



Instituto de Física



Universidade de São Paulo  
Instituto de Química

**4310256**

Laboratório de Física I

---

Experiência 2  
**Determinação de densidades**

1<sup>o</sup> semestre de 2014

---

## 2. Determinação de densidades

### Introdução

Os estados da matéria podem, de forma simplificada, ser agrupados em sólido, líquido e gasoso. Uma das propriedades macroscópicas que geralmente distingue esses três estados da matéria é a densidade específica (massa/volume), pois em geral (mas nem sempre) a densidade de gases é menor do que a de líquidos, e essa menor ainda do que a de sólidos. A densidade é uma grandeza intensiva, isto é, não depende da quantidade de matéria. Assim, a densidade da água pura contida em um litro ou numa colher de 5ml é a mesma. De forma geral, se a substância é homogênea, então a sua densidade é a mesma em todos os pontos do volume que ocupa. A densidade depende do tipo de substância, mas é em geral influenciada pela temperatura e pela pressão.

Densidade absoluta ou massa específica de uma substância qualquer de massa  $m$  e volume  $V$  é definida por

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

ou seja, é a razão entre a massa de um corpo pelo volume que o mesmo ocupa. Densidade relativa é definida pela razão entre as densidades absolutas de duas substâncias

$$\rho_{1,2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

onde  $\rho_2$  é geralmente escolhida como padrão. É comum considerar a água como tal padrão, pois além da conveniência de sua abundância, sua densidade absoluta  $\rho_{gua} \cong 1,00g/cm^3$  para temperatura ambiente ( $25^\circ C$ ).

Como fundamentos teóricos, você deverá estar a par do conteúdo do capítulo 1 da Apostila. Você poderá encontrar material adicional nas referências daquele capítulo e em seu livro texto. Os conceitos físicos envolvidos aqui são: densidade de líquidos e sólidos, empuxo, balança de Mohr-Wetphal e densímetro.

O objetivo deste trabalho é utilizarmos três métodos independentes para a determinação da densidade de sólidos e líquidos.



resultado pode ser demonstrado facilmente, por meio da aplicação do conceito de densidade (Eq.1), e pela definição de densidade relativa.

Cuidados preliminares:

- Não toque o picnômetro com os dedos (proteja-os com papel absorvente).
- Eliminar cuidadosamente as bolhas de ar que se aderem à superfície interna do picnômetro.
- Lavar muito bem o picnômetro na troca de líquidos, usando na última etapa da lavagem (sempre que possível) o líquido da pesagem seguinte.
- Secar o picnômetro externamente, evitando tocar na parte superior do mesmo (tampa).
- Anote a temperatura de trabalho.

## 2.1 Objetivo

Abordar o conceito geral de densidade e desenvolver uma técnica para medir densidade de líquidos, utilizando o método dos picnômetros.

## 2.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- Pese o picnômetro com água;
- Pese o material sólido;
- Pese o picnômetro com água e material sólido (um do lado de outro);
- Pese o picnômetro com água e material sólido (material sólido dentro do picnômetro);
- Calcule a massa de água deslocada;

$$M_{H_2O} = M_{picnometro+metal(fora)} - M_{picnometro+metal(dentro)}$$

- Calcule densidade de metal.

$$\rho_{metal} = \frac{M_{metal}}{M_{H_2O}} \rho_{H_2O}$$

Pesagem

Picnômetro com água .

$m_1(g)$	$m_2(g)$	$m_3(g)$	$m_4(g)$	$m_{medio}(g)$	$\sigma_m(g)$

Metal.

$m_1(g)$	$m_2(g)$	$m_3(g)$	$m_4(g)$	$m_{medio}(g)$	$\sigma_m(g)$

Picnômetro com água+ metal.

$m_1(g)$	$m_2(g)$	$m_3(g)$	$m_4(g)$	$m_{medio}(g)$	$\sigma_m(g)$

Picnômetro com água+ metal dentro do picnômetro

$m_1(g)$	$m_2(g)$	$m_3(g)$	$m_4(g)$	$m_{medio}(g)$	$\sigma_m(g)$

Calcule a massa de água deslocada com seu respectivo desvio

$$M_{H_2O}(g) = M_{picnometro+metal(fora)} - M_{picnometro+metal(dentro)} :$$

Desvio de massa  $\sigma_{H_2O}(g)$ :

---



---

fórmula:

---



---

conta:

---



---

Calcule densidade do sólido com seu respectivo desvio:

$$\rho_{metal}(g/cm^3) = \frac{M_{metal}}{M_{H_2O}} \rho_{H_2O} =$$

Desvio  $\sigma_{metal}(g/cm^3)$  :

---



---

fórmula :

---



---

conta:

---



---

**Gráfico:** Construa o gráfico  $\rho_{H_2O}$  em função de temperatura. Determine, a partir do gráfico, o valor de  $\rho_{H_2O}$  a temperatura da sala.

