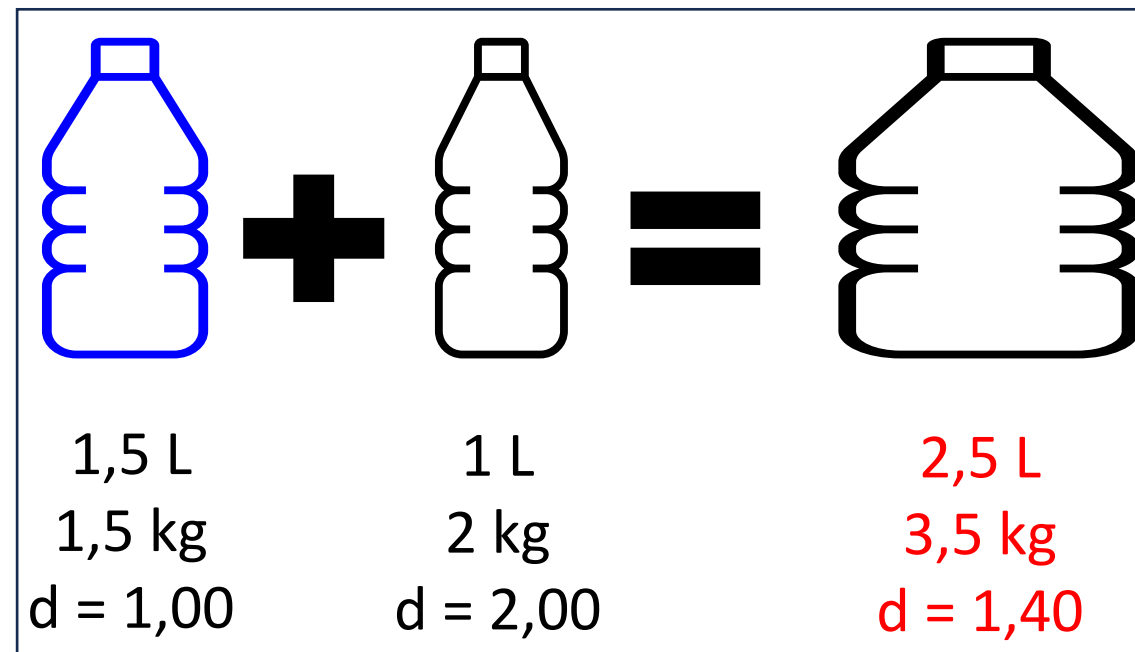
- *Mistura de substâncias*

$$d = \frac{M[\text{kg}]}{V[\text{L}]}$$



**Contraprova:**

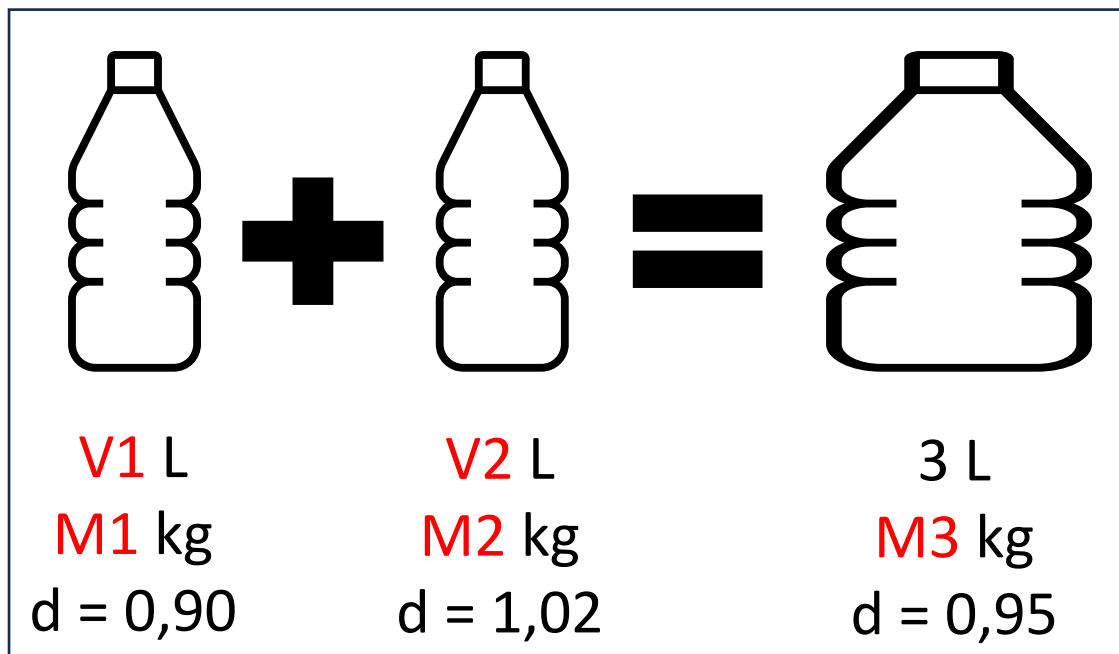
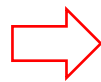
*Deve-se conferir se os somatórios das massas e volumes correspondem ao valores da mistura final.*



# Densidade

## • Mistura de substâncias

$$d = \frac{M[\text{kg}]}{V[\text{L}]}$$



Resp.:  $V1 = 1,75$  L                       $M3 = 3 \times 0,95 = 2,85$  kg  
 $M1 = 1,575$  kg                       $M3 = M1 + M2$   
 $V2 = 1,25$  L                       $M3 = 1,575 + 1,275$   
 $M2 = 1,275$  kg                       $M3 = 2,85$  kg

$$V3 = V1 + V2$$

$$M3 = M1 + M2$$

$$M = d \times V$$

$$M1 = d1 \times V1$$

$$M2 = d2 \times V2$$

$$M3 = d3 \times V3$$

$$d3 \times V3 = d1 \times V1 + d2 \times V2$$

$$V1 = V3 - V2$$

$$d3 \times V3 = d1 \times (V3 - V2) + d2 \times V2$$

$$d3 \times V3 = d1 \times V3 - d1 \times V2 + d2 \times V2$$

$$d3 \times V3 - d1 \times V3 = -d1 \times V2 + d2 \times V2$$

$$V3 \times (d3 - d1) = V2 \times (d2 - d1)$$

$$V2 = V3 \times \frac{(d3 - d1)}{(d2 - d1)}$$

Resolvendo o exercício:

$$V2 = 3 \times \frac{(0,95 - 0,90)}{(1,02 - 0,90)}$$

$$V2 = 1,25 \text{ L}$$

$$V1 = 3,00 - 1,25$$

$$V1 = 1,75 \text{ L}$$

# Densidade – equipamentos e medições



instrumentos de medida de massa

<http://profxl9ano.blogspot.com/2012/02/>



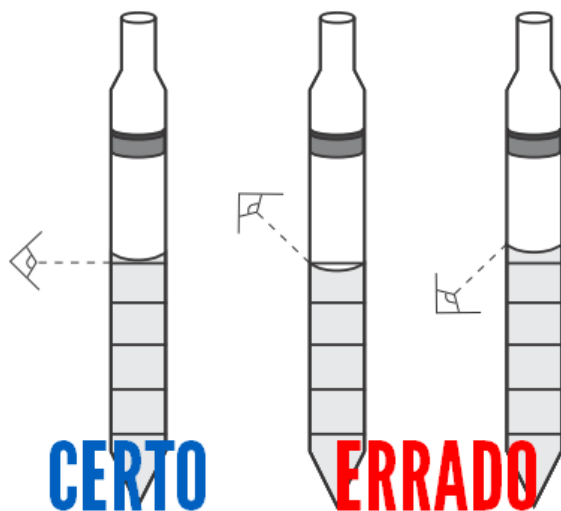
instrumentos de medida de volume



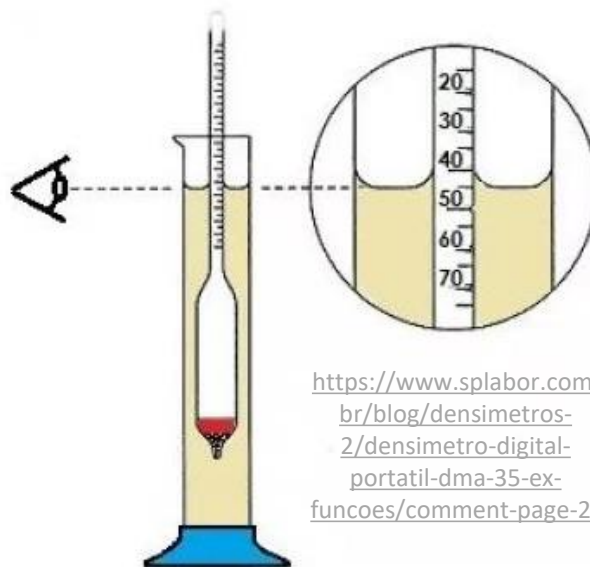
Analítica  
Leit.: 0,0001 g

Semianalítica  
Leit.: 0,001 g

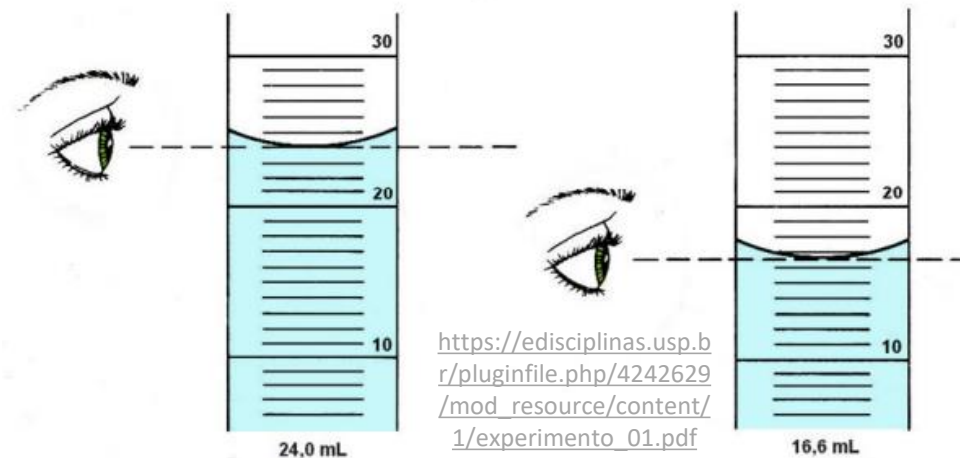
<http://www.splabor.com.br/blog/balancade-precisao/splabor-orienta-qual-a-diferenca-entre-balanca-analitica-e-balanca-semi-analitica/>



<https://www.biomedicina.padrao.com.br/2014/09/pipeta-um-instrumento-simples-porem-de.html>



<https://www.splabor.com.br/blog/densimetros-2/densimetro-digital-portatil-dma-35-ex-funcoes/comment-page-2/>



[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4242629/mod\\_resource/content/1/experimento\\_01.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4242629/mod_resource/content/1/experimento_01.pdf)



# Volume e Peso específico

## • *Volume específico*

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

Pronúncia v: ni ou nu.

v – volume específico, L<sup>3</sup> M<sup>-1</sup> (no SI m<sup>3</sup>/kg).

ρ – densidade, M L<sup>-3</sup> (no SI kg/m<sup>3</sup>).

M – massa, M (no SI kg).

V – volume, L<sup>3</sup> (no SI m<sup>3</sup>).

$$v = \frac{1}{\rho}$$

## • *Peso específico*

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

Pronúncia γ: gama.

γ – peso específico, M L<sup>-2</sup> T<sup>-2</sup> (no SI N/m<sup>3</sup>).

P – força peso, M L T<sup>-2</sup> (no SI N).

V – volume, L<sup>3</sup> (no SI m<sup>3</sup>).

$$\gamma = \rho \times g$$

ρ – densidade, M L<sup>-3</sup> (no SI kg/m<sup>3</sup>).

g – aceleração da gravidade, L T<sup>-2</sup> (no SI m/s<sup>2</sup>).

### Demonstrando:

$$\gamma = \rho \times g$$

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

$$\gamma = \frac{M \times g}{V}$$

$$\gamma = \frac{M}{V} \times g$$

$$\gamma = \rho \times g$$

Se na terra, g = 9,80 m/s<sup>2</sup>, uma pessoa pesa 735 N quanto pesaria na lua em que g = 1,62 m/s<sup>2</sup>?

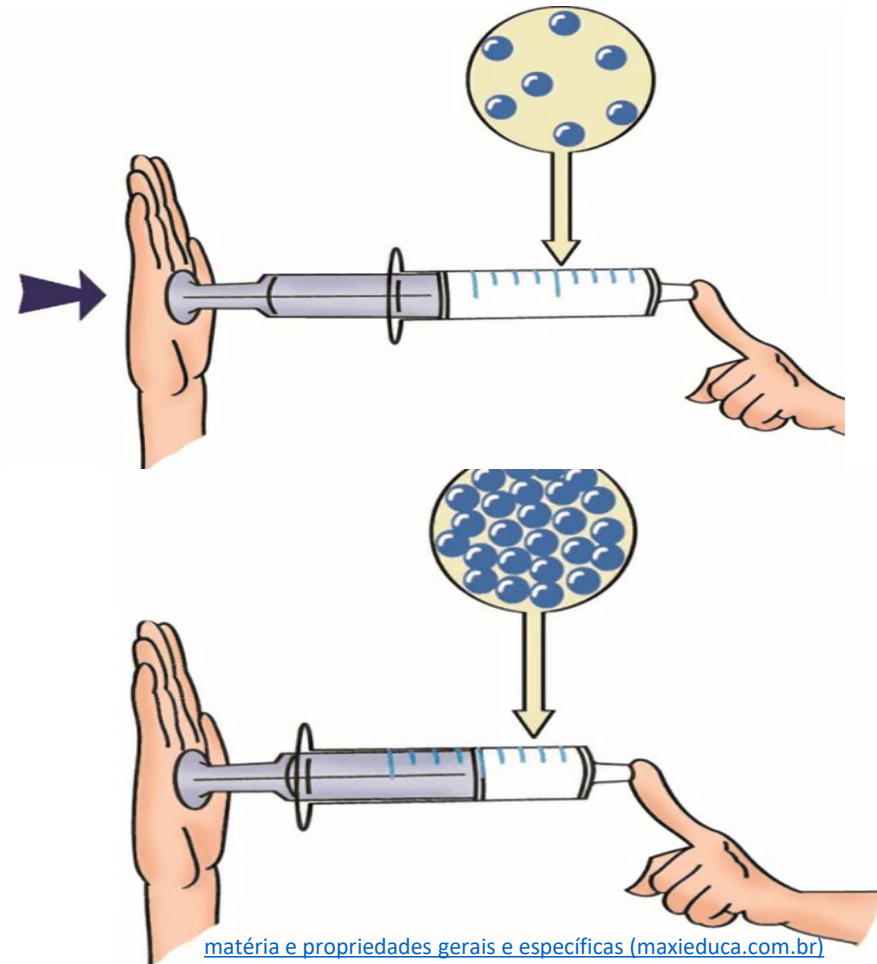


R.: 121,50 N

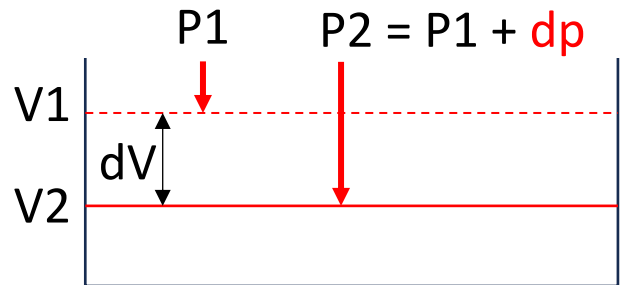
# Elasticidade e compressibilidade

É a capacidade dos fluidos de aumentar-se (elasticidade) ou reduzir-se (compressibilidade) de volume sob ação de pressões externas.

Ao contrário dos gases, os líquidos são praticamente incompressíveis; apresentando mudanças significativas na sua massa específica apenas com a temperatura.



# Elasticidade e compressibilidade



V – volume.  
 P – pressão.  
 d – diferencial.  
 1 (ou o) – inicial.  
 2 – final.

A variação do volume pelo volume inicial é igual a variação da pressão pelo coef. de elasticidade.

$$\frac{dV}{V_o} = -\frac{dp}{\epsilon}$$

A nova massa específica, após compressão, será:

$$\rho = \frac{\rho_o}{\left(\frac{dV}{V_o} + 1\right)}$$

E caso a pretensão seja a variação do volume:

$$dV = -V_o \times \frac{dp}{\epsilon}$$

O coeficiente de **compressibilidade** ( $\alpha$ ) é igual ao inverso do coeficiente ou módulo de **elasticidade** ( $\epsilon$ ),  $\alpha = 1/\epsilon$ .

