CURSO DE FORMAÇÃO DE OPERADORES DE REFINARIA

FÍSICA APLICADA

MECÂNICA DOS FLUIDOS

FÍSICA APLICADA

MECÂNICA DOS FLUIDOS

LUIZ FERNANDO FIATTE CARVALHO

EQUIPE PETROBRAS

Petrobras / Abastecimento

UN´S: REPAR, REGAP, REPLAN, REFAP, RPBC, RECAP, SIX, REVAP

CURITIBA
2002

530 C331	Carvalho, Luiz Fernando Fiatte. Curso de formação de operadores de refinaria: física aplicada, mecânica dos fluidos / Luis Fernando Fiatte Carvalho. – Curitiba : PETROBRAS : UnicenP, 2002. 34 p. : il. color. ; 30 cm. Financiado pelas UN: REPAR, REGAP, REPLAN, REFAP, RPBC, RECAP, SIX, REVAP. 1. Física. 2. Hidrostática. 3. Hidrodinâmica. I. Título.

Apresentação

É com grande prazer que a equipe da Petrobras recebe você.

Para continuarmos buscando excelência em resultados, diferenciação em serviços e competência tecnológica, precisamos de você e de seu perfil empreendedor.

Este projeto foi realizado pela parceria estabelecida entre o Centro Universitário Positivo (UnicenP) e a Petrobras, representada pela UN-Repar, buscando a construção dos materiais pedagógicos que auxiliarão os Cursos de Formação de Operadores de Refinaria. Estes materiais – módulos didáticos, slides de apresentação, planos de aula, gabaritos de atividades – procuram integrar os saberes técnico-práticos dos operadores com as teorias; desta forma não podem ser tomados como algo pronto e definitivo, mas sim, como um processo contínuo e permanente de aprimoramento, caracterizado pela flexibilidade exigida pelo porte e diversidade das unidades da Petrobras.

Contamos, portanto, com a sua disposição para buscar outras fontes, colocar questões aos instrutores e à turma, enfim, aprofundar seu conhecimento, capacitando-se para sua nova profissão na Petrobras.

*Nome:*____

*Cidade:*_______________________________________

*Estado:*_______________________________________

*Unidade:*______________________________________

Escreva uma frase para acompanhá-lo durante todo o módulo.

Sumário

Conceitos de hidrostática aplicados 1

1.1 Conceito de fluido

Antes de estudarmos fluidos, devemos lembrar que a matéria, como a conhecemos, se apresenta em três diferentes estados físicos, de acordo com a agregação de partículas: o estado sólido, o estado líquido e o estado gasoso.

O estado sólido caracteriza-se por conferir a um corpo forma e volume bem definidos. Os líquidos e os gases, ao contrário dos sólidos, não possuem forma própria: assumem, naturalmente, a forma do recipiente que os contém. Os líquidos têm volume definido, enquanto os gases, por serem expansíveis, ocupam todo o volume do recipiente que estejam ocupando.

Fluido é uma substância que pode escoar (fluir) e, assim, o termo inclui líquidos e gases, que diferem, notavelmente, em suas compressibilidades; um gás é facilmente comprimido, enquanto um líquido é, praticamente, incompressível. A pequena (mínima) variação de volume de um líquido sob pressão pode ser omitida nas situações iniciais desta apostila.

Como vimos acima, os líquidos têm volume definido, enquanto os gases, por serem expansíveis, ocupam todo o volume do recipiente em que estejam contidos. Estes aspectos são importantes, pois em refinarias a aplicação destes conceitos é fundamental no estudo das características físicas e químicas, de vapores, gasolina, petróleo, GLP e outros derivados.

Estado	Forma	Volume
Sólido	Definida	Definido
Líquido	Indefinida	Definido
Gasoso	Indefinida	Indefinido

Sólido Líquido Gasoso

Como vimos, a propriedade comum a estes dois estados físicos, de forma indefinida, (líquido e gasoso) é escoar ou "fluir", com facilidade, através de um condutor ou duto. Estudaremos aqui os "fluidos ideais", também chamados fluidos perfeitos.

Nos fluidos ideais, consideremos que não existe atrito entre as moléculas que se deslocam quando o fluido escoa, nem atrito entre o fluido e as paredes do condutor. De qualquer maneira, este problema de atrito só será importante no estudo dos fluidos em movimento (hidrodinâmica) e, basicamente, não influirá sobre os fluidos em equilíbrio, cujo estudo (hidrostática) é objeto inicial destes primeiros capítulos.

Podemos adiantar, entretanto, que a grandeza que caracteriza o atrito entre as moléculas de um fluido é a **viscosidade**. Por exemplo, você certamente já percebeu a diferença marcante quando despejamos uma lata de óleo em um tanque ou no chão e outra igual cheia de água. Dizemos que o óleo é mais viscoso que a água, pois "flui" com maior dificuldade que a água.

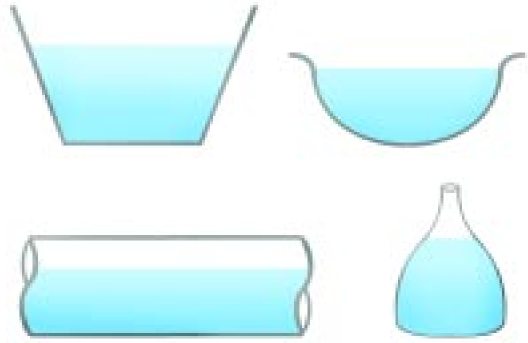
1.2 Propriedades gerais dos fluidos e diferença entre líquidos e gases

A Hidrostática, como já foi citado anteriormente, trata de estudar os fluidos em equilíbrio. Caracterizaremos, agora, algumas das propriedades dos fluidos em equilíbrio, dando ênfase especial aos líquidos. Mostraremos algumas diferenças entre líquidos e gases e deixaremos os gases para serem estudados com maior detalhe, posteriormente.