$\rho_{H_2O}(g/cm^3)$						
$T^\circ C$						

Temperatura da sala  $T_s =$

---



---

$\rho_{H_2O}(T_s) (g/cm^3) =$

---

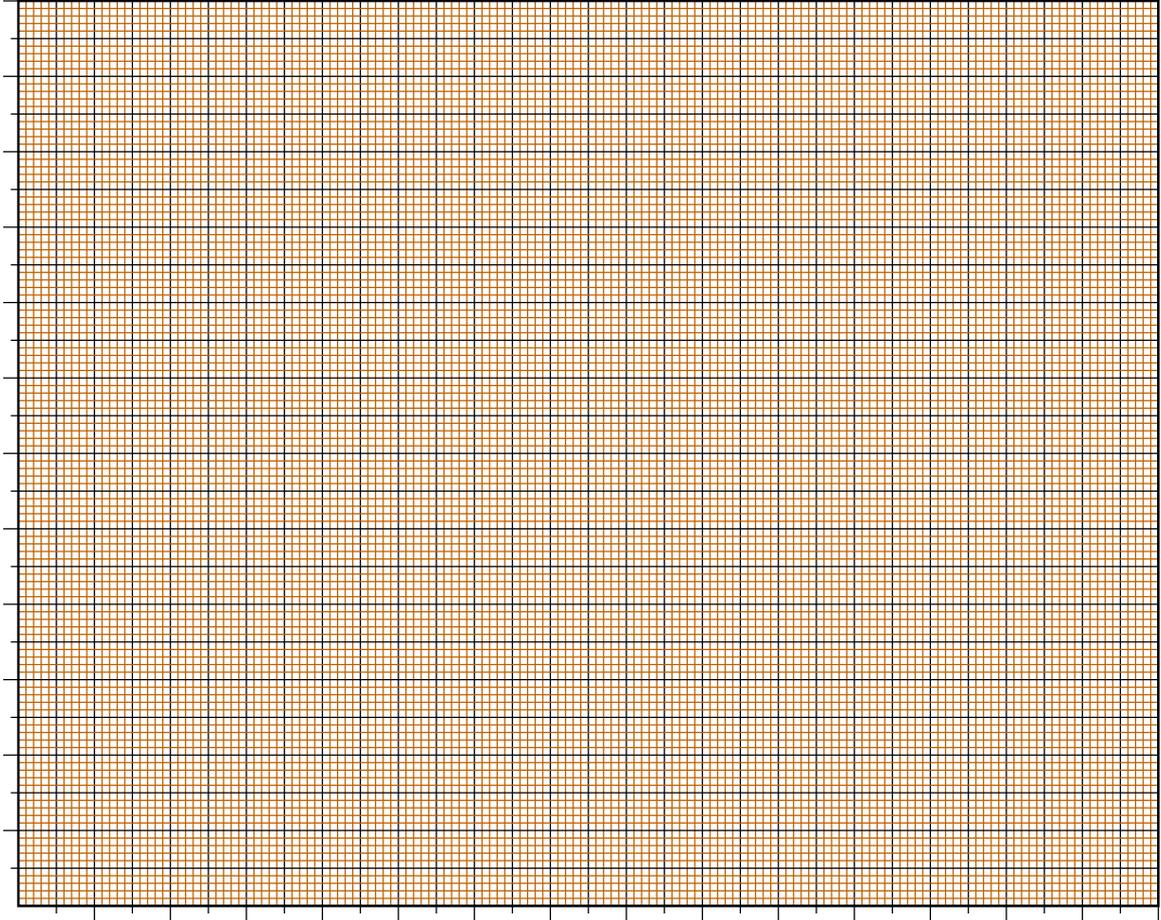


---

□  $\rho_{metal}(g/cm^3)=$

---

---



□ Compare resultado com o valor esperado:  $\rho_{Al} = 2,702g/cm^3$ ,  $\rho_{Cu} = 8,920g/cm^3$