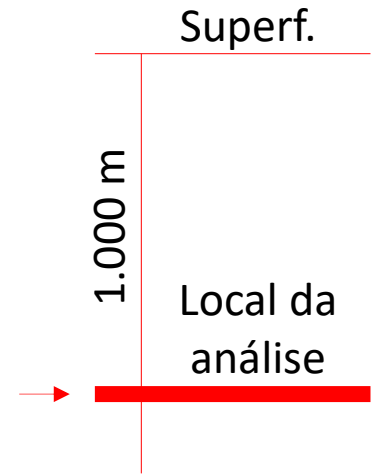
**Tabela A-1.4.3-a Variação de  $\epsilon$  e  $\alpha$  da água doce com a temperatura**

Temperatura °C	$\epsilon$ (N/m <sup>2</sup> ) × 10 <sup>8</sup>	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /N) × 10 <sup>-10</sup>	$\epsilon$ (kgf/m <sup>2</sup> ) × 10 <sup>8</sup>	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /kgf) × 10 <sup>-10</sup>
0	19,50	5,13	1,99	50,2
10	20,29	4,93	2,07	48,2
20	21,07	4,75	2,15	46,5
30	21,46	4,66	2,19	45,6

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

# Elasticidade e compressibilidade

**Exemplo: 1.1** — Suponhamos a água sob uma profundidade, ou seja, sob uma carga de 1 000 mca. Considerando a água a uma temperatura de 20°C (massa específica de 998 kg/m<sup>3</sup>), com módulo de elasticidade volumétrico de 2,15 × 10<sup>8</sup> kgf/m<sup>2</sup> ou 21,07 × 10<sup>8</sup> N/m<sup>2</sup>. A essa profundidade, se considerarmos a água incompressível, a pressão é de 99,80 kgf/cm<sup>2</sup> (978 N/cm<sup>2</sup>). Calculando a massa específica da água a essa pressão, a diferença de pressão pode ser entendida como a força do peso por unidade de área, logo: Fonte: Azevedo Netto et al. (2008).



$$dp = F/A = \frac{m}{A} \cdot g = \rho_0 \cdot \frac{V}{A} \cdot g$$

$$dp = 998(\text{kg/m}^3) \cdot 1.000(\text{m}) \cdot 9,80(\text{m/s}^2)$$

$$dp = 9\,780\,400(\text{N/m}^2)$$

Como:  $\frac{dV}{V} = -\frac{dp}{\epsilon}$

$$\frac{dV}{V} = - (9\,780\,400 / 21,07 \cdot 10^8) = - 0,004642$$

$$e: \rho = \frac{\rho_0}{\left(\frac{dV}{V_0} + 1\right)}$$

$$\rho = \frac{\rho_0}{\left(\frac{dV}{V_0} + 1\right)} = \frac{998 \text{ kg/m}^3}{(-0,004642 + 1)} = 1.002,65 \text{ kg/m}^3$$

acréscimo de densidade de 0,47% (1 002,65 / 998 = 1,00466)

Da mesma forma, sob uma coluna de água de 200 m, um litro de água nas CNTP reduz-se a 999cm<sup>3</sup> de água na mesma temperatura.

# Elasticidade e compressibilidade

Exemplo: mudança de volume da água submetida à mudança de pressão

Dados (Água)

$$T = 10^{\circ}\text{C}$$

$$V_1 = 1 \text{ m}^3$$

$$P_1 = 10000 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$P_2 = 20000 \text{ kgf m}^{-2}$$

Pede-se:

$V_2$  (vol. final)

$dV$  (variação de volume)

Tabela de propriedades da água:

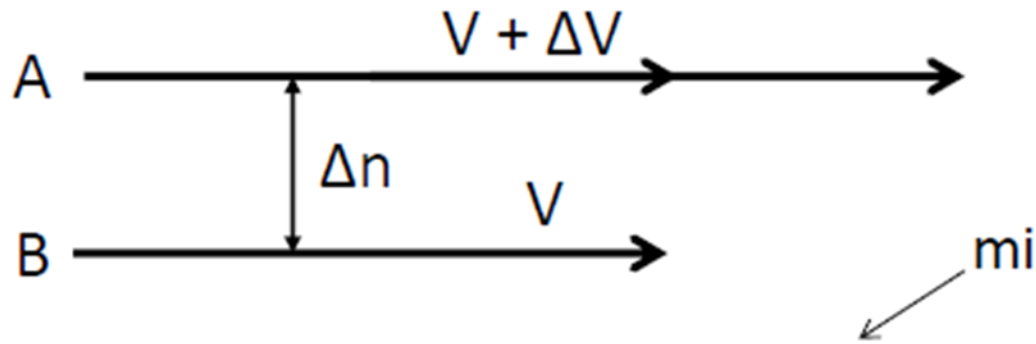
$$T = 10^{\circ}\text{C} \quad \varepsilon = 2,09 \times 10^8 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$dV = -\frac{1}{\varepsilon} V dP = -\frac{1}{2,09 \times 10^8} \times 1 \times (20000 - 10000)$$

$$dV = 4,784 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 47,84 \text{ ml}$$

Obs.: em problemas práticos de Hidráulica considera-se a água como líquido incompressível ( $\rho$  e  $\gamma$  constantes).

# Viscosidade



– **Dinâmica, ou absoluta, ( $\mu$ )**

Unidade:  $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ;

Água (20°C):  $1,01\cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$

– **Cinemática ( $\nu$ )**

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Unidade:  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

Água (20°C):  $1,01\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$



Pl – poiseulle

1 Pl = 1  $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$  = 1 Pa.s

1 cP (centipoise) = 0,1 Pl

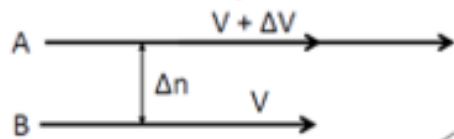
St – stoke

1 St =  $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Material próprio.

# Viscosidade

## Tipos de Fluidos



Resistência ao escoamento  
(ou a forças cortantes):

$$F = \mu \cdot A \cdot \frac{\Delta V}{\Delta n}$$

Equação da viscosidade  
de Newton

Fluidos Newtonianos ( $x = 1$ ), e  
não Newtonianos ( $x \neq 1$ ).

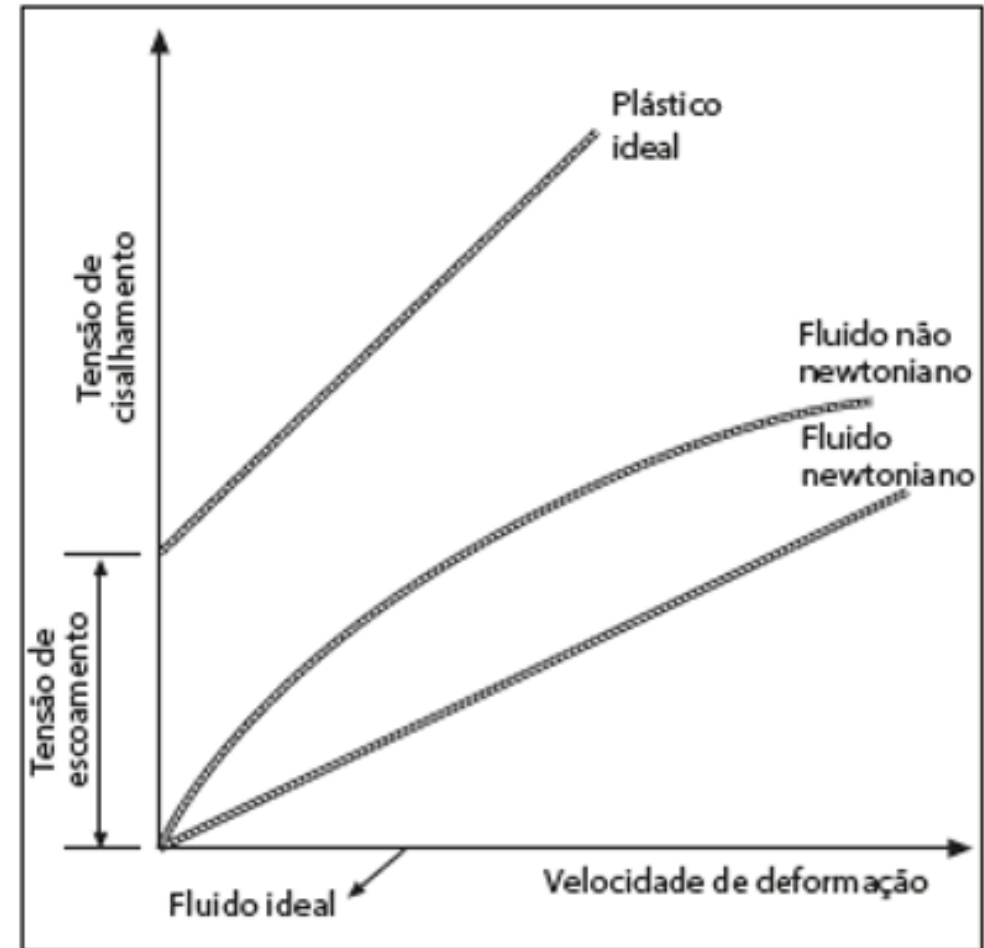


Figura A-1.4.6-b – Diagrama Cisalhamento  $\times$  Deformação.

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

Material próprio.

