



FÍSICA

2

MECÂNICA II

4. Princípio de Arquimedes - Empuxo

Parte I – Medida da densidade de um sólido

Parte II – Medida da densidade de um líquido

NOME _____
ESCOLA _____
EQUIPE _____ SÉRIE _____
PERÍODO _____ DATA _____

PARTE I – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE UM SÓLIDO**QUESTÃO PRÉVIA**

“Por que você se sente mais leve quando está imerso ou parcialmente imerso na água?”.

Resposta:

OBJETIVOS

- Aprender o conceito de empuxo
- Verificar experimentalmente o Princípio de Arquimedes
- Determinar a densidade de um sólido

INTRODUÇÃO

Conta-se que Arquimedes, físico e matemático grego que viveu 287 – 212 AC, foi incumbido de identificar se a nova coroa do rei seria de ouro ou falsificada. Ele sabia que por um determinado valor de ouro pesa mais do que qualquer outro metal conhecido na época. Mas como obter o volume do formato complicado de uma coroa? Entrando de novo na banheira, observou que a água subia. Sentiu também que parecia mais leve na água do que fora. Aí lhe ocorreu que o peso que ele parecia perder enquanto na água seria o peso da água que subia quando entrava na banheira. Bastava pesar a coroa dentro e fora da água e poderia obter o volume com diferentes pesos... Eureka! (eu descobri!)

Vamos entender o que aconteceu e o princípio de Arquimedes.

DENSIDADE OU MASSA ESPECÍFICA

A densidade ou massa específica de uma substância é definida como sendo quantidade de massa contida por unidade volume.

Notação: ρ → densidade ou massa específica

Expressão: $\rho = m / V$

Unidades de volume (V) e massa específica (ρ) – SI

$$U (V) = 1 \text{ m}^3$$

$$U (\rho) = 1 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Submúltiplos

$$U (V) = 1 \text{ cm}^3$$

$$U (\rho) = 1 \text{ g} / \text{cm}^3$$

Exemplo:

$$\rho_{\text{água}} = 1,0 \text{ g} / \text{cm}^3 = 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$$

EMPUXO

Considere um objeto de forma cilíndrica, imerso no interior de um recipiente contendo água.

Sabemos que a pressão aumenta quando aumenta a profundidade, portanto a resultante das forças exercida pela água na parte inferior (F_2) do cilindro é maior que a resultante das forças exercida pela água na parte superior (F_1) do cilindro e as forças laterais se anulam. A resultante das forças F_1 e F_2 vai ser a diferença entre estas duas forças atuando na vertical, de baixo para cima, que é denominada empuxo (E). Além destas forças, tem-se também a força peso do cilindro, p , e a força indicada no dinamômetro, p_a , quando o cilindro está imerso no líquido (fig. 4.1).

Vamos demonstrar o princípio de Arquimedes cujo enunciado é:

“Quando um corpo é imerso em um líquido, ele sofre uma força de baixo para cima, denominada empuxo, E , que é igual ao peso do líquido deslocado”.

$$\text{Expressão: } E = p_L = \rho_L V_L g \quad (4.1)$$

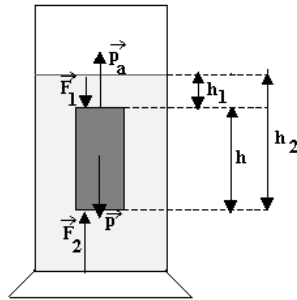
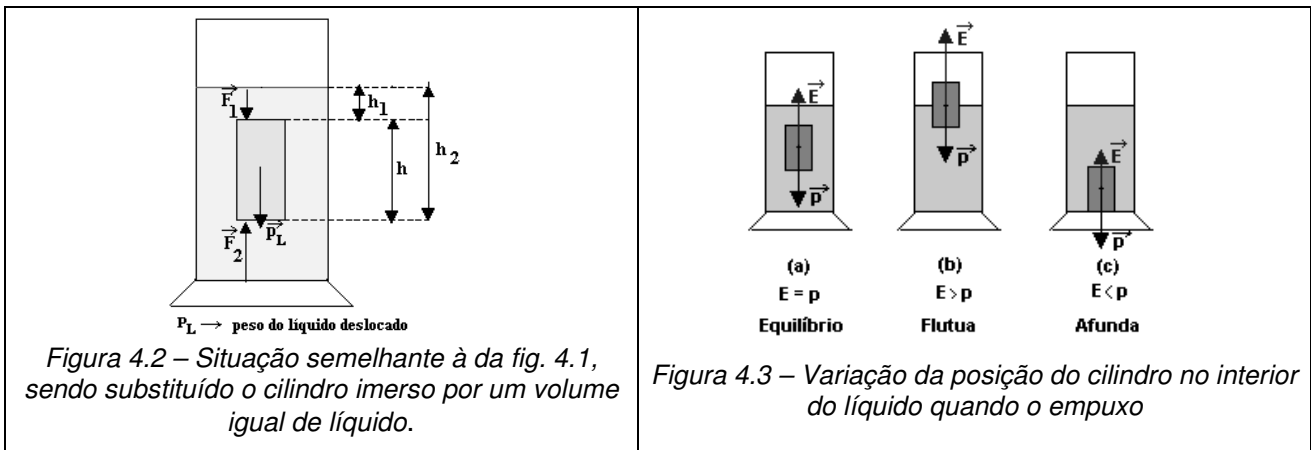