---

---

## 2 MÉTODO GEOMÉTRICO ◇

## 2.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- Façam as medidas necessárias para obtenção da densidade do metal. Completem as tabelas abaixo.

diâmetro (cm)				
altura (cm)				

diâmetro médio $\bar{d}$ (cm)	Desvio $\sigma_{\bar{d}}$ (cm)	altura média $\bar{h}$ (cm)	Desvio $\sigma_{\bar{h}}$ (cm)

Densidade absoluta ou massa específica de uma substância qualquer de massa  $m$  e volume  $V$  é definida por

$$V_{metal} = \frac{\pi d^2}{4} h$$

$$\rho_{metal} = \frac{m_{metal}}{V_{metal}}$$

- Calcule densidade de sólido com seu respectivo desvio  $\rho_{metal}$  :

---



---

- Desvio  $\sigma_{metal}(g/cm^3)$  :

---



---

- fórmula :

---



---

- conta:

---



---

- Compare resultado com valor esperado:  $\rho_{Al} = 2,702g/cm^3$ ,  $\rho_{Cu} = 8,920g/cm^3$

---



---

### 3 MÉTODO DA BALANÇA DE MOHR-WESTPHAL ◇

Uso de uma balança e o princípio de Arquimedes para medir a densidade. O corpo de prova imerso no fluido dentro do recipiente exerce no líquido e, por consequência, na balança, uma força igual ao empuxo, exercido pelo líquido sobre o corpo de prova. O peso aparente e a força resultante da soma vetorial da força peso do fluido e do empuxo exercido pelo líquido sobre o corpo de prova. O empuxo  $I$  é escrito como:

$$I = Mg = \rho_{\text{liquido}} V g,$$

onde  $M$  é a massa de líquido que ocupa o volume  $V$  do mergulhador,  $g$  a aceleração da gravidade,  $\rho_{\text{liquido}}$  a densidade do líquido em estudo e  $I$  o empuxo. Rearranjando a expressão anterior temos:

$$\rho_{\text{liquido}} = \frac{I}{Vg} = \frac{I}{I_p} \rho_{\text{padrao}},$$

onde  $\rho_{\text{padrao}}$  é a densidade do líquido padrão.

A balança de Mohr-Westphal consiste de uma balança de travessão com braços desiguais, sendo o braço maior subdividido em dez partes iguais numeradas de 1 a 10 a partir do fulcro. Na décima ranhura está suspenso por um fio um flutuador de vidro, com lastro, destinado à imersão nos líquidos. No outro braço há um contrapeso, que equilibra o peso do flutuador. Os diversos cavaleiros com peso  $P_1, P_2, P_3 \dots P_{10}$  são colocados, de forma conveniente, nas ranhuras sobre o travessão no momento das medidas. A calibração da balança é feita ajustando o parafuso para equilibrar a balança, com o flutuador imerso em um fluido de referência. A relação entre os pesos dos cavaleiros é tal que  $P_2$  é 10 vezes menor do que  $P_1$ ,  $P_3$  é 10 vezes menor do que  $P_2$  et cet.

Após a calibração, mergulha-se o flutuador no líquido cuja densidade se deseja medir. Em seguida, com cavaleiro  $P_1$ , equilibra-se a balança, colocando-o na ranhura mais afastada que não permita o afundamento do flutuador; depois faz-se o mesmo com o cavaleiro  $P_2$ , e assim por diante, com todos os cavaleiros, até restabelecer o equilíbrio da balança. Se um cavaleiro deve ocupar o mesmo lugar que o outro, pendura-se um no outro. A densidade dos líquidos é obtida escrevendo os números lidos, à direita uns dos outros, na ordem dos cavaleiros empregados. Sejam os números de ranhuras  $n_1, n_2, n_3$ , etc. associados aos cavaleiros  $P_1, P_2, P_3$ . Assim, utilizando o teorema dos momentos, fazendo o peso de  $P_1$  valer  $p$ , podemos escrever:

$$10P = n_1 p + \frac{n_2 p}{10} + \frac{n_3 p}{100} + \dots$$

Dividindo-se, por  $(10p)$  ambos os lados temos:

$$\frac{P}{p} = \frac{n_1}{10} + \frac{n_2}{100} + \frac{n_3}{1000} + \dots$$

A densidade do líquido é dada, pela relação do equilíbrio entre o peso e o empuxo, ou seja:

$$\rho_{\text{relativo}} = \frac{\rho_{\text{liquido}}}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{P}{p} = \frac{n_1}{10} + \frac{n_2}{100} + \frac{n_3}{1000} + \dots$$

Se o líquido em estudo for mais denso do que o líquido de referência, é necessário colocar um ou mais cavaleiros  $P_1$  sobre a ranhura 10; se for menos denso então o primeiro peso  $P_1$  ficará numa ranhura menor do que 10.

