

## Princípio de Arquimedes - Empuxo

### 1- Empuxo

Você já percebeu que os objetos parecem ficar mais leves quando imersos na água? É fácil verificar isso. Verifique o peso de um objeto antes de colocá-lo dentro da água e depois de imerso na água. A perda aparente de peso depende do material utilizado (na realidade, depende de sua densidade). Alguns chegam a "perder" todo o peso (eles boiam).

Por que alguns objetos boiam na água?

Por que um navio de aço flutua?

A explicação para isso é que o líquido exerce uma força vertical (para cima) sobre os objetos imersos nele. Essa força é conhecida como empuxo.

Arquimedes entendeu muito bem esse fenômeno e enunciou, no seu livro "Sobre os Corpos Flutuantes", a sua famosa lei:

**Qualquer objeto sólido imerso num líquido "perde" peso de tal forma que o "peso perdido" é igual ao peso da quantidade de líquido que ele desloca.**

Portanto, a força conhecida como empuxo (a aparente perda de peso) é tal que:

**Empuxo = peso do volume do fluido deslocado**

Portanto, sobre um objeto parcial ou totalmente imerso num fluido devemos considerar mais uma força, que é o **empuxo**.

### 2- Densidade superficial e densidade volumétrica

A densidade superficial é utilizada no comércio para especificar quantitativamente a sua espessura e sua qualidade. Por exemplo, ao comprar papel vergê, existem à venda papéis de diferentes tamanhos e de diferentes gramaturas, de 80 ou de 120g/m<sup>2</sup>. Esta especificação significa que 1 metro quadrado deste papel tem a massa de 80g ou 120g/m<sup>2</sup>. Um papel de alta

*Mecânica – Princípio de Arquimedes - Empuxo*  
*Autores: Prof. Gil da Costa Marques e Profa. Nobuko Ueta*

gramatura é o mais grosso e tem a massa maior, em comparação com papéis de mesmo tamanho e de menor gramatura.

A densidade superficial  $\rho$  é definida pela relação:

$$\sigma = \frac{M}{A},$$

onde M é a massa e A é a área do papel

Já, para outros sólidos como madeira, metais etc., define-se a densidade volumétrica.

A densidade volumétrica  $\rho$  é definida pela relação

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

onde M é a massa e V é o volume do objeto.

A massa é obtida medindo-se diretamente usando uma balança e a área ou o volume são obtidos através das dimensões do objeto. Se o objeto não tiver uma forma geométrica definida é necessário usar algum artifício.

### 3- Objetos que boiam e objetos que afundam

Se o volume do objeto imerso ou submerso no fluido for  $V'$  e a densidade do fluido for  $\rho_f$ , então, o empuxo será dado por

$$E = \rho_f V' g$$

Como o peso é dado por

$$p = \rho V g$$

onde  $\rho$  é a densidade do objeto, temos duas situações de interesse: se a densidade do objeto for maior do que a do fluido (bola maciça de ferro dentro da água),

$$\rho > \rho_f$$

o objeto tenderá a afundar.

No entanto, se o objeto for menos denso que o fluido (bola de isopor dentro da água),

$$\rho < \rho_f$$

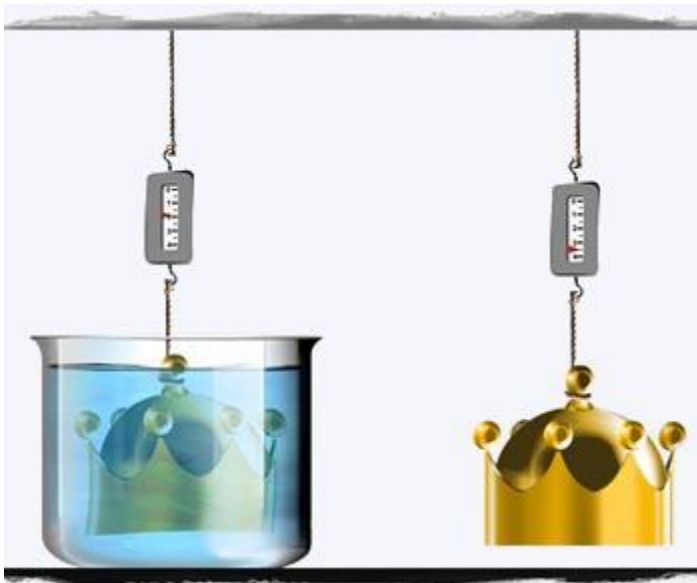
o objeto irá flutuar. Nesse caso, só parte dele ficará submerso.

*Mecânica – Princípio de Arquimedes - Empuxo*  
*Autores: Prof. Gil da Costa Marques e Profa. Nobuko Ueta*

Alguns objetos feitos de aço ou ferro (como os navios) têm partes ocas ou menos densas no seu interior. Isso lhes permite flutuar. Isso ocorre porque sua construção lhes permite deslocar uma grande quantidade de água, aumentando o empuxo e fazendo-o maior do que o seu peso.

#### 4- Arquimedes

Conta-se que na Grécia Antiga o rei Hieron II de Siracusa apresentou um problema a Arquimedes, um sábio da época. O rei havia recebido a coroa de ouro, cuja confecção confiara a um ourives, mas estava desconfiado da honestidade do artesão. O ourives teria substituído parte do ouro que lhe foi entregue por prata. Arquimedes foi encarregado de descobrir uma prova irrefutável do roubo. A lenda conta que o sábio teria descoberto o método de medir a densidade dos sólidos por imersão em água quando se banhava. Ele notou que o nível da água aumentou quando ele entrou na tina. Logo associou a quantidade de água deslocada com o volume da parte imersa do seu corpo. Assim, comparando o efeito provocado pelo volume da coroa com o do volume de igual peso de ouro puro, ele poderia determinar a pureza da coroa. Nesse instante, pelo que consta historicamente, Arquimedes teria saído subitamente do banho e, ainda nu, teria corrido pelas ruas da cidade gritando "eureka, eu descobri!".



O método descoberto por Arquimedes se aplica a objetos com formas geométricas irregulares e permite obter a densidade através do seu peso aparente imerso em água e do peso imerso em ar.

**PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES: O peso aparente do objeto imerso em água é dado pelo peso do corpo imerso no ar  $P_m$  menos o empuxo que ele sofre na água  $E_m$ .**

O peso do corpo é escrito em função da densidade  $\rho_{\text{corpo}}$ , como:  $P_m = \rho_{\text{corpo}} \cdot V \cdot g$  é o volume do corpo e  $g$  é a aceleração da gravidade.



O empuxo  $E_m$  é uma força que age sobre o corpo imerso, na mesma direção que a força peso, mas no sentido contrário, e o seu valor é obtido pelo peso do volume de água deslocado.  $E_m = \rho_{\text{água}} \cdot V \cdot g$ , onde  $\rho_{\text{água}}$  é a densidade da água.

A densidade do corpo  $\rho_{\text{corpo}}$  é a do material que o compõe e, em caso de material composto, depende exatamente da proporção de cada elemento existente na composição. O volume do fluido deslocado é igual ao volume do objeto imerso. Assim,

usando a definição de densidade,

$$P_m = M \cdot g$$

$$P_m = \rho_m \cdot V \cdot g$$

$$E_m = \rho_a \cdot V \cdot g$$

então, o volume  $V$  pode ser escrito

$$V = \frac{E_m}{(\rho_a \cdot g)}$$

e a densidade  $m$

$$\rho_m = \frac{P_m}{(V \cdot g)} = P_m \cdot \frac{\rho_a \cdot g}{(E_m \cdot g)}$$

Finalmente,

$$\rho_m = P_m \cdot \frac{\rho_a}{E_m}$$

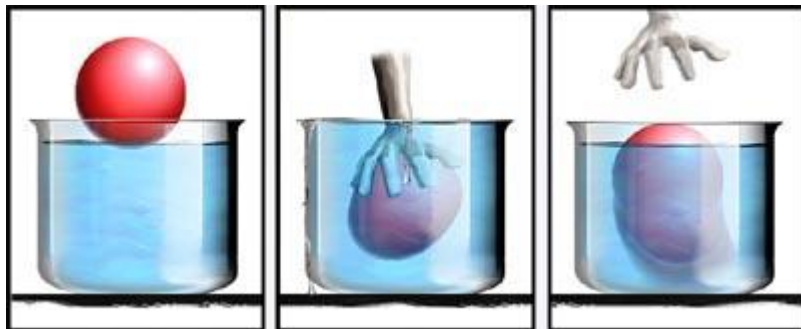
Os valores de  $P_m$  e  $P_m - E_m$  são obtidos diretamente em um dinamômetro, como mostra a figura abaixo, de onde se obtém  $E_m$ . A densidade  $\rho_m$ , a

densidade procurada é assim obtida conhecendo-se a densidade da água  $\rho_a$ , que é  $\frac{1g}{cm^3}$ .

