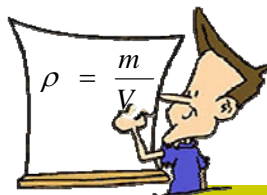


Grandeza derivada das grandezas de base massa e comprimento

Unidade derivada do SI - quilograma por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>)



A **massa volúmica** ( $\rho$ ) é propriedade da matéria correspondente à **massa** ( $m$ ) contida por **unidade de volume\*** ( $V$ ), ou seja, corresponde ao grau de compactação de um corpo.

\*volume = comprimento ao cubo



$$d = \frac{\rho}{\rho_0}$$

O quociente entre a massa volúmica de uma matéria ( $\rho$ ) e a massa volúmica de uma matéria de referência ( $\rho_0$  - geralmente água) corresponde à **densidade** ou **massa volúmica relativa** ( $d$ ), grandeza adimensional.

Unidade não-SI em uso com o SI - grama por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>) que a equivale a 0,001 kg/m<sup>3</sup>

## Aplicação

A **massa volúmica** é uma grandeza essencial no controlo da maioria dos processos industriais, permitindo uma melhor condução do processo e a determinação exacta da quantidade e da qualidade do produto.

A sua **medição** é realizada:

- na **indústria das bebidas**, para a determinação do teor de álcool em misturas binárias, do teor de açúcar nos refrigerantes e nos sumos de fruta;
- na **indústria farmacêutica**, para a determinação da gravidade específica de preparações medicinais;
- na **indústria petrolífera**, para a determinação da gravidade API e no controlo de qualidade dos combustíveis e aditivos;
- na **indústria química e nuclear**, para a determinação da concentração dos ácidos, bases e outras soluções na concentração de substâncias radioactivas;
- na **indústria de alimentos, cosméticos**, entre outras.

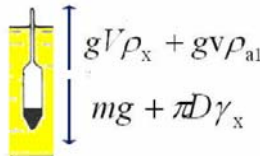


## Medição

### De Arquimedes a Hans Stabinger

#### Hidrometria

Atribuídos a Arquimedes (século III a.C.), embora inventados por Hipátia (370-415 d.C.), os hidrómetros são instrumentos de medição de massa volúmica de líquidos, simples, eficazes e utilizados em medições com diferentes níveis de exactidão.



**De acordo com o Princípio de Arquimedes** - Quando um hidrómetro flutua livremente num líquido de massa volúmica  $\rho_x$  a uma dada temperatura, com a correspondente indicação da escala  $\rho_r$  existem forças descendentes e ascendentes que actuam sobre ele. A força gravítica ( $g$ ) e a força devida à tensão superficial do líquido  $\gamma_x$  que actua na haste do hidrómetro são equilibradas pela força de impulsão devida à deslocação do volume  $V$  do hidrómetro abaixo da superfície do líquido e pela força de impulsão do ar deslocado pelo volume  $v$  da haste do hidrómetro acima da superfície do líquido.



O método de calibração de hidrómetros, baseado na pesagem hidrostática, foi introduzido por Cuckow em 1949. Este permite que hidrómetros de qualquer gama possam ser calibrados, através da medição da sua força de impulsão no ar e quando imersos num líquido de referência. É o método usado no IPQ e na maioria dos Laboratórios Nacionais de Metrologia.

#### Densimetria de tubo vibrante

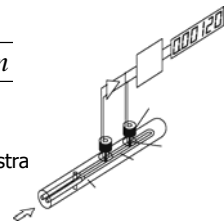


Em 1967, a empresa Anton Paar GmbH apresentou o primeiro densímetro digital de líquidos e gases, baseado no princípio do tubo vibrante em forma de U de Hans Stabinger e Hans Leopold. Este estava sujeito a erros de medição da massa volúmica induzidos pela viscosidade das amostras analisadas. Em 1998, é desenvolvido por Hans Stabinger um densímetro (Paar DMA 5000), com nova célula de medição aplicando a correcção da viscosidade da amostra, evitando-se assim estes erros sistemáticos.

O princípio de funcionamento destes instrumentos baseia-se na **lei da oscilação harmónica**, na qual um tubo em U, preenchido com amostra a analisar, é submetido a uma força electromagnética. Por medição da frequência da vibração do conjunto determina-se o valor da massa volúmica da amostra. O tubo em U oscila na sua frequência natural ( $1/\tau$ ), função da sua massa ( $m$ ). Considerando que o volume de amostra dentro da célula é sempre igual ( $V$ ), resulta que a frequência de oscilação depende unicamente da massa volúmica da amostra ( $\rho$ ).

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{\rho V + m}{C}}$$

- $\tau$  - período de oscilação
- $\rho$  - massa volúmica da amostra
- $V$  - volume da célula
- $m$  - massa da célula
- $C$  - constante do oscilador



O LPL efectua as calibrações dos densímetros de tubo vibrante a 20 °C, através de método comparativo, com líquidos de referência no intervalo de (500 a 2 000) kg/m<sup>3</sup>.

#### Pesagem hidrostática

A massa volúmica de líquidos pode ainda ser determinada através de um método de pesagem hidrostática, no qual é utilizada uma esfera de silício, como padrão de massa volúmica, cujo volume e massa volúmica são conhecidas. Este método está em desenvolvimento pelo LPL.



#### Picnometria



Os picnómetros são utilizados para a determinação da densidade de líquidos viscosos, tais como tintas e vernizes, utilizando o princípio da determinação da massa de líquido contido e tendo em conta o volume do picnómetro obtido através da sua calibração.

$$\rho_{\text{liquido}} = \frac{m_{\text{liquido}}}{V_{\text{picnómetro}}}$$

A calibração de picnómetros é efectuada através do método gravimétrico, que consiste na determinação da massa de água destilada contida no picnómetro que é posteriormente convertida em volume, para uma temperatura de 20 °C, utilizando fórmulas e tabelas adequadas. No IPQ o LVO é o responsável pela realização da calibração de picnómetros.