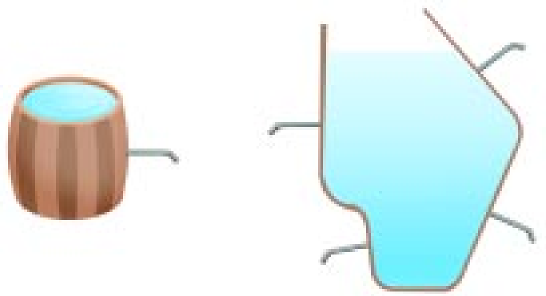
1.2.1 Propriedades gerais dos fluidos

As propriedades dos líquidos que mostraremos a seguir são de fácil verificação experimental e as explicações teóricas são baseadas nas leis de Newton.

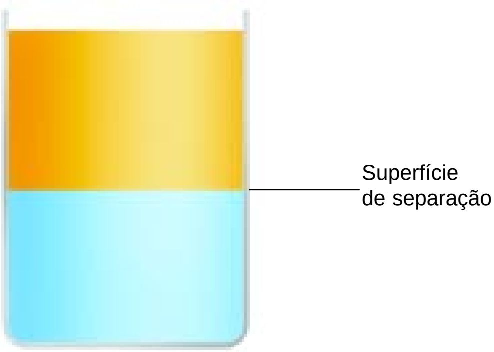
1. A superfície livre de um líquido em equilíbrio é plana e horizontal.



2. A força exercida por um líquido sobre uma superfície qualquer é sempre perpendicular (normal) a essa superfície. Isto pode ser constatado quando furamos um vaso que contém líquidos e observamos que este se projeta (derrama, escoa) perpendicularmente à parede do vaso.



3. A terceira propriedade diz respeito à imiscibilidade de líquidos de diferentes densidades, quando em equilíbrio. É o que observamos, por exemplo, entre o óleo de cozinha e a água que, quando colocados em um mesmo recipiente, não se misturam, apresentando uma superfície de separação plana e horizontal. O óleo, por ser menos denso do que a água, se sobrepõe a ela.



4. Você já deve ter observado que, ao mergulhar em uma piscina ou mesmo no mar, a "pressão" aumenta à medida em que é maior a profundidade que você alcança. Ou seja, ocorre uma variação de pressão, em função da profundidade. O estudo desta propriedade, com detalhes, será feito posteriormente.

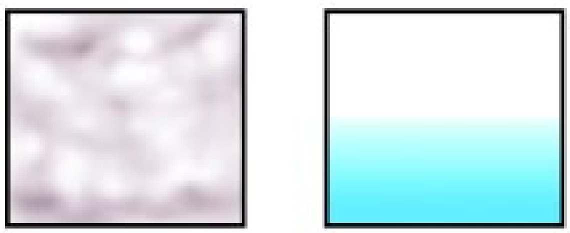
Observação: Nos capítulos futuros, mostraremos o que vem a ser pressão e estabeleceremos uma relação matemática para se calcular o valor da pressão a uma certa profundidade, sua influência e aplicações.

1.2.2 Diferença entre líquidos e gases

Apesar dos líquidos e gases serem classificados como fluidos, há algumas diferenças entre eles que podemos destacar.

Uma primeira diferença já foi, de certa forma, apontada anteriormente, quando vimos que os gases, por serem expansíveis, ocupam o volume total dentro de um recipiente, qualquer que seja sua capacidade.

Quando colocamos um certo volume de líquido num vaso de maior capacidade, ele ocupará somente uma parte do vaso, igual ao seu próprio volume.



Uma segunda diferença a perceber entre os gases e os líquidos é a propriedade que têm os primeiros de serem facilmente compressíveis.

Isto significa que podemos encerrar, num recipiente de 1 litro , como o da figura acima, uma quantidade bem maior de gás, o mesmo não ocorrendo com relação aos líquidos.

Uma diferença muito importante entre líquido e gás é a miscibilidade. Os líquidos, como já vimos, nem sempre são miscíveis entre si, como no caso do óleo e da água, visto anteriormente.

Os gases, ao contrário, sempre se misturam homogeneamente entre si. Um exemplo típico é o ar atmosférico, constituído de nitrogênio, oxigênio e outros gases em menor proporção. Um outro exemplo é o do maçarico oxi-acetilênico. O acetileno e oxigênio, provenientes de suas respectivas garrafas, se misturam no interior do maçarico.

Observação: Há ainda muitas outras diferenças entre fluido líquido e fluido gasoso, porém deixaremos que você perceba isto, à medida que estudar o comportamento dos gases e líquidos em diversas situações.

1.3 Conceitos de massa específica, peso específico e densidade

Para entendermos o estudo dos conceitos que regem a mecânica dos fluidos em equilíbrio, isto é, a hidrostática, é importante que vejamos alguns conceitos básicos das substâncias.

Estudaremos as grandezas físicas “massa específica”, “peso específico” e “densidade”. Estas grandezas estão, de maneira geral, relacionadas com o estudo dos fluidos, portanto nos servirão tanto no estudo dos líquidos como no dos gases. Suas aplicações, porém, estendem-se aos sólidos.

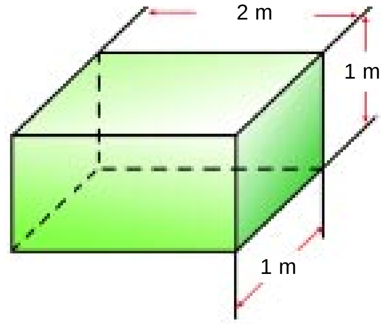
1.3.1 Massa específica

Esta grandeza, característica específica de cada substância, é conhecida também pelo nome de densidade absoluta. Vamos representá-la aqui pela letra grega μ (mi). É definida pela relação entre a massa e o volume da substância considerada.

$$\mu = \frac{m}{v}$$

Se a massa é expressa em gramas (g) e o volume em cm^3, a massa específica, no sistema prático, é expressa em g/cm^3 (gramas por centímetro cúbico). No SI (Sistema Internacional de Unidade), a massa é dada em quilogramas e o volume em m^3, portanto a massa específica é expressa em kg/m^3.

Suponha, por exemplo, que a figura representa um bloco homogêneo de ferro. Sabemos que sua massa (m) é igual a 15.200 kg.



Volume: $V = 2m \times 1m \times 1m = 2m^3$

$$\text{Como: } \mu = \frac{m}{V} \quad \rightarrow \quad \mu = \frac{15.200\ kg}{2m^3}$$

$$\mathbf{\mu = 7.600\ kg / m^3}$$

Observe que a massa específica está relacionada com a massa e o volume dos corpos. Como massa, 1 kg de chumbo é igual a 1 kg de isopor, porém o volume de isopor necessário para 1 kg é muito maior que o volume de chumbo necessário para o mesmo 1 kg.