# Viscosidade

## Tabelas

$$1 \text{ Pl} = 1 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ P} = 0,1 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$$

$$100 \text{ centipoise} = 1 \text{ P} = 1 \text{ g}/\text{cm}\cdot\text{s}$$

A viscosidade cinemática será utilizada nos cálculos de Reynolds e Darcy-Weisbach.

$$\text{Stoke} - \text{St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

**QUADRO 1.11 – Variação de “ $\mu$ ” da água doce com a temperatura**

Temperatura °C	$\mu$ (N.s/m <sup>2</sup> ) 10 <sup>-6</sup>	Temperatura °C	$\mu$ (N.s/m <sup>2</sup> ) 10 <sup>-6</sup>
0	1 791	40	653
2	1 674	50	549
4	1 566	60	469
5	1 517	70	407
10	1 308	80	357
15	1 144	90	317
20	1 008	100	284
30	799		

**QUADRO 1.12 – Variação de “ $\nu$ ” da água doce com a temperatura**

Temperatura °C	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s) 10 <sup>-9</sup>	Temperatura °C	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s) 10 <sup>-9</sup>
0	1 792	40	657
2	1 673	50	556
4	1 567	60	478
5	1 519	70	416
10	1 308	80	367
15	1 146	90	328
20	1 007	100	296
30	804		



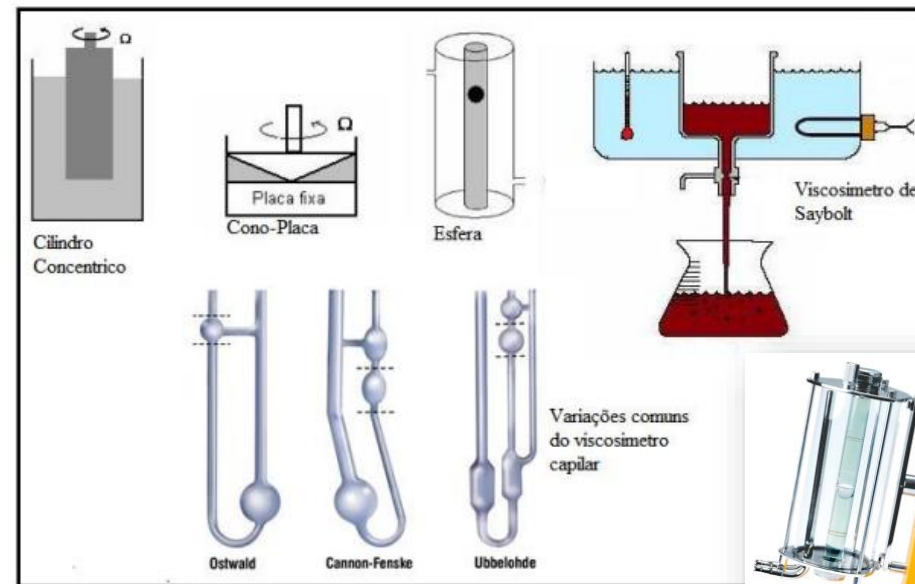
# Viscosímetros e reômetros (reologia)

**Viscosímetros:** São equipamentos utilizados para determinar a viscosidade de um determinado fluido a uma temperatura específica. Usualmente baseia-se na relação entre o arrasto causado em um objeto e a velocidade do escoamento (ex: o tempo que leva para uma esfera descender uma camada de fluido) ou no atrito entre o fluido e as paredes do viscosímetro. **Indicado para fluidos newtonianos.**

**Reômetros:** São equipamentos empregados para determinar como um material responde a uma força aplicada. Estes equipamentos permitem a construção das curvas de tensão x taxa de cisalhamento e portanto são muito **empregados para determinar as propriedades de fluidos Não-Newtonianos.**

Fonte: [https://fontana.paginas.ufsc.br/files/2018/08/viscosimetros\\_newtoniano.pdf](https://fontana.paginas.ufsc.br/files/2018/08/viscosimetros_newtoniano.pdf)

<https://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/MARCO%20ANTONIO%20%20RODRIGUES%20F.pdf>



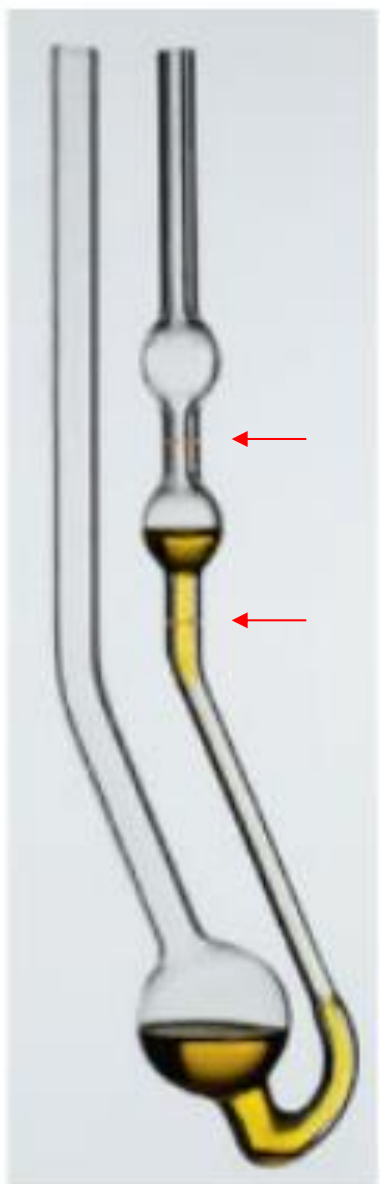
Fonte: Adaptado de Faria (2011), Finning (2016), Fitch (2013).



<https://www.reo-term.com.br/>



<https://www.directindustry.com/>



(a) Cannon-Fenske

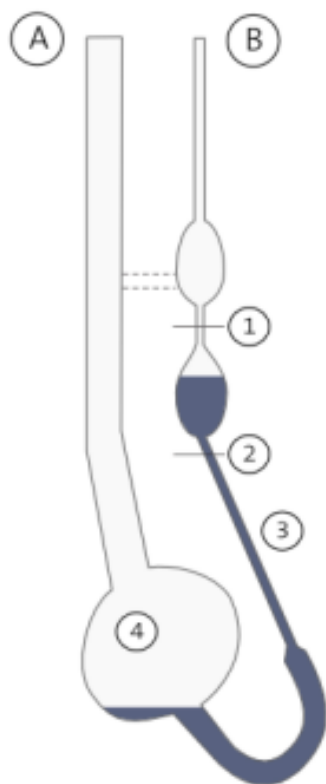


Figura 3: Viscosímetro

O procedimento será realizado com o viscosímetro capilar Cannon-Fenske ilustrado na Figura 3.

- Com a ajuda de uma pipeta graduada coloque no viscosímetro, limpo e seco, 10 mL de água destilada através do tubo de **maior** diâmetro (**A**);
- Adapte ao braço do viscosímetro de **menor** diâmetro (**B**) uma pera de borracha e aspire, lentamente, o líquido até a metade do bulbo que fica **acima** de **1**;
- Desconecte a pera do tubo de modo a permitir o escoamento livre do líquido;
- Marque o tempo gasto para o menisco superior passar sucessivamente pelas duas marcas de calibração: **1** e **2**;
- Usando as misturas hidroalcoólicas já preparadas repita, no mesmo viscosímetro, depois de limpo e seco, o procedimento anterior. Use o mesmo volume usado para água (10 mL).

Use o mesmo volume usado para água (10 mL).

[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/56/o/FQExp\\_viscosidade.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/56/o/FQExp_viscosidade.pdf)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\nu = c \times t$$

C ou K – constante do equipamento.

t – tempo decorrido no teste. **Quintuplicata**.

$\nu$  – viscosidade cinemática.