## 2.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Água destilada

Cavaleiro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grande(100)									
Médio (10)									
Pequeno (1)									
Total(u.e.)									

Empuxo médio $I_{medio}$ (u.e.)	
Desvio (u.e)	

## Solução A

Cavaleiro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grande(100)									
Médio (10)									
Pequeno (1)									
Total(u.e.)									

Empuxo médio $I_{medio}$ (u.e.)	
Desvio (u.e)	

## Solução B

Cavaleiro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grande(100)									
Médio (10)									
Pequeno (1)									
Total(u.e.)									

Empuxo médio $I_{medio}$ (u.e.)	
Desvio (u.e)	

## Álcool etílico

Cavaleiro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grande(100)									
Médio (10)									
Pequeno (1)									
Total(u.e.)									

Empuxo médio $I_{medio}$ (u.e.)	
Desvio (u.e)	

Calcule densidade do líquido com seu respectivo desvio

$$\rho_{liquido}(g/cm^3) = \frac{I_{liquido}}{I_{agua}} \rho_{agua}$$

Propagação de erros:

---



---

$\rho_{solucao A} \pm \sigma_A (g/cm^3)$	$\rho_{solucao B} \pm \sigma_B (g/cm^3)$	$\rho_{Alcohol} \pm \sigma_{Alcohol} (g/cm^3)$

Construa o gráfico de densidade versus concentração para cada solução de NaCl e um outro gráfico de densidade versus % em volume de solução para o álcool etílico. Marque nos gráficos a faixa (devido a incerteza) de valores obtidos experimentalmente e no caso de álcool, compare com a sua % real (99,5%)