Vamos mostrar isto através da massa específica. A massa específica do isopor vale 200 kg/m^3 e a do chumbo 11.400 kg/m^3. Vamos calcular, aplicando a relação, μ = m/V , o volume necessário de isopor e chumbo, para se ter 1 kg de cada substância.

Para o chumbo

$$11.400 = \frac{1}{V}$$

$$V = \frac{1}{11.400}\ m^3$$

$$V = 0{,}000087\ m^3 = 87\ cm^3$$

Para o isopor

$$200 = \frac{1}{v}$$

$$V = \frac{1}{200}\ m^3$$

$$V = 0{,}005\ m^3 = 5.000\ cm^3$$

Constatamos que, realmente, o volume de isopor é bem mais elevado do que o de chumbo.

De maneira geral, quando dizemos que um corpo tem massa específica elevada, isto significa que ele contém uma grande massa em um volume pequeno. Podemos dizer que o corpo é muito denso.

Exemplo prático

A massa específica da gasolina é $\mu = 0{,}66\ g/cm^3$. Em um tanque com capacidade para 10.000 litros (10 metros cúbicos), qual a massa de gasolina correspondente?

Solução: Podemos aplicar a definição de massa específica:

$$\mu = \frac{m}{V} \rightarrow m = \mu \cdot V$$

Devemos, porém, antes de realizar os cálculos, transformar litros em cm^3

1 litro = 1 dm^3

1 dm^3 = 1 dm x 1 dm 1 dm = 10 cm x 10 cm x 10 cm = 1.000 cm^3

Portanto:

10.000 litros = 10.000 x 1.000 cm^3 = 107 cm^3

Agora sim, podemos efetuar os cálculos.

$m = \mu \times V$

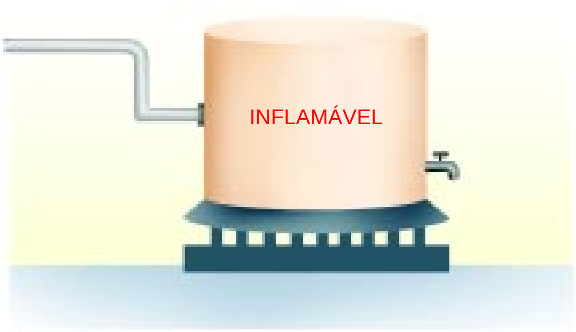
$m = 0{,}66\ g/cm^3 \times 10.000.000\ cm^3$

$m = 6.600.000\ g$

$m = 6.600\ kg$

$m = 6{,}6$ toneladas

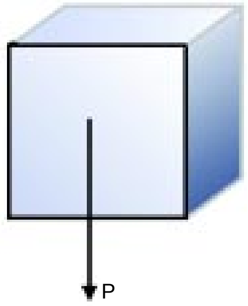
Conclui-se, então: Um tanque de ***10 m³ de gasolina tem 6,6 toneladas*** do combustível (aproximadamente).



1.3.2 Peso específico

Definindo a massa específica pela relação m/V, definiremos o peso específico de uma substância, que constitui um corpo homogêneo, como a razão entre o peso “P” e o volume “V” do corpo constituído da substância analisada.

- Designaremos, simbolicamente, o peso específico pela letra grega ρ (rô)
- Lembrete: $P = m \cdot g$ (massa x aceleração da gravidade)



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

Se o peso é expresso em Newton e o volume em m^3, a unidade de peso específico, no SI, será o N/m^3. No sistema prático (CGS), esta unidade será expressa em $dina/cm^3$ e no MKGFS (técnico) é kgf/m^3.

Um quadro com as unidades de massa específica e peso específico é apresentado a seguir:

Grandeza / Sistema	m	P	V	μ	ρ
CGS (prático)	g	dina	cm^3	g/cm^3	$dina/cm^3$
MKS/SI (internacional)	kg	N	m^3	kg/m^3	N/m^3
MKGFS (técnico)	utm	kgf	m^3	utm/m^3	kgf/m^3

Exemplo prático

Calcular o peso específico de um cano metálico de 6 kg e volume tubular de 0,0004 metros cúbicos.

Peso = 6 x 9,8 = 58,8 N

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

$\rho = 58{,}8 / 0{,}0004$

$$\rho = 147.000\ N/m^3$$

1.3.3 Densidade relativa

Definiremos, agora, uma terceira grandeza física denominada densidade relativa ou simplesmente densidade. A densidade é definida como a relação entre as massas específicas de suas substâncias.

$$d = \frac{\mu_A}{\mu_B}$$

Em geral, usa-se a água como substância de referência, de modo que podemos expressar a equação acima da seguinte maneira:

$$d = \frac{\mu}{\mu_{H_2O}}$$

A densidade é uma grandeza adimensional, e, portanto, o seu valor é o mesmo para qualquer sistema de unidades.

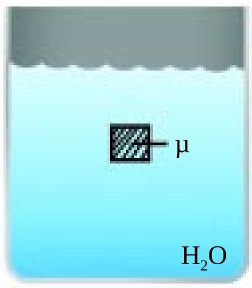
Importante

Uma outra observação que devemos fazer é que, muitas vezes, encontraremos a densidade expressa em unidades de massa específica. Nestes casos, se estará considerando a densidade absoluta (massa específica) igual à densidade relativa tomada em relação à massa específica da água, que é igual a 1 g/cm³.

Atenção → 1 g/cm³ = 1.000 kg/m³

Substância	Densidade (água)	Densidade (hidrogênio)
Hidrogênio	0,00009	1,00
Nitrogênio	0,0012	14,03
Ar	0,0013	14,43
Oxigênio	0,0014	15,96
CO_2	0,002	22,03

Por exemplo, a massa de 1 litro (1000 cm³) de água é 1000 g; sua densidade, portanto, é 1000/1000 = 1



$$d = \frac{\mu}{\mu_{H^2O}}$$

Valores típicos de densidade absoluta (massa específica) à temperatura ambiente (condições normais), são dados na tabela abaixo.