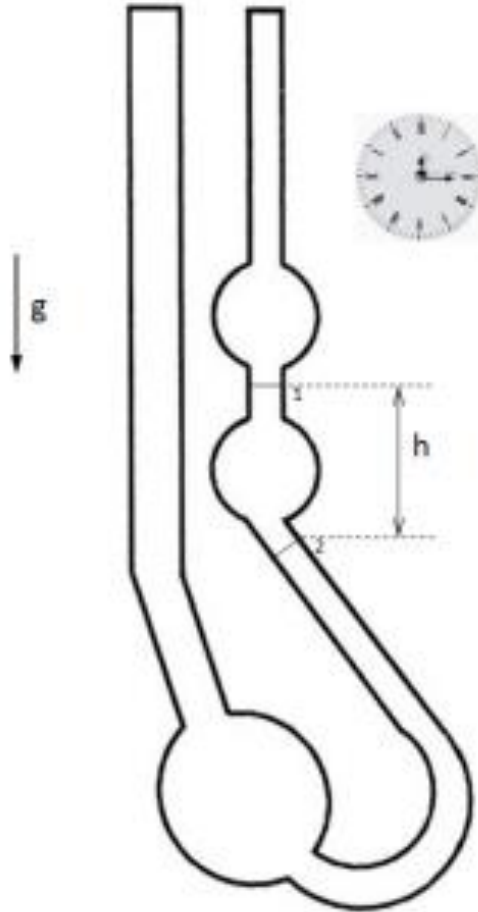
[https://www.youtube.com/watch?v=37hXlwsI\\_mI](https://www.youtube.com/watch?v=37hXlwsI_mI)

<https://www.youtube.com/watch?v=hTgbnD3n1WM>



[http://fluidos-lfa.usuarios.rdc.puc-rio.br/mecflu1/Lab1\\_2012-2.pdf](http://fluidos-lfa.usuarios.rdc.puc-rio.br/mecflu1/Lab1_2012-2.pdf)

<http://www.vortex.unb.br/images/Documentos/Viscosidade.pdf>



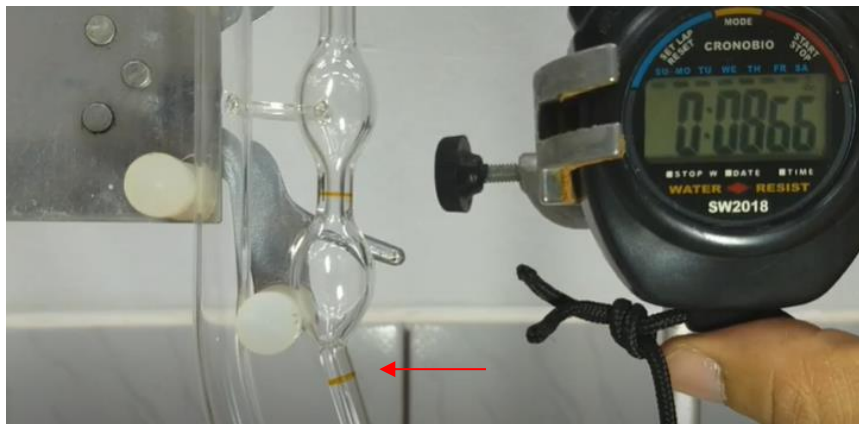
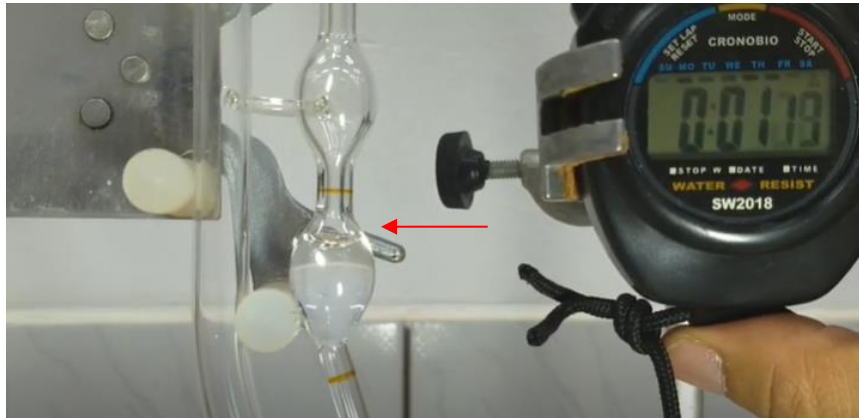
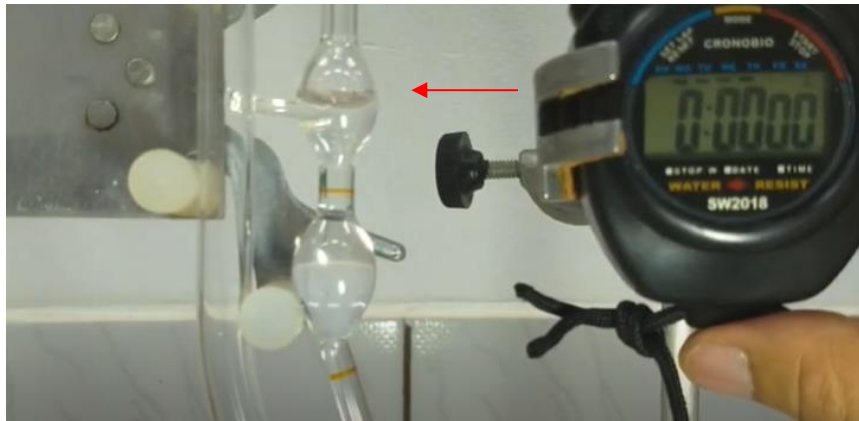
Stoke -  $St = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

C ou K –  
constante do  
equipamento

$$\nu = \left( \frac{\pi g \Delta h d^4}{128LV} \right) \Delta t = K \Delta t \quad \text{com} \quad K = \left( \frac{\pi g \Delta h d^4}{128LV} \right)$$

Tabela 1.1: Classificação dos Viscosímetros

Número	Constante K (centistokes/segundo)	Variação da Viscosidade (centistokes)
25	0.002	0.5 a 2
50	0.004	0.8 a 4
75	0.008	1.6 a 8
100	0.015	3 a 15
150	0.035	7 a 35
200	0.1	20 a 100
300	0.25	50 a 250
350	0.5	100 a 500
400	1.2	240 a 1200
450	2.5	500 a 2500
500	8	1600 a 8000
600	20	4000 a 20000



O autor apesar de exibir no vídeo o teste ao lado, apresenta a seguinte tabela como resultados.

Exp	Tempos (s)
1	9,79
2	10,1
3	9,8
4	9,34
5	10,05

**Média = 9,816 s**

$$\nu = 0,1 \times 9,816 = 0,982 \text{ cSt}$$

Para temp. = 22 °C.

Medida da viscosidade -  
Viscosímetro capilar  
Cannon Fenske

[https://www.youtube.com/watch?v=37hXlws1\\_ml&t=17s](https://www.youtube.com/watch?v=37hXlws1_ml&t=17s)

Viscosímetro usado = Nº 200

size	approx. C (cSt/s)	viscosity range (cSt)	
		from	to
25	0.002	0.5	2
50	0.004	0.8	4
75	0.008	1.6	8
100	0.015	3	15
150	0.035	7	35
200	0.1	20	100
300	0.25	50	250



Para esta temp.

Temperatura °C	$\nu_{cn}$ (m <sup>2</sup> /s) × 10 <sup>-9</sup>
20	1.007
22	960

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

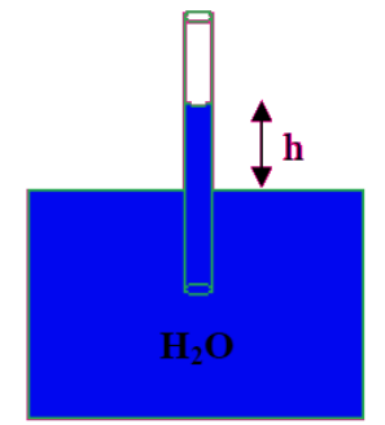
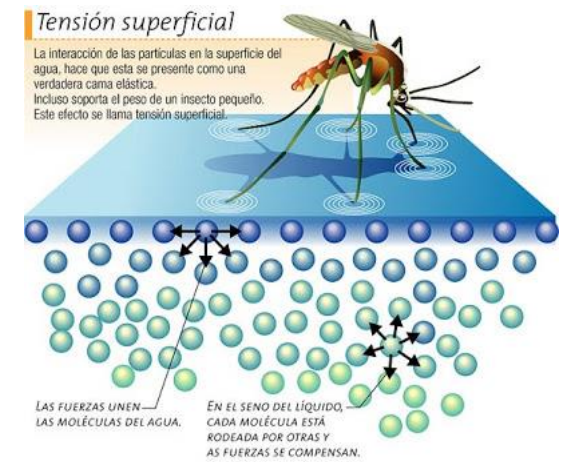
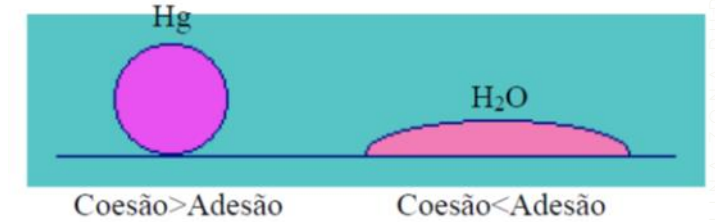
- **Coesão, adesão, tensão superficial e capilaridade**

- **Coesão:** Forças decorrentes da atração entre moléculas de **MESMA natureza**;

- **Adesão:** Propriedade que as substâncias possuem de se unirem a outras de **natureza DIFERENTES**;

- **Tensão superficial:** Tensão existente na interface entre os fluídos por conta da maior coesão...

- **Capilaridade:** Elevação natural ocasionada quando a força de coesão entre as moléculas do líquido é superada pelas forças de adesão da capilar;



<http://ximenes.comunidades.net/>

# Tensão superficial

## Estudar:

### Tensão Superficial

#### INTRODUÇÃO

Fenômenos de superfície têm interesse multidisciplinar e são importantes tanto para a Física quanto para a Química, a Biologia e as Engenharias. Além disso, há vários efeitos observados no dia-a-dia, que estão relacionados às propriedades da interface entre duas fases — por exemplo, grãos de areia, cliques de papel e outros objetos pequenos podem flutuar sobre a superfície da água, mesmo sendo mais densos que ela; algumas espécies de insetos conseguem andar sobre a superfície da água sem se molhar; na extremidade de um conta-gotas, um líquido sai na forma de gotas, e não como um filete contínuo.

Para entender esses fenômenos, considere a interface de um líquido com seu próprio vapor ou com o ar, como representado na Figura 1. Cada molécula no interior do líquido é atraída pelas demais moléculas igualmente, em todas as direções, enquanto as moléculas que estão na superfície são atraídas para o interior do líquido mais fortemente que em direção ao ar. Ocorre, então, uma contração espontânea da superfície. No interior do líquido, as forças de coesão atuam no sentido de estabilizar o sistema, reduzindo a energia potencial de cada molécula. Porém, por não ter o mesmo número de vizinhas, uma molécula na superfície apresenta maior energia potencial que as no interior do líquido. Portanto, para aumentar a superfície de um líquido, devem-se transferir moléculas de seu interior para a interface, e isso requer certa energia.

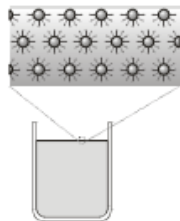


FIGURA 1 - Uma molécula no interior do líquido é atraída pelas demais moléculas igualmente, em todas as direções, enquanto as moléculas, na superfície são atraídas para o interior do líquido mais fortemente que em direção ao ar.

[https://www.fisica.ufma.br/ciclo-basico/wp-content/uploads/sites/4/2020/07/Tensao\\_Superficial.pdf](https://www.fisica.ufma.br/ciclo-basico/wp-content/uploads/sites/4/2020/07/Tensao_Superficial.pdf)

## CAPÍTULO 10 TENSÃO SUPERFICIAL

Se pusermos uma pequena quantidade de água numa lâmina de vidro esta toma uma forma lenticular em vez de se espalhar pela lâmina, realizando de um certo modo um pseudo-sólido.



Fig. 10.1 – Formação de um pseudo-sólido

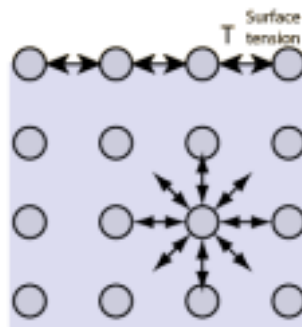
A água comporta-se como se estivesse dotada de uma película superficial mantida sob tensão, capaz de sustentar objectos mais densos do que ela. É particularmente marcante o sulco deixado por certos insectos que flutuam na água, como os “alfaiates” dando a ideia de à medida que avançam vão rompendo a película.

Ora, este fenómeno é fruto da existência da tensão superficial.

Quando as forças de atracção na superfície excedem a tensão superficial, o líquido tende a molhar a superfície.

#### Explicação

Enquanto que as moléculas de um líquido no interior de um recipiente são atraídas pelas forças de coesão em todas as direcções, as da superfície são apenas atraídas pelas moléculas existentes no interior. Devido a este facto a película do líquido mostra a existência de uma tensão à superfície (**tensão superficial**) comportando-se como se fosse uma membrana tensa.



<http://www.phyics.tytc.org.gps.edu/files/images.html>

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1072/1/Cap%2027%20Tens%C3%A3o%20Superficial.pdf>

## CAPÍTULO 27 – MEDIDA DA TENSÃO SUPERFICIAL

**José Aurélio Medeiros da Luz**

Engenheiro de Minas/UFOP, Mestre e Doutor em Tecnologia Mineral/UFMG  
Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas/UFOP

**Rosa Malena Fernandes Lima**

Engenheira de Minas/UFOP, Mestre e Doutora em Tecnologia Mineral/UFMG  
Professora Adjunta do Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas/UFOP

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1072/1/Cap%2027%20Tens%C3%A3o%20Superficial.pdf>

# Equacionamento do fenômeno.

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

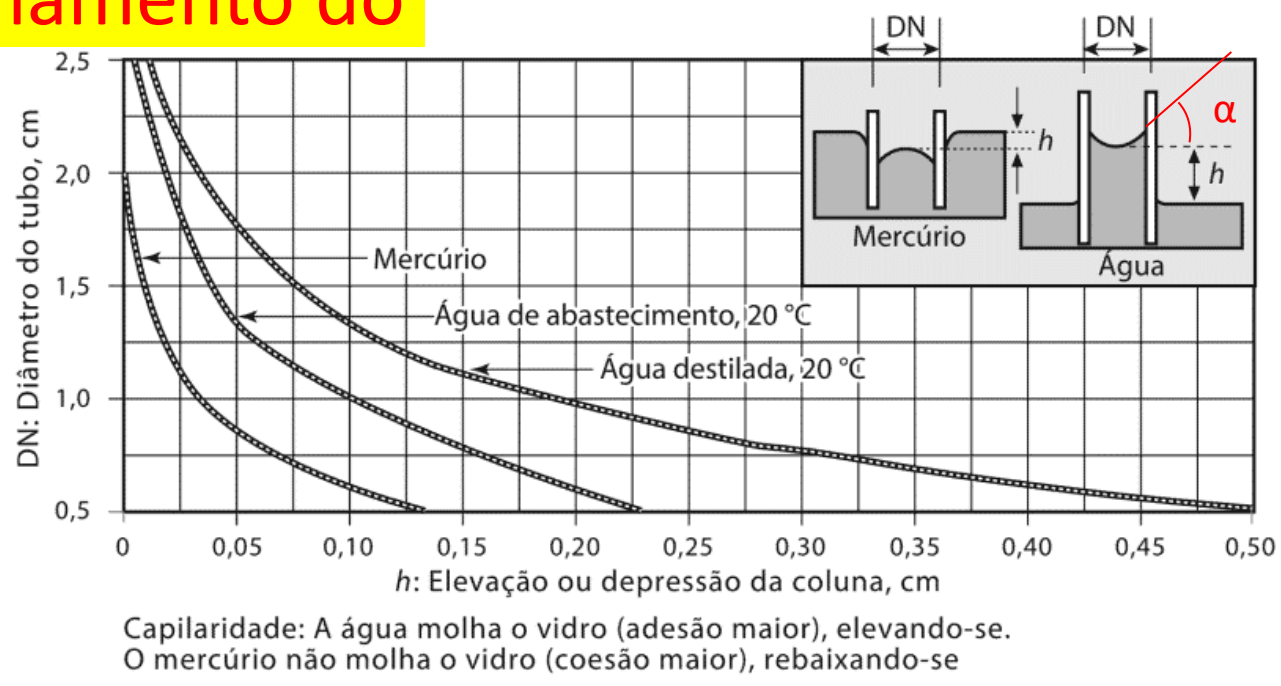


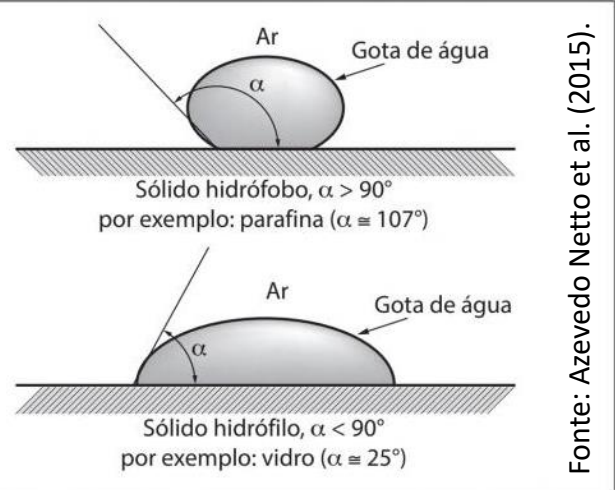
Figura A-1.4.8-a – Capilaridade em tubos cilíndricos de vidro (Bib. S790, p. 17).

$$h = \frac{4 \times \tau \times \text{sen} \alpha}{\gamma \times d}$$

**Importante:** Se o referencial for a parede do capilar, a função trigonométrica do ângulo de contato passa a ser o cosseno.

onde

- $\tau$  é a tensão superficial (N/m)
- $\alpha$  é o ângulo de contato (adesão)
- $\gamma$  é o peso específico da água (N/m<sup>3</sup>)



Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

Tabela A-1.4.8-a Variação de  $\tau$  da água doce com a temperatura

Temperatura °C	$\tau$ (N/m) $\times 10^{-2}$	Temperatura °C	$\tau$ (N/m) $\times 10^{-2}$
0	7,513	50	6,778
2	7,515	60	6,622
10	7,375	70	6,453
20	7,230	80	6,260
30	7,069	90	6,070
40	6,911	100	

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

PARA ÁGUA A ASCENSÃO É DE CERCA DE 3 mm PARA CADA cm DE DIÂMETRO DO TUBO DE VIDRO (NEVES, E. T. 1982).