Solução A

$\rho_A (g/cm^3)$	% de NaCl

$$\rho_A( \quad )g/cm^3 = ( \quad )\% \text{ de NaCl}$$

Solução B

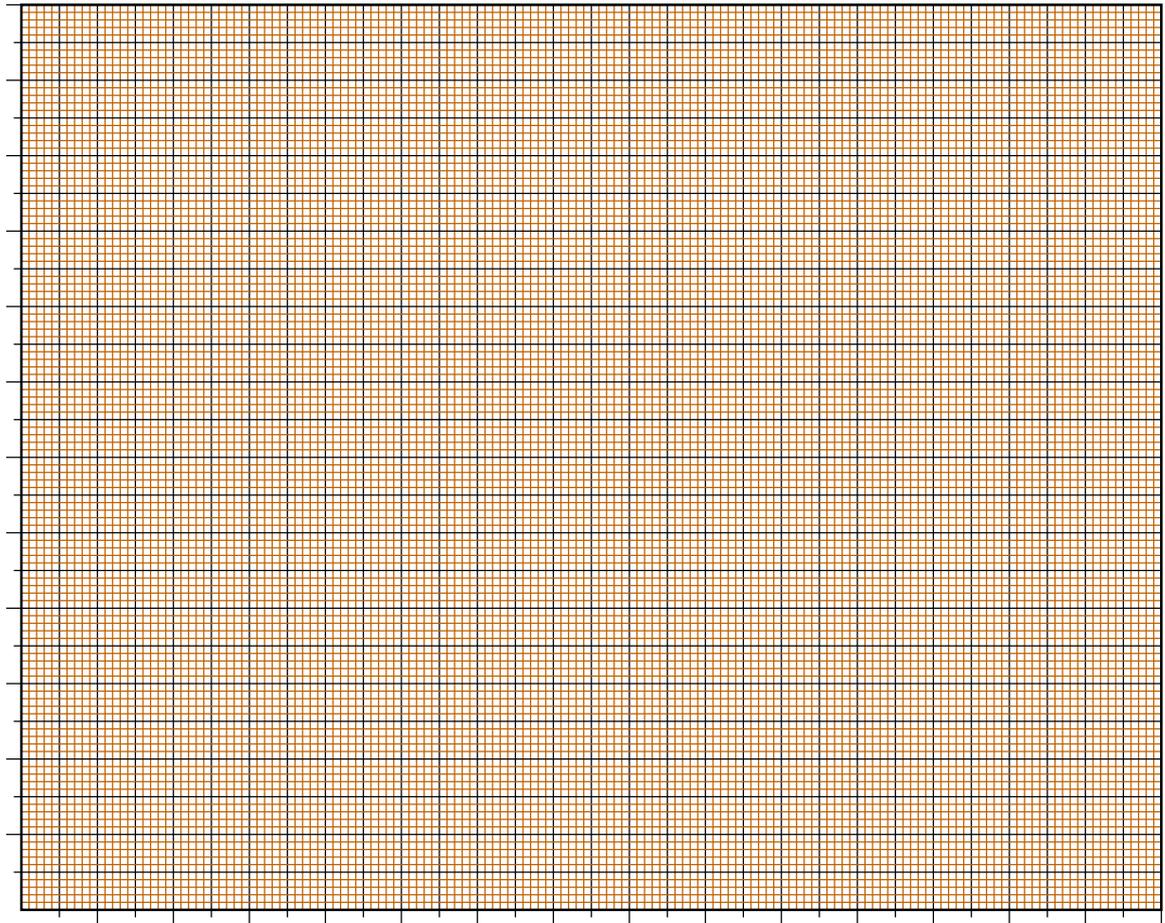
$\rho_B (g/cm^3)$	% de NaCl

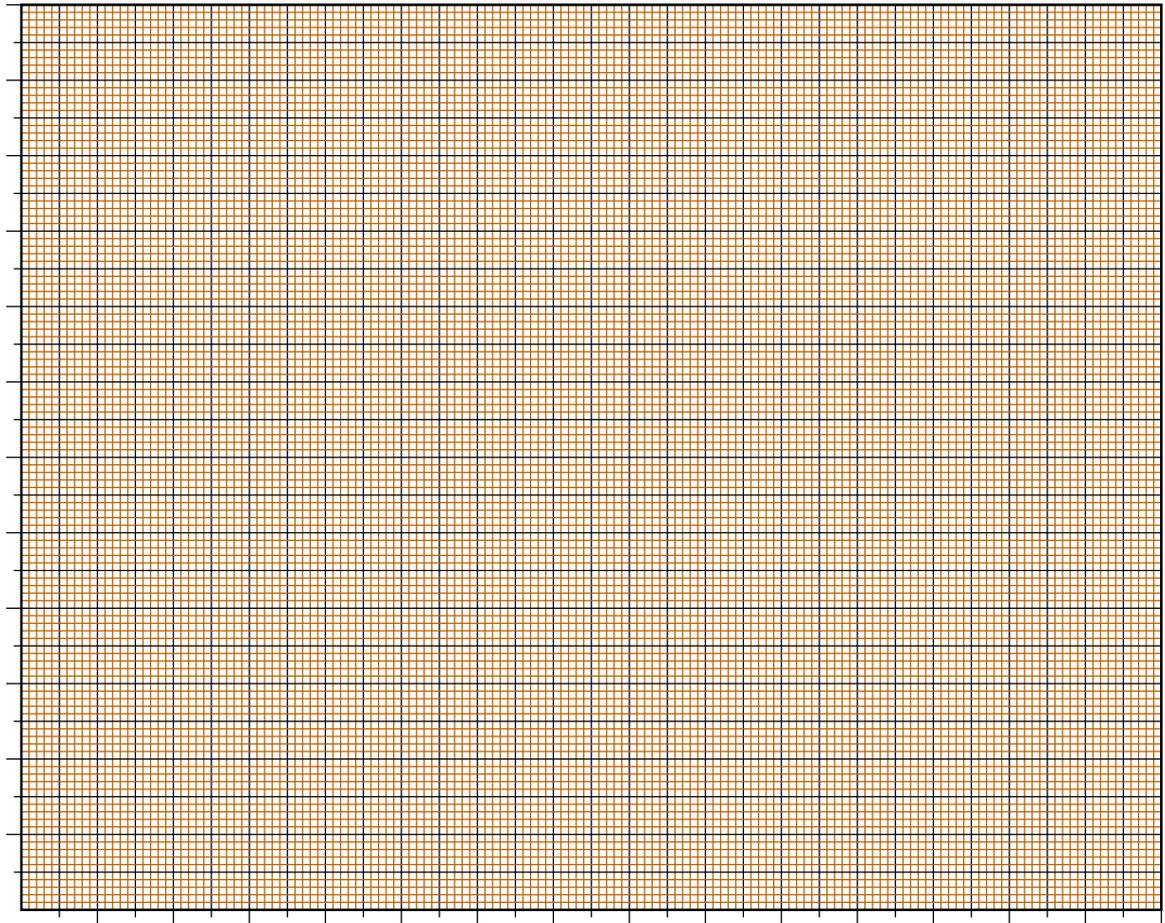
$$\rho_B( \quad )g/cm^3 = ( \quad )\% \text{ de NaCl}$$