Material	Densidade g/cm³	Material	Densidade g/cm³
Água	1,0	Prata	10,5
Latão	8,6	Aço	7,8
Cobre	8,9	Mercúrio	13,6
Ouro	19,3	Álcool	0,81
Gelo	0,92	Benzeno	0,90
Ferro	7,8	Glicerina	1,26
Chumbo	11,3	Alumínio	2,7
Platina	21,4	Gasolina	0,67

Exemplo prático

O heptano e o octano são duas substâncias que entram na composição da gasolina. Suas massas específicas valem, respectivamente, 0,68 g/cm³ e 0,70 g/cm³. Desejamos saber a densidade da gasolina obtida, misturando-se 65 cm³ de heptano e 35 cm³ de octano.

Solução: Para resolver o problema, devemos aplicar a relação:

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

Sabemos o volume de gasolina:
$V_g = V_H + V_0 = 75 + 35 = 100$ cm³, porém, não conhecemos a massa de gasolina.

Para calculá-la, é necessário saber as massas de heptano e octano.

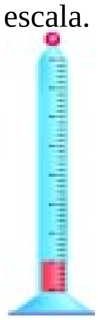
$M_H = \mu_H \,.\, V_H$ $\qquad$ $M_0 = \mu_0 \cdot V_0$
$M_H = 0{,}68 \text{ x } 65$ $\qquad$ $M_0 = 0{,}70 \text{ x } 35$
$M_H = 44{,}2g$ $\qquad$ $M_0 = 24{,}5g$
$M_g = M_H + M_0$
$M_g = 44{,}2 + 24{,}5$
$M_g = 68{,}7$ g

$$\mu_g = \frac{M_g}{V_g} \rightarrow \mu_g = \frac{68{,}7}{100}$$

$\mu_g = 0{,}687$ g/cm³

1.4 Variação da densidade de líquidos com a temperatura

Observamos que uma substância qualquer, quando aquecida, se dilata, isto é, seu volume torna-se maior. Lembre-se do que acontece com o termômetro, para medir temperaturas. O mercúrio, quando aquecido, aumenta de volume, subindo na escala.



Apesar desse aumento de volume, a massa da substância permanece a mesma (lembre-se de que a massa é uma grandeza constante). Vimos que a densidade absoluta é a relação entre massa e volume. Mantendo a massa constante e fazendo o volume variar, estamos, automaticamente, provocando uma variação na densidade da substância. A conclusão, portanto, é que a densidade absoluta varia com a temperatura.

Suponhamos uma experiência com os seguintes dados sobre o álcool metílico:

1. Para 30°C, m = 790 g, V = 1.000 cm³
2. Quando a 50°C, ocorreu um acréscimo de 12 cm³ no volume

Desejamos saber qual a densidade absoluta do álcool na temperatura de 30°C e 50°C.
μ 30°C = m/V
μ 30°C = 790/1.000

μ 30°C = **0,7900 g/cm³**

Na temperatura de 50°C, o volume aumentou de 12 cm³, portanto:

$V = 1.000 + 12 \rightarrow V = 1.012\ cm^3$

A massa não varia com a temperatura, daí:

$\mu\ 50°C = m/V \rightarrow \mu\ 50°C = 790/1.012$

$\mu 50°C =$ **0,7806 g/cm³**

Variação: $0,7900 - 0,7806 =$ **0,0094 g/cm³**

Neste caso, esta variação é pequena, pois o aumento de volume também foi pequeno. A temperatura elevou-se de 30°C a 50°C.

Para maiores variações de temperatura, maiores serão as variações de volume e, conseqüentemente, os valores de densidade começam a diferir sensivelmente. Em se tratando de líquidos e sólidos, a dilatação tem pouco efeito sobre a apreciável alteração no volume, para variações de temperatura elevadas.

A situação se modifica bastante em relação aos gases que apresentam grande dilatação térmica.

Exemplo prático

Um bloco de alumínio possui, a 0°C, um volume de 100 cm³. A densidade do alumínio, a esta temperatura, é 2,7 g/cm³ . Quando variamos a temperatura do bloco de 500°C, o volume aumenta de 3%. Calcular a densidade do alumínio na temperatura de 500°C.

$\mu\ 0°C = m/V \quad \rightarrow \quad m = \mu\ 0°C\ .\ V$

$m = 2,7\ \times 100 \quad \rightarrow \quad m = 270\ g$

Variando a temperatura de 500°C, o volume cresceu 3% e passou a ser 103 cm³. Então:

$\mu\ 500°C = 270/\ 103 \qquad \mu\ 500°C\ = 2,6\ g/cm^3$

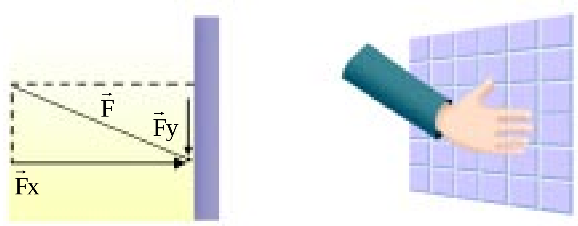
Observação Importante

Na prática, a medida da densidade é uma técnica de grande importância, em muitas circunstâncias. O estado da bateria de um automóvel pode ser testado pela medida da densidade de eletrólito, uma solução de ácido sulfúrico. À medida que a bateria descarrega, o ácido sulfúrico ($H_2\ SO_4$) combina-se com o chumbo nas placas da bateria e forma sulfato de chumbo, que é insolúvel, decrescendo, então, a concentração da solução. A densidade varia desde 1,30 g/cm³, numa bateria carregada, até 1,15 g/cm³, numa descarregada. Este tipo de medida é rotineiramente realizado em postos de gasolina, com o uso de um simples hidrômetro, que mede a densidade pela observação do nível, no qual um corpo calibrado flutua numa amostra da solução eletrolítica.