Para a água em contato com o ar e o vidro,  $\alpha \approx 64,47^\circ$  (NEVES, 1982).

Pesquisem ângulos de contato.

Figura A-1.4.8-b – Adesão de uma gota de água a materiais.

## Equacionamento do

### ômeno.

Exemplo 1: Num experimento de ascensão capilar, a que altura  $h$  água pura subirá num tubo capilar de vidro de 0,1 mm de diâmetro? Dados:  $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$ ;  $\alpha = 90^\circ$ ;  $\tau = 0,073 \text{ N/m}$

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2632477/mod\\_resource/content/1/Movimento%20da%20C3%81gua%20no%20Solo.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2632477/mod_resource/content/1/Movimento%20da%20C3%81gua%20no%20Solo.pdf)

$$h = \frac{4 \times 0,073 \text{ N/m} \times \text{sen}(90^\circ)}{(1.000 \text{ kg/m}^3 \times 9,80 \text{ m/s}^2 \times 0,1 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$h = 0,298 \text{ m} \cong 30 \text{ cm}$$

Exemplo 2: Se, ao invés de um tubo capilar de vidro, utilizássemos um tubo de plástico de 0,1 mm de diâmetro com o qual a água forma um ângulo de contato de  $60^\circ$ , qual seria a ascensão

capilar?

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2632477/mod\\_resource/content/1/Movimento%20da%20C3%81gua%20no%20Solo.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2632477/mod_resource/content/1/Movimento%20da%20C3%81gua%20no%20Solo.pdf)

$$h = \frac{4 \times 0,073 \text{ N/m} \times \text{sen}(60^\circ)}{(1.000 \text{ kg/m}^3 \times 9,80 \text{ m/s}^2 \times 0,1 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$h = 0,258 \text{ m} \cong 26 \text{ cm}$$

$$h = \frac{4 \times \tau \times \text{sen}\alpha}{\gamma \times d}$$

**Importante:** Se o referencial for a parede do capilar, a função trigonométrica do ângulo de contato passa a ser o cosseno.

onde

$\tau$  é a tensão superficial (N/m)

$\alpha$  é o ângulo de contato (adesão)

$\gamma$  é o peso específico da água (N/m<sup>3</sup>)

Análise dimensional do cálculo:

$$\frac{\frac{\text{N}}{\text{m}}}{\frac{\text{kg} \times \text{m} \times \text{m}}{\text{m}^3 \times \text{s}^2}} \quad \therefore \quad \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}}}{\frac{\text{N} \times \text{m}}{\text{m}^3}}$$

$$\therefore \frac{\frac{\text{N}}{\text{m}}}{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \quad \therefore \quad \frac{\text{N}}{\text{m}} \times \frac{\text{m}^2}{\text{N}} = \text{m}$$



# SOLUBILIDADE

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

Os líquidos dissolvem os gases. Em particular, a água dissolve o ar, em proporções diferentes entre o oxigênio e nitrogênio, pois o oxigênio é mais solúvel. →

O volume do gás dissolvido é proporcional à pressão do gás, e o volume é o mesmo que o gás ocuparia no estado livre (não dissolvido), mas sujeito à mesma pressão (Henry).

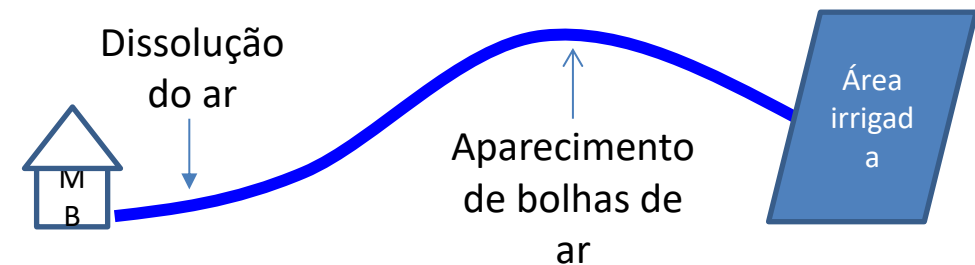
Em outras palavras, o volume de gás dissolvido em um determinado volume de água é constante se não houver variação de temperatura, pois um incremento de pressão diminui o volume de gás dissolvido e passa a ser possível dissolver mais gás. Ao diminuir a pressão, ocorre o inverso, liberando-se gás. ↓

Essa propriedade é uma causa do desprendimento de ar e o aparecimento de bolhas de ar nos pontos altos das tubulações.

Tabela A-1.4.9-a Coeficiente de solubilidade de gases na água doce, em m<sup>3</sup> de gás por m<sup>3</sup> de água, ao nível do mar

	0 °C	20 °C
Ar	0,03	
Ácido clorídrico	5,60	
Ácido sulfídrico	5,00	
Cloro	5,00	
Gás carbônico (CO <sub>2</sub> )	1,87	0,92
Hidrogênio	0,023	0,020
Monóxido de carbono (CO)	0,04	
Oxigênio →	0,053	0,033
Nitrogênio →	0,026	0,017

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).



# TENSÃO DE VAPOR

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

Dependendo da pressão a que está submetido, um líquido entra em ebulição a determinada temperatura; variando a pressão, varia a temperatura de ebulição. Por exemplo, a água entra em ebulição à temperatura de 100 °C quando a pressão é de 1,0332 kgf/cm<sup>2</sup> (1 atm), mas também pode ferver a temperaturas mais baixas se a pressão também for menor.

Então, todo líquido tem temperaturas de saturação de vapor ( $t_v$ ) (quando entra em ebulição), que correspondem biunivocamente a pressões de saturação de vapor ou simplesmente tensões de vapor ( $p_v$ ).

Essa propriedade é fundamental na análise do fenômeno da cavitação (*Capítulo A-11*), pois, quando um líquido inicia a ebulição, inicia-se também a cavitação (ver *Tabela A-1.4.1-a*).

Tabela A-1.4.1-a Tensão de vapor (pressão do vapor) da água a várias temperaturas, para  $g = 9,80 \text{ m/s}^2$  (ao nível do mar)

$t_v$ (°C)	$p_v$			
	(N/m <sup>2</sup> )	(kgf/m <sup>2</sup> )	(kgf/m <sup>2</sup> )	(m.c.a.)
0		62	0,00620	0,062
1		67	0,00669	0,067
3		77	0,00772	0,077
4	813	83	0,00830	0,083
5		89	0,00889	0,089
10	1.225	125	0,01251	0,125
15		174	0,01737	0,174
20	2.339	239	0,02383	0,239
25		323	0,03229	0,323
30	4.490	458	0,04580	0,458
35		573	0,05733	0,573
40		752	0,07520	0,752
45		977	0,09771	0,977
50	12.300	1.258	0,12580	1,258
55		1.695	0,16050	1,695

Fonte: Azevedo Netto et al. (2015).

**PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA DOCE À PRESSÃO ATMOSFÉRICA ( $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ )**

Temperatura	Peso específico	Massa específica	Viscosidade dinâmica	Viscosidade cinemática		Tensão superficial (água com o ar)	Pressão (tensão) de vapor	Módulo de elasticidade (valores aproximados)
T	$\gamma$	$\rho$	$\mu$	$\nu$	Centistokes	$\sigma$	$e_s$	$\epsilon$
°C	kgf.m <sup>-3</sup>	kgf m <sup>-4</sup> s <sup>2</sup>	kgf m <sup>-2</sup> s	m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>		kg m <sup>-1</sup>	mca	kgf m <sup>-2</sup>
0	999,9	101,93	181 x 10 <sup>-6</sup>	1,78 x 10 <sup>-6</sup>	1,78	0,00771	0,062	1,99 x 10 <sup>8</sup>
4	1000,0	101,94	160 x 10 <sup>-6</sup>	1,57 x 10 <sup>-6</sup>	1,57	0,00766	0,083	---
10	999,7	101,91	134 x 10 <sup>-6</sup>	1,31 x 10 <sup>-6</sup>	1,31	0,00757	0,125	2,09 x 10 <sup>8</sup>
20	998,2	101,75	103 x 10 <sup>-6</sup>	1,01 x 10 <sup>-6</sup>	1,01	0,00743	0,239	2,18 x 10 <sup>8</sup>
30	995,7	101,50	84 x 10 <sup>-6</sup>	0,83 x 10 <sup>-6</sup>	0,83	0,00726	0,433	2,20 x 10 <sup>8</sup>
40	992,2	101,14	67 x 10 <sup>-6</sup>	0,66 x 10 <sup>-6</sup>	0,66	0,00710	0,753	2,21 x 10 <sup>8</sup>
50	988,1	100,72	56 x 10 <sup>-6</sup>	0,56 x 10 <sup>-6</sup>	0,56	0,00690	1,258	2,22 x 10 <sup>8</sup>
60	983,2	100,22	47 x 10 <sup>-6</sup>	0,47 x 10 <sup>-6</sup>	0,47	0,00676	2,033	2,23 x 10 <sup>8</sup>
80	971,8	99,06	37 x 10 <sup>-6</sup>	0,37 x 10 <sup>-6</sup>	0,37	0,00638	4,831	---
100	958,4	97,70	28 x 10 <sup>-6</sup>	0,29 x 10 <sup>-6</sup>	0,29	0,00601	10,333	---

Nos cálculos habituais da Hidráulica feitos no sistema MK\*S Técnico, toma-se  $\gamma = 1000 \text{ kgf m}^{-3}$ ;  $\rho = 102 \text{ kgf m}^{-4} \text{ s}^2$ ;  $\nu = 1,01 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

Para o gelo: 0°C,  $\gamma = 916,7 \text{ kgf m}^{-3}$

-10°C,  $\gamma = 918,6 \text{ kgf m}^{-3}$

Pressão (de saturação) de vapor (kPa):  $e_s = 0,61078 \cdot e^{\left(\frac{17,269T}{237,3+T}\right)}$

Pressão (de saturação) de vapor (mca):  $e_s = 0,06230 \cdot e^{\left(\frac{17,269T}{237,3+T}\right)}$

# 01 lista de exercícios da ESALq.

- 5)** 10 litros de mel em Júpiter pesam 1 402,83 N. Supondo que nesse planeta a aceleração da gravidade seja 11 vezes maior que a da Terra, calcule:
- A massa específica do mel nos sistemas CGS, MKS e MK\*S
  - Sua densidade
  - Seu peso específico na Terra MLT ( CGS e MKS) e FLT ( MK\*S)
- 6)** Qual a redução de volume de 1 tonelada (1.000 Kgf) de água, quando sua temperatura varia de 80 para 10 graus Celsius, mantendo-se a pressão constante em 1 atm?
- 7)** Um tanque de volume igual a 1.500 litros contém água a 20 graus Celsius, até a borda. Calcular o volume transbordado e a massa de água que permanecerá no tanque quando a temperatura da água for elevada a 80 °C. (Admita pressão atmosférica e tanque feito de material que não se dilata).
- 11)** 1 litro de óleo SAE 30 pesa 900 g\* a 35 °C. Expressar sua viscosidade dinâmica em poises, sabendo-se que sua viscosidade cinemática a esta temperatura é 100 vezes superior à da água a 20 °C.
- 12)** Qual a viscosidade cinemática em STOKES de um óleo de densidade 0,85 e coeficiente de viscosidade dinâmica de 1,03 POISE.

## Respostas do autor:

- 5) a)** 1,3 g/cm<sup>3</sup>  
(CGS), 1 300 Kg/m<sup>3</sup>  
(MKS), 132,5 Kgf m-  
4 s<sup>2</sup> (MK\*S)
- b)** 1,3
- c)** 1 275 din/cm<sup>3</sup>  
(CGS), 12 753 N/m<sup>3</sup>  
(MKS), 1 300  
Kgf/m<sup>3</sup> (MK\*S)
- 6)** 28,72 litros
- 7)** 40,75 lilitros,  
148,59 UTM (ou 1  
457,67 Kg)
- 11)** 0,909 poise
- 12)** 1,21176 STOKE

# 01 lista de exercícios da ESALq.

**15)** Qual o diâmetro mínimo necessário para um tubo de vidro a fim de que o nível da água (20 °C) no seu interior, não seja afetado por efeitos capilares numa altura superior a 1 mm?

**16)** Qual o erro que se comete (em % do valor real) ao se fazer uma leitura de 10 cm de altura de líquido num tubo de diâmetro igual a 5 mm, em cada um dos casos abaixo:

- a) Água a 20 °C. (Tensão superficial = 0,00743 Kgf/m)  
(Ângulo de contato = 0 grau)  
(Peso específico = 998,2 Kgf/m<sup>3</sup>)
- b) Mercúrio a 20 °C. (Tensão superficial = 0,0524 Kgf/m)  
(Ângulo de contato = 148 graus)  
(Peso específico = 13.600 kgf/m<sup>3</sup>)

## Respostas do autor:

**15)** 2,98 cm

**16)** a) + 6,33%  
b) -2,55%

# EXERCÍCIOS PROPOSTOS

## PROPRIEDADES DOS FLUIDOS

1. Calcule a massa real e o peso específico de uma substância que ocupa  $0,025 \text{ m}^3$  e tem densidade relativa de 0,89. ( $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ ).
2. Se um líquido apresenta densidade relativa igual a 1,05, quantos kg desse líquido são necessários para encher um recipiente de 15 L.
3. Quanto de volume (em mL) de um líquido cujo peso específico é  $11.760 \text{ N/m}^3$ , são necessários para gerar uma massa de 1,50 kg?
4. Qual substância é mais densa, uma que ocupa 2 L com 3 kg ou outra que ocupa 0,80 L com 1,25 kg? Qual o valor da densidade e do peso específico de cada substância?
5. Se um vinho branco preenche um tonel de 270 L, e se sabe que o tonel vazio pesa 4.900 N e que o vinho tem densidade relativa igual a 0,9921. Pergunta-se, qual a massa do tonel cheio de vinho? Com este volume pode-se encher quantas garrafas de 900 mL? E se fosse necessário inserir o valor da massa no rótulo dessas garrafas, quantos gramas seria?
6. Se forem misturados dois líquidos um com densidade relativa (d) 1,05 e o outro com  $d = 1,09$ , sendo que o primeiro com  $1/4$  a mais de volume que o segundo, qual a densidade relativa resultante? E se as quantidades fossem as mesmas?
7. Em uma mistura de vinhos foram adicionados 100 L de vinho A com 200 L de vinho B. O vinho A apresentava densidade igual a  $998 \text{ kg/m}^3$  e o vinho B  $1.020 \text{ kg/m}^3$ . Qual densidade final foi gerada para o novo vinho (vinho C)? E a massa total da mistura? Quantos kg de cada vinho seriam necessários para gerar 500 L de vinho C?
8. Considerando que a densidade relativa da água seja de 1,00 e a de um mosto 0,89, e que certa bebida é gerada da combinação destes dois líquidos. Pergunta-se, para atingir uma densidade relativa de 0,95 em 220 L, quanto de cada líquido deve ser usado?

# EXERCÍCIOS PROPOSTOS

## PROPRIEDADES DOS FLUIDOS

- Qual o diâmetro mínimo necessário para um tubete de vidro afim de que o nível da água no seu interior não seja afetado por efeitos capilares numa altura superior a 1,00 mm? Considerar peso específico da água igual a  $998,2 \text{ kgf/m}^3$ ; tensão superficial da água igual a  $74,3 \times 10^{-4} \text{ kgf/m}$  e ângulo de contato =  $0^\circ$ .
- Determine o erro cometido ao se fazer leitura de 10 cm de altura de um líquido num tubo de diâmetro de 0,50 mm? Considerar peso específico do líquido =  $998,2 \text{ kgf/m}^3$ ; tensão superficial =  $74,3 \times 10^{-4} \text{ kgf/m}$  e ângulo de contato =  $0^\circ$ .
- Num recipiente contendo fluido com densidade relativa igual a 0,8 foi inserido um tubete de vidro de 8,0 mm de diâmetro. Considerando que a tensão superficial do vidro é  $73,7 \times 10^{-4} \text{ kgf/m}$  e ângulo de contato =  $10^\circ$ , qual a altura de elevação do fluido?
- Em um ponto fora da atmosfera terrestre um dinamômetro registrou 10 kgf para um objeto de 30 kg. Determine a aceleração da gravidade deste local.
- Determine a viscosidade cinemática da água a  $30^\circ \text{C}$ .
- Qual a viscosidade cinemática, em Stokes, de um óleo cuja densidade relativa é 0,85 e 1,03 poise para a viscosidade absoluta?
- Considerando os dados da questão anterior, quantos quilos de uva são necessários para encher um recipiente de 80 L?
- Qual a diferença entre viscosidade absoluta e viscosidade dinâmica?
- Explique por que um mosquito consegue pousar sobre a água e não afundar?
- Explique o fenômeno da capilaridade.
- Qual a diferença entre força de adesão e coesão.
- Explique o surgimento de bolhas de ar nas partes altas das canalizações.

FIM