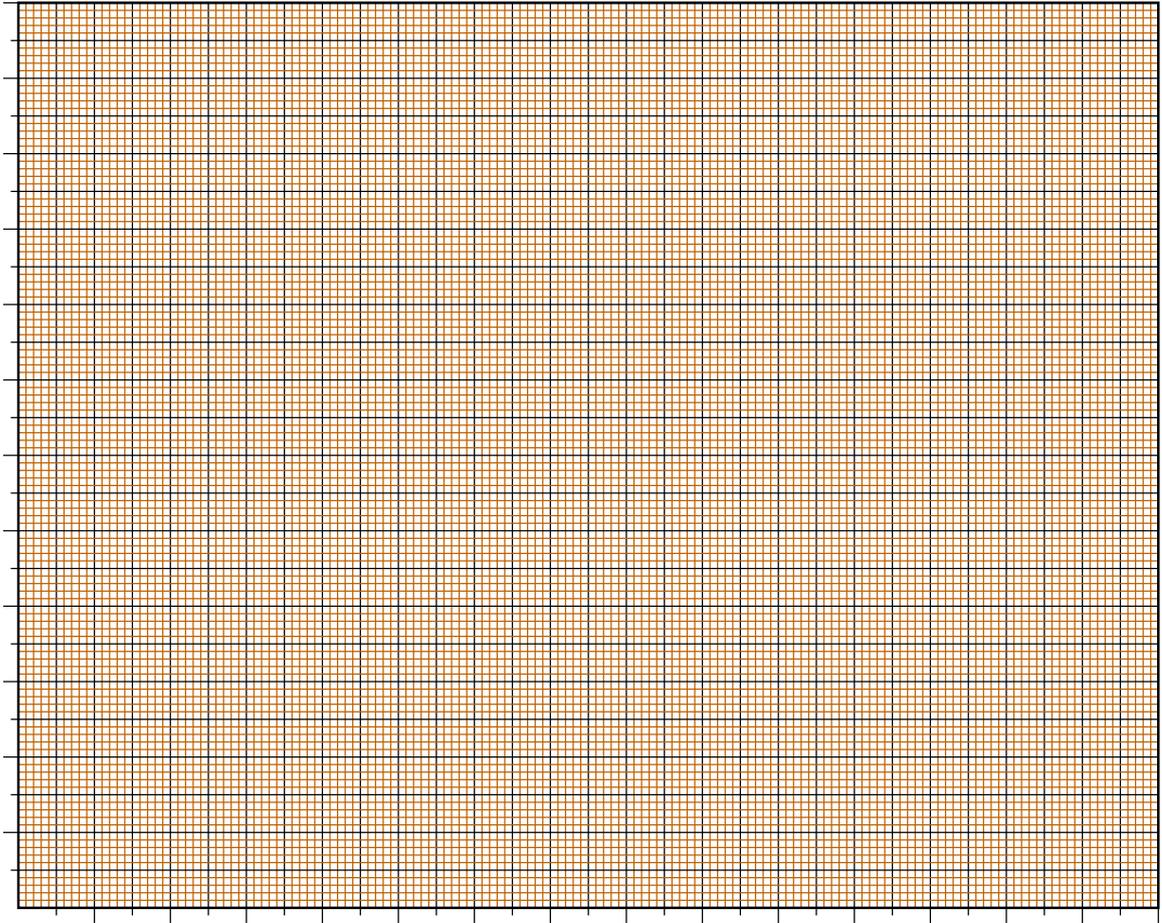
Álcool etílico

$\rho_{Alcohol} (g/cm^3)$	% de Álcool etílico

$$\rho_{Alcohol}( \quad )g/cm^3 = ( \quad )\% \text{ de Álcool etílico}$$







Conclusão

---

---

---

---

---