1.5 Pressão nos fluidos

1.5.1 Conceitos básicos de pressão

O conceito de pressão foi introduzido a partir da análise da ação de uma força sobre uma superfície; já nos fluidos, o peso do fluido hidrostático foi desprezado e a pressão suposta tornou-se igual em todos os pontos. Entretanto, é um fato conhecido que a pressão atmosférica diminui com a altitude e que, num lago ou no mar, aumenta com a profundidade. Generaliza-se o conceito de pressão e se define, *num ponto qualquer*, como a relação entre a força normal F, exercida sobre uma área elementar A, incluindo o ponto, e esta área:



Quando você exerce, com a palma da mão, uma força sobre uma superfície (uma parede, por exemplo), dizemos que você está exercendo uma pressão sobre a parede. A figura representa a força F aplicada em um determinado ponto da superfície, onde a componente normal (Fx) da força atua realizando pressão. Observe, porém que, na realidade, a força aplicada pela mão distribui-se sobre uma área, exercendo a pressão.

Definimos a pressão de uma força sobre uma superfície, como sendo a razão entre a força normal e a área da superfície considerada.

Então: $p = F/A$

p = pressão

A = área da superfície,

no qual F representa uma força normal à superfície.

Sendo a pressão expressa pela relação P = F/A, suas unidades serão expressas pela razão entre as unidades de força e as unidades de área, nos sistemas conhecidos.

Sistema \ Grandeza	Área (A)	Força (F)	Pressão (P = F/A)
CGS (prático)	cm²	dina	dina/cm²
MKS/SI (internacional)	m²	N	N/m²
MKGFS (técnico)	m²	kgf	kgf/m²

A unidade SI é também conhecida pelo nome PASCAL, abreviando-se Pa.

1 N/m² = 1 Pa

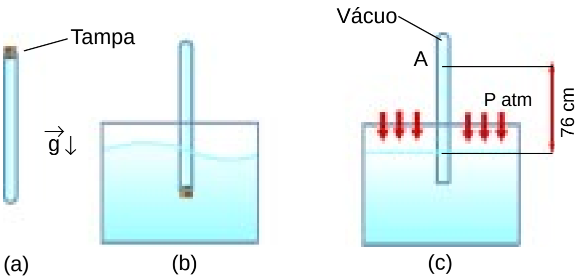
Outras unidades utilizadas

- Libras força por polegada quadrada = Lbf/pol²
- Atmosfera técnica métrica = atm
- Milímetros de mercúrio = mmHg

As unidades atm e o mmHg surgiram das experiências realizadas por TORRICELLI (físico italiano), para medir a pressão atmosférica.

1.5.2 Experiência de Torricelli

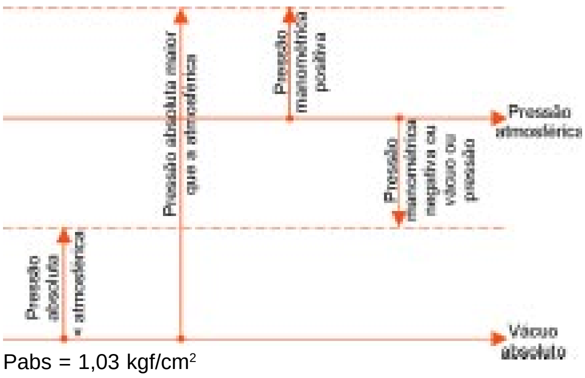
O físico italiano pegou um tubo de vidro de cerca de 1m de comprimento, fechado em uma das extremidades. Encheu o tubo de mercúrio, tampou a extremidade aberta, com o dedo, e inverteu o tubo, introduzindo-o em uma cuba de mercúrio. Observou, então, que o tubo não ficava completamente cheio, isto é, o nível de mercúrio diminuía no interior do tubo, mantendo uma altura de cerca de 760 mm em relação ao nível de mercúrio da cuba.



A experiência comprova a existência da pressão atmosférica, ou seja, a coluna de mercúrio equilibra-se por ação da pressão que a atmosfera exerce sobre a superfície livre de mercúrio na cuba, e esta pressão é numericamente igual ao peso de uma coluna de mercúrio de 760 mm de altura. Variações em torno deste valor serão obtidas segundo o local em que se realize a experiência. Ao nível do mar, obtem-se 760 mmHg. Em lugares mais altos, como a pressão atmosférica é menor, a altura da coluna líquida de mercúrio também será menor.

No alto do monte "Everest", por exemplo, a experiência acusaria uma pressão atmosférica da ordem de 300 mmHg. A experiência também pode ser realizada com outros líquidos que não o mercúrio. A altura da coluna é inversamente proporcional à densidade do líquido empregado. Isto significa que quanto menor a densidade do líquido, maior a altura da coluna. No caso da água, atingiria o valor de 10,3 m.

Pressão Atmosférica = 1 atm = 760 mmHg = 10,3 m (H_2O) = 10^5 N/m²

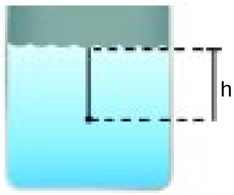


Pabs = 1,03 kgf/cm²
Pabs = 14,7 psi
1 atm = 1 kgf/cm² = 1 bar

1.5.3 Variação da pressão com relação à profundidade

Se você mergulhar, já deve ter percebido que, ao afundar na água, a pressão aumenta (lembre-se da dor que você sente no ouvido). O mesmo fenômeno pode ocorrer na atmosfera, quando você desce de uma montanha. O aumento de pressão, neste caso, também afeta o seu ouvido. Vejamos, então, como calcular esta variação de pressão que os corpos experimentam à medida que se aprofundam num fluido.

Consideremos o caso particular de um recipiente cilíndrico que contém um líquido de massa específica **μ** até uma altura **h** acima do fundo.

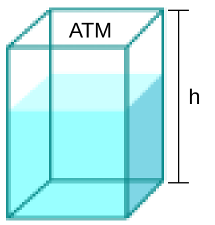


Como P = mg (peso), m = μV(massa), V = Ah(volume) e p = F/A(pressão)

Temos **P = μgh**

Pressão total no fundo

Esta pressão será dada pela pressão atmosférica que age sobre a superfície livre do líquido, mais a pressão que, devido ao peso do líquido, age sobre o fundo do recipiente.



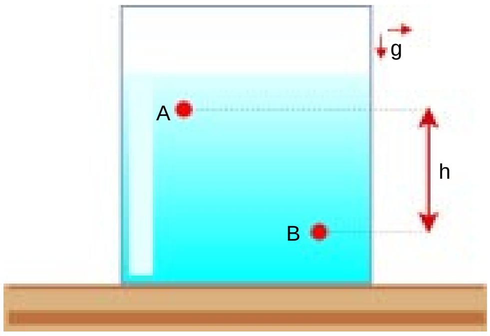
Teremos, então:

Pressão total = pressão atmosférica + pressão da coluna líquida

Pt = P(atm) + P(liq) $\rightarrow$ $\mathbf{P_t = P_{atm} + \mu g h}$ sendo $\mathbf{\Delta P = \mu g h}$

Diferença de pressão

Analisando a situação anterior, vamos deduzir a fórmula que fornece a diferença de pressão entre pontos de profundidade diferente.

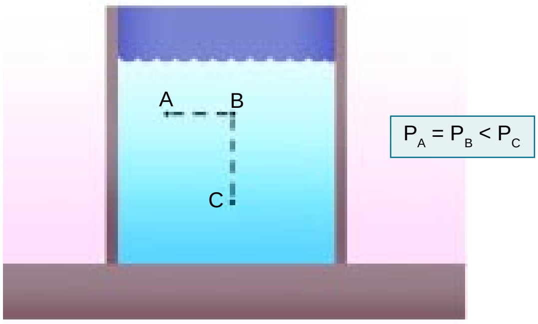


Temos $P_B = P_A + P(liq) \rightarrow \mathbf{P_B - P_A = \mu gh}$ sendo $\mathbf{\Delta P = \mu gh}$

Esta relação é conhecida como Lei de Stevin ou equação fundamental da hidrostática e pode ser enunciada da seguinte maneira:

"A variação da pressão entre dois pontos quaisquer de um fluido é igual ao produto de sua massa específica pela diferença de nível entre os dois pontos e pela aceleração da gravidade".

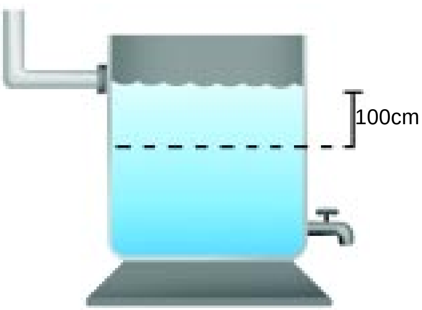
Para compreendermos melhor, vejamos a situação abaixo:



Exemplo prático

Um recipiente contém gasolina. Qual a pressão exercida pela gasolina a uma distância de 100 cm abaixo de sua superfície, dado $g = 10$ m/s² e $\mu = 0,67$ g/cm³?

Aplica-se a lei de Stevin. Neste exemplo, trabalharemos com o sistema CGS (prático).



$$P = P_{atm} + \mu hg$$

A pressão atmosférica, no CGS, vale:

1 atm = 101,325 N/m² e 1 N = 10⁵ dina e 1 m² = 104 cm²

$$\mathbf{1\ atm = 1.013.250\ dina/cm^2}$$

Podemos arredondar e usar
$P_{atm} = 1,01 \times 10^6$ dina/cm²

$$g = 10\ m/s^2 = 1.000\ cm/s^2$$

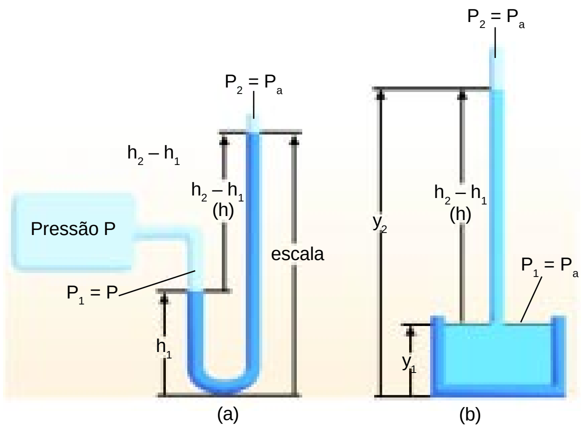
Levando os valores à fórmula:
P = 1,01 x 106 + 0,67 x 1.000 x 100
P = 1,01 x 106 + 6.700
P = 1.010.000 + 6.700
P = 1.016.7000 ou arredondando

$$\mathbf{P = 1,02 \times 10^6\ dina/cm^2}$$

1.5.4 Medidores de pressão

O tipo mais simples de medidor de pressão é o manômetro de tubo aberto, representado na figura abaixo.

Consiste num tubo em forma de U, contendo um líquido, uma extremidade estando à pressão *P* que se deseja medir, enquanto a outra é aberta na atmosfera, à pressão P_a.



O barômetro de mercúrio é um tubo longo, de vidro, cheio deste metal e invertido numa cuba também contendo mercúrio. O espaço acima da coluna contém somente vapor de mercúrio, cuja pressão, em temperatura ambiente, é tão pequena que pode ser desprezada. Vê-se, facilmente, que:

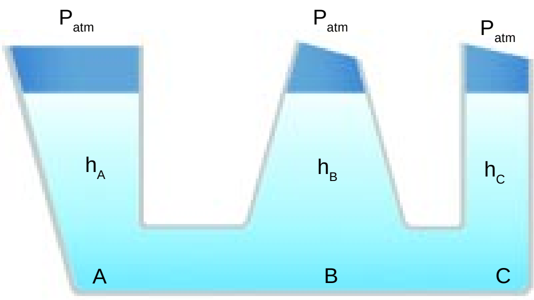
$$P_a = \mu g(y_2 - y_1) = \mu gh$$

Como vimos, a unidade SI de pressão é o Pascal (1Pa), igual a um Newton por metro quadrado (1 N.m⁻²). Uma unidade relacionada é o *bar*, definido como 10⁵ Pa. Por serem o barômetro e o manômetro de mercúrio freqüentemente usados em laboratórios, é costume expressar a pressão atmosférica e outras em “polegadas, centímetros ou milímetros de mercúrio”, embora não sejam unidades reais de pressão. A pressão exercida por uma coluna de um milímetro de mercúrio é comumente chamada um *torr*, em homenagem ao físico italiano já citado anteriormente.

Um tipo de medidor, normalmente usado pelos médicos, para medida da pressão sangüínea contém um tipo de manômetro. Medidas de pressão sangüíneas, como 130/80, referem-se às pressões máxima e mínima, medidas em milímetros de mercúrio ou torr. Devido à diferença de altura, a pressão hidrostática varia em diferentes pontos do corpo; o ponto de referência padrão é o antebraço, na altura do coração. A pressão também é afetada pela natureza viscosa do fluxo sangüíneo e pelas válvulas ao longo do sistema vascular, que atuam como reguladores de pressão.

1.6 Princípio dos vasos comunicantes

O dispositivo da figura abaixo, demonstra como ocorre o princípio dos vasos comunicantes.



Na figura, os pontos A,B, e C estão situados a um mesmo nível em relação à superfície livre e, portanto, as pressões P_A, P_B, e P_C são iguais entre si.

Suponha que o líquido tenha massa específica μ. As pressões P_A, P_B, e P_C são, respectivamente:

$$P_A = P_{atm} + \mu g h_A$$

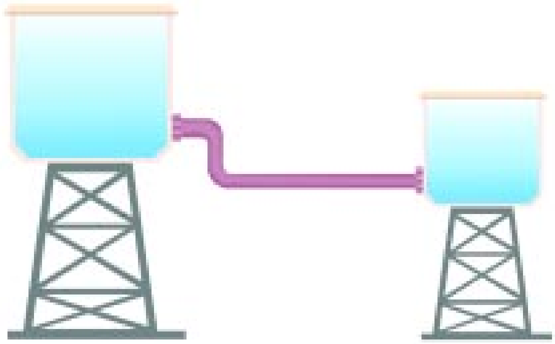
$$P_B = P_{atm} + \mu g h_B$$

$$P_C = P_{atm} + \mu g h_C$$

Para que sejam efetivamente iguais, como deduzimos anteriormente, é necessário que as alturas $h_A = h_B = h_C$ sejam iguais entre si, isto é, $h_A = h_B = h_C$.

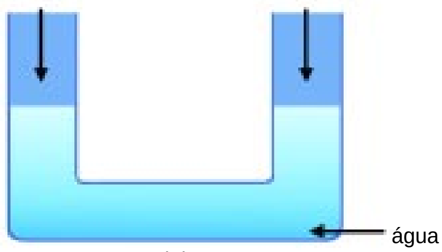
Podemos concluir que, num sistema de vasos comunicantes, como o mostrado na figura, as superfícies livres do líquido estão todas no mesmo nível, nos diversos vasos do sistema.

Este princípio dos vasos comunicantes permite, por exemplo, que você possa transferir um líquido de um reservatório para outro, sem necessidade de bombeamento, como se vê na figura abaixo:

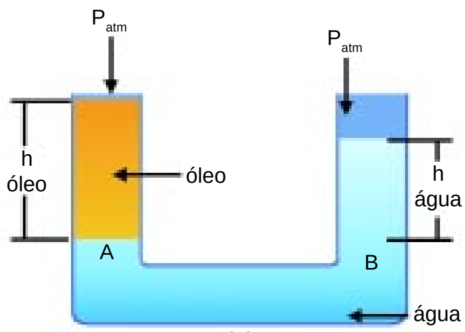


Uma aplicação também importante deste princípio é que ele nos permite calcular a densidade absoluta dos líquidos.

Suponhamos um vaso comunicante, no qual colocamos dois líquidos imiscíveis, por exemplo, água e óleo.



(A)



(B)

Na figura A, temos somente água no tubo, e, na figura B, colocamos óleo. Neste caso, as alturas são diferentes, pois as densidades dos líquidos são diferentes.

Com a introdução de óleo, a água teve sua altura alterada. À medida que o sistema tende ao equilíbrio, a água pára de subir no ramo direito e as pressões nos dois ramos se igualam.

Vamos calcular essas pressões. Temos, como nível de referência, a linha que passa pela superfície de separação dos dois fluidos.

Observe a figura **b**. As pressões, nos pontos A e B são, respectivamente:

$P_A = P_{atm} + \mu_0 h_0 g$ O = óleo
$P_B = P_{atm} + \mu_A h_A g$ A = água

Já sabemos que P_A e P_B são iguais, pois representam pressões aplicadas no mesmo nível de um líquido em equilíbrio, então:

$P_A = P_B$

$P_{atm} = \mu_0 h_0 g = P_{atm} + \mu_A h_A g$

$\mu_0 h_0 g = \mu_A h_A g$

$$\mu_0 h_0 = \mu_A h_A \quad \text{ou} \quad \frac{\mu_0}{\mu_A} = \frac{h_A}{h_0}$$

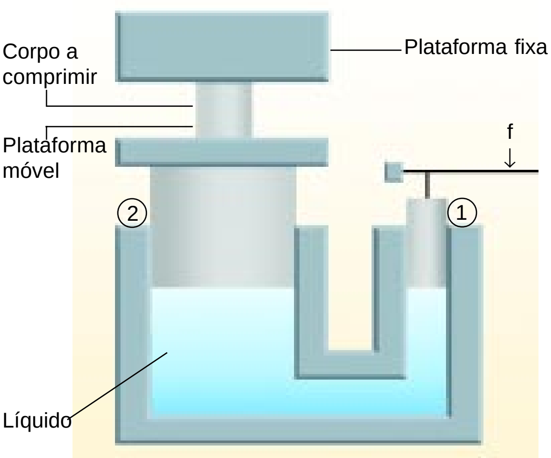
Com esta expressão, podemos calcular a densidade absoluta do óleo de qualquer outro não miscível.

1.7 Princípio de Pascal (prensas hidráulicas)

O princípio de Pascal pode ser enunciado da seguinte maneira:

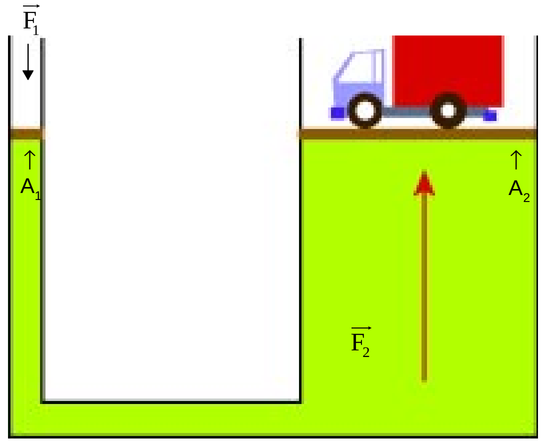
"Um acréscimo de pressão, num ponto qualquer de um líquido em equilíbrio, transmite-se integralmente a todos os pontos do líquido".

Isto significa que, quando aumentamos de uma quantidade P a pressão exercida na superfície livre de um líquido em equilíbrio, todos os pontos do líquido sofrerão o mesmo acréscimo de pressão P. Uma aplicação prática do princípio de Pascal é a da prensa hidráulica, ilustrada na figura abaixo.



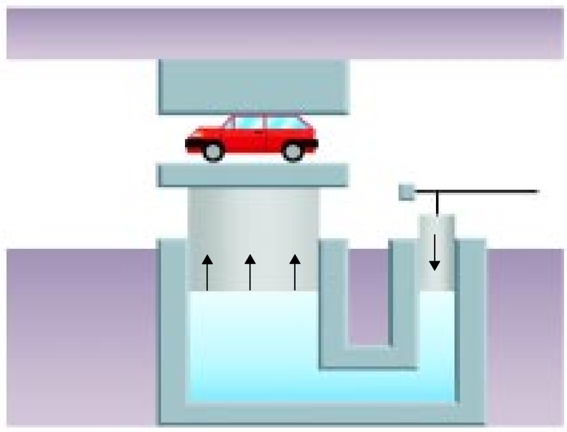
Quando comprimimos o êmbolo 1, o acréscimo de pressão transmite-se pelo líquido e atinge o êmbolo 2, que é móvel. Entre este êmbolo, que possui na sua parte superior uma plataforma móvel, e a plataforma fixa, é colocado o corpo que se deseja comprimir.

A força F_1 exercida no êmbolo de área A_1 provoca um acréscimo de pressão no líquido: $P = F/A = F_1/A_1$. Pelo princípio de Pascal, este acréscimo de pressão transmite-se pelo líquido, atingindo, neste caso, o êmbolo de área A_2. Se a área aumentou, a força exercida sobre o êmbolo também crescerá a fim de manter constante a pressão. Portanto:



Exemplo prático

Os pistões de uma prensa hidráulica de um sucateador de automóveis têm, respectivamente, 1 m e 3 m de diâmetro. Uma força de 100 kgf atua no pistão menor. Que força deve ser aplicada pelo pistão maior, para funcionar a prensa?



Você já sabe que: $p = F/A \rightarrow Fa/Aa = Fb/Ab$

Como, neste caso, os pistões são cilíndricos, e as áreas de suas bases são respectivamente:

$Aa = \pi r^2$; como $r = d/2$ então $Aa = \pi d^2/4$

$Ab = \pi R2$; como $R = D/2$ então: $Ab = \pi D^2/4$

$Fa/Aa = Fb/Ab$,

substituindo, teremos:

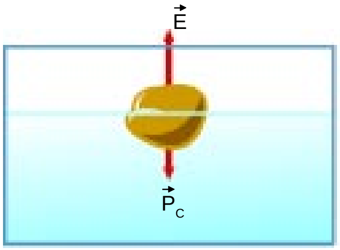
Fb = 900 kgf

1.8 Princípio de Arquimedes (empuxo)

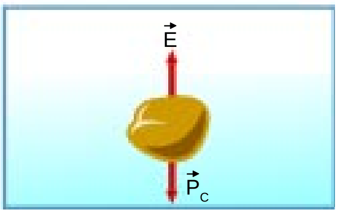
Você já deve ter observado que os corpos, quando imersos em água, perdem "aparentemente" um pouco de seu peso, ou seja, é mais fácil levantar um corpo dentro da água do que fora dela. Podemos presumir, portanto, que a água exerce uma força sobre o corpo, de modo a equilibrar o peso resultante. Esta força exercida pelo fluido sobre o corpo é chamada de **empuxo**.

Arquimedes enunciou, então, o seguinte princípio:

"Todo corpo imerso em um fluido, está sujeito à ação de uma força vertical de baixo para cima (empuxo), cujo módulo é igual ao peso da quantidade de fluido deslocada".

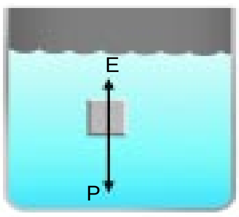


(A)

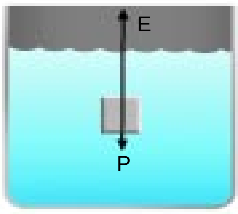


(B)

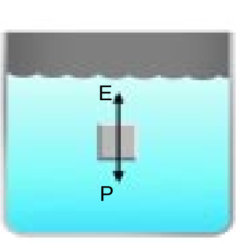
Analisemos, agora, a influência do peso nas diversas situações:



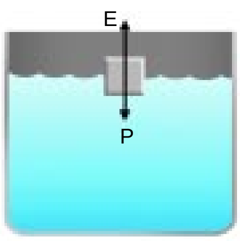
P > E
Corpo afunda



P < E
Corpo sobe



P = E
Corpo em equilíbrio,
totalmente imerso

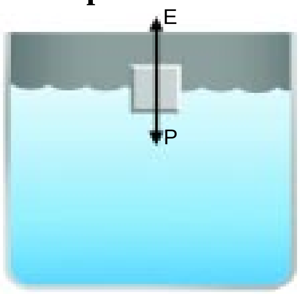


P = E
corpo em equilíbrio,
parcialmente imerso.

Você sabia???

O peso de um dirigível flutuando no ar, ou de um submarino a uma certa profundidade, é exatamente igual ao do volume de ar ou de água deslocado, que é exatamente igual ao volume do dirigível ou do submarino. Dessa maneira, as densidades médias do dirigível e do submarino são iguais à do ar e da água, respectivamente.

Cálculo do Empuxo



- O peso do corpo vale: P = mg, ou ainda, já que m = μV
  $P = \mu_c V_c \cdot g$ onde V_c é o volume do corpo.
- Quando o corpo está mergulhando no fluido, ele desloca um certo volume deste fluido (dois corpos não ocupam o mesmo lugar no espaço, simultaneamente) e recebe um empuxo E.
- Esse líquido deslocado tem um certo peso e o empuxo representa o peso do líquido deslocado, quando da imersão do corpo.