## 5- Empuxo no cotidiano

### 1. Objetos com densidade uniforme flutuam

Objetos com densidade menor do que a do líquido no qual estão imersos flutuam. Uma bola de isopor flutua. Se a submergirmos num líquido ela tende a subir. Os dois efeitos resultam do empuxo.

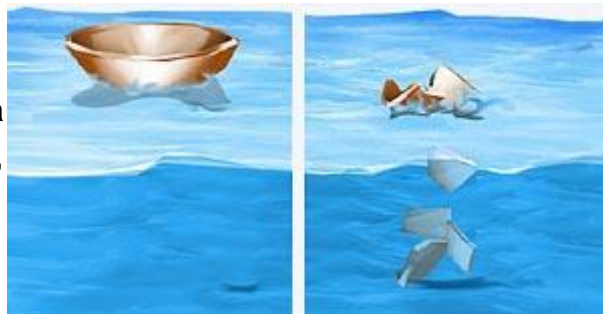


### 2. Objetos "ocos" flutuam

Um objeto oco tem mais facilidade de flutuar. Um navio só flutua porque ele não é todo de ferro. As partes ocas ou vazias do navio reduzem sua densidade em relação àquela do ferro maciço. Um navio é tão oco que a sua densidade média é bem menor do que a densidade da água.

### 3. Uma tigela flutuando

Uma tigela funda flutua sobre a água. O que ocorre se, em seguida, quebrarmos a tigela?



#### **4. Garrafa boiando**

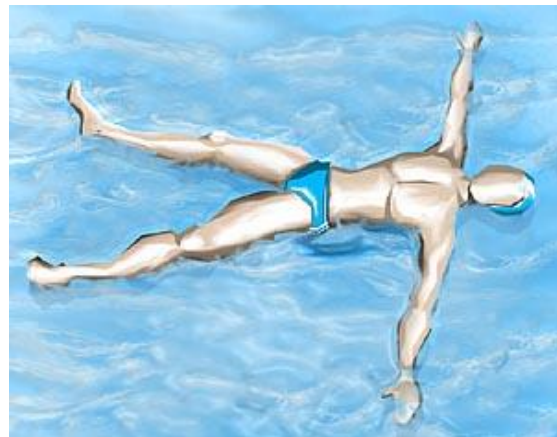
As garrafas em geral flutuam. No entanto, se como resultado das ondas a água começar a penetrar na garrafa, depois de algum tempo ela afundará.



#### **5. Facilitando a flutuação**

As pessoas têm facilidade para boiar na água. O mesmo vale para os animais. Isso demonstra que a densidade média dos seres vivos é praticamente igual à densidade da água.

Quando você estiver de barriga para cima na água, inspire uma certa quantidade de ar a mais. Você perceberá que o seu corpo passará a flutuar com mais facilidade. Por quê?



## **6. Objetos mais leves que o ar**

Os gases também são fluidos. Eles diferem dos líquidos por possuírem uma densidade menor do que estes. A Terra é envolta por uma mistura de gases (a atmosfera terrestre). A Terra está, portanto, envolta por uma camada de fluido.

Objetos cuja densidade seja menor do que a densidade da atmosfera tendem a flutuar (dizemos que esses objetos são mais leves do que o ar). Novamente aqui isso pode ser explicado pelo princípio de Arquimedes.

Você já deve ter visto os dirigíveis ou balões, que são grandes objetos (relativamente leves) contendo no seu interior gases mais leves do que o ar (especialmente hidrogênio). A ascensão de um dirigível é facilitada ao inflarmos o mesmo. Esvaziá-lo facilita a sua descida.



## **7. Balões em festas juninas**

Um balão de festa junina sobe se atarmos fogo a uma mecha. Quando a mecha se apaga o balão cai. Por que isso acontece?

É bom lembrar que a queima de um combustível altera a composição química do ar. Isto é, ele é substituído por gases mais leves (com menor densidade). Portanto, a queima da mecha acaba, depois de um curto lapso de tempo, fazendo com que prevaleça no interior do balão uma mistura mais leve do que o ar. O balão tende a subir pelo empuxo provocado pelo ar em volta.

## **8. Os icebergs**

Os icebergs são grandes massas de água no estado sólido, que se deslocam seguindo as correntes marítimas nos oceanos. Em geral, a ponta do iceberg corresponde a menos de 10% do volume total do mesmo. O gelo tem uma densidade ligeiramente menor do que a água, próxima do ponto de fusão da mesma. Assim, os icebergs flutuam devido à menor densidade do gelo.