Figura 4.1 – Forças que atuam em um corpo imerso em um fluido

Como o cilindro está em equilíbrio no interior do líquido, a resultante das forças que atuam sobre ele é nula, obtendo:

$$E = F_2 - F_1 = p - p_a \quad (4.2)$$

Substituindo o cilindro imerso por igual volume de água, as forças que atuam sobre este fluido contido neste volume vão ser a mesmas que atuavam sobre o cilindro imerso; portanto o empuxo vai ser igual ao peso do volume do líquido deslocado que é o princípio de Arquimedes. Observe na figura 4.3 o que acontece com o corpo quando o empuxo é igual, maior ou menor que o peso do cilindro.



MATERIAL

- Cilindro de alumínio
- Régua
- Dinamômetro
- Suporte
- Béquer (150 mL)
- 100 mL de água

PROCEDIMENTO

- Coloque 100 mL de água no béquer e anote este valor inicial do volume V_i na tabela 4.1.
- Meça o peso do cilindro (p) utilizando o dinamômetro (fig. 4.3a) e coloque o valor na tabela 4.1.
- Faça o cilindro imergir totalmente na água (fig. 4.3b), sem tocar o fundo do béquer, e meça a força aparente, p_a , utilizando o dinamômetro. Coloque os valores do peso real, p , e a força aparente, p_a , na tabela 4.1.
- Anote o novo valor do volume obtido, V_f , no béquer na tabela 4.1.
- Meça com uma régua o diâmetro e a altura do cilindro.

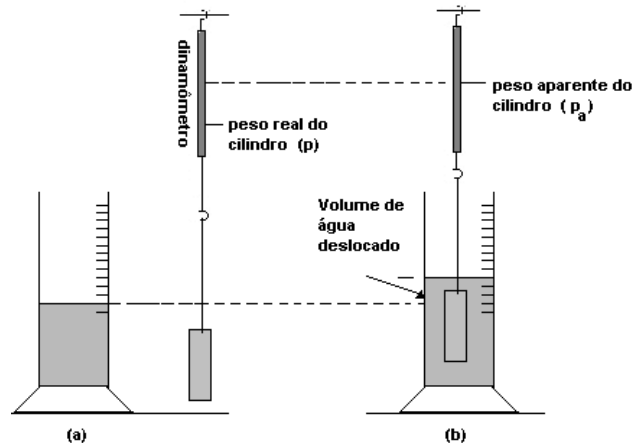


Figura 4.2 – (a) Medindo o volume inicial de água e o peso real do cilindro
(b) Medindo o volume final de água e a força aparente (p_a) no dinamômetro quando o cilindro é imerso na água, que é igual ao peso aparente do cilindro.

DETERMINE:

- O volume de água deslocado ($V_L = V_f - V_i$) em m^3 ($1 \text{ mL} = 10^{-6} m^3$) e coloque o valor na tabela 4.1.
- O volume do cilindro de metal: ($V_c = \pi r^2 h$, considerando $\pi \approx 3.14$) e coloque o valor na tabela 4.1.
- O empuxo E ($E = p - p_a$).
- O empuxo calculado através da expressão: $E = \rho_{\text{água}} V_L g$ onde $\rho_{\text{água}} = 1,0 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$
- Calcule a densidade do alumínio, ρ .

QUESTÕES:

I-1) O volume de água deslocado coincidiu com o valor do volume do cilindro?

I-2) O empuxo calculado utilizando a expressão $E = p - p_a$, apresenta o mesmo valor que o calculado através da expressão $E = \rho_{\text{água}} V_L g$? Justificar a resposta.

I-3) E agora você consegue responder a questão prévia?

Tabela 4.1 – Parte I - Princípio de Arquimedes: Empuxo

Substância	V_i (10^{-6} m^3)	V_f (10^{-6} m^3)	V_L (10^{-6} m^3)	V_c (10^{-6} m^3)	p (N)	p_a (N)	$E = p - p_a$ (N)	$E = \rho_{\text{água}} V_L g$ (N)	ρ_c (kg/m^3)
Água									
Alumínio									

RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES:

$1 m^3 = (10^2)^3 cm^3 = 10^6 cm^3$ $1 cm^3 = 10^{-6} m^3$ $1 m^3 = 10^3 L$	$1 L = 10^{-3} m^3$ $1 mL = 10^{-3} L = 10^{-3} 10^{-3} m^3 = 10^{-6} m^3$	$1 kg/m^3 = 10^3 g/(10^2)^3 cm^3 = 10^{-3} g/cm^3$ $1 g/cm^3 = 10^{-2} kg/(10^{-2})^3 m^3 = 10^3 kg/m^3$
---	---	---

PARTE II – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE UM LÍQUIDO

QUESTÃO PRÉVIA

“Quando você está imerso na água salgada do mar, você se sente mais leve ou mais pesado do que na água? Justificar a resposta”.

Resposta:

OBJETIVO

- Determinar a densidade da água salgada

INTRODUÇÃO

A densidade relativa de uma substância é definida como sendo a razão da densidade da substância em relação à da água:

$$\rho_{\text{relativo líquido}} = \rho_{\text{líquido}} / \rho_{\text{água}} \quad 4.5$$

O empuxo

Quando o cilindro é imerso no líquido, o empuxo é igual ao peso (p_L) do volume deslocado do líquido:

$$E_L = p_L = \rho_L V g$$

Onde,

$\rho_L \rightarrow$ densidade ou massa específica do líquido
 $V \rightarrow$ volume do cilindro (igual ao volume do líquido deslocado)

Temos que:

$$\rho_L = p_L / (V g) \quad 4.6$$

Quando imerso na água:

$$E_{\text{água}} = p_{\text{água}} = \rho_{\text{água}} V g$$

Onde: $\rho_{\text{água}} \rightarrow$ densidade ou massa específica da água
 $V \rightarrow$ volume do cilindro (igual ao volume da água deslocado)

$$\rho_{\text{água}} = p_{\text{água}} / (V g) \quad 4.7$$

Substituindo 4.6 e 4.7 em 4.5, obtemos:

$$\rho_{\text{relativo líquido}} = \rho_L / \rho_{\text{água}} = [p_L / (V g)] / [p_{\text{água}} / (V g)]$$

$$\rho_{\text{relativo líquido}} = \rho_L / \rho_{\text{água}} = p_L / p_{\text{água}} \quad 4.8$$

De 4.2 temos que o empuxo que o cilindro tem no líquido:

$$E_L = p_L = p - p_{a(L)} \quad 4.9$$

e na água:

$$E_{\text{água}} = p_{\text{água}} = p - p_{a(\text{água})} \quad 4.10$$

Substituindo 4.9 e 4.10 em 4.8:

$$\rho_{\text{relativo líquido}} = \rho_L / \rho_{\text{água}} = (p - p_{a(L)}) / (p - p_{a(\text{água})})$$

Portanto:

$$\rho_{\text{líquido}} = \rho_{\text{água}} (p - p_{a(L)}) / (p - p_{a(\text{água})}) \quad 4.11$$

MATERIAL

- Cilindro de alumínio
- Dinamômetro
- Suporte
- Béquer (150 mL)
- 1 colher de sal
- 1 misturador de plástico

PROCEDIMENTO

- Coloque 100 mL de água no béquer
- Meça o peso do cilindro (p) utilizando o dinamômetro (fig. 4.3a) e coloque o valor na tabela 4.1.
- Faça o cilindro imergir totalmente na água (fig. 4.3b), sem tocar o fundo do béquer, e meça a força aparente, p_a , utilizando o dinamômetro. Coloque os valores do peso real, p , e a força aparente, p_a , na tabela 4.2.
- Dilua uma colher de sal na água contida no béquer.
- Faça o cilindro imergir totalmente na água salgada (fig. 4.3b), sem tocar o fundo do béquer, e meça a força aparente, p_a (água salgada), utilizando o dinamômetro. Coloque o valor encontrado na tabela 4.2.

DETERMINE:

- O empuxo E ($E = p - p_a$), quando o cilindro é imerso na água.
- O empuxo E ($E = p - p_a$), quando o cilindro é imerso na água salgada.
- Compare com o valor obtido na água.
- Calcule a densidade da água salgada, sabendo que $\rho_{\text{água}} = 10^3 \text{ kg / m}^3$ através da expressão 4.11: $\rho_{\text{água salgada}} = \rho_{\text{água}} (p - p_a (\text{água salgada})) / (p - p_a (\text{água}))$

QUESTÕES:

II-1) O empuxo exercido pela água é igual ao empuxo exercido pela água salgada? Justificar a resposta.

II-2) E agora consegue responder a questão prévia?

Tabela 4.2 – Parte II - Princípio de Arquimedes: Empuxo

Substância	p (N)	p_a (N)	$E = p - p_a$ (N)	ρ (kg/m ³)
Água				
Água salgada				

Valor de referência: densidade do alumínio $\rightarrow \rho_{\text{AL}} = 2,7 \text{ g / cm}^3 = 2,7 \times 10^3 \text{ kg / m}^3$

Relação entre as unidades:

$1 \text{ m}^3 = (10^2)^3 \text{ cm}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$ $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$ $1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ L}$	$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$ $1 \text{ mL} = 10^{-3} \text{ L} = 10^{-3} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$	$1 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ g}/(10^2)^3 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ $1 \text{ g/cm}^3 = 10^{-2} \text{ kg}/(10^{-2})^3 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$
---	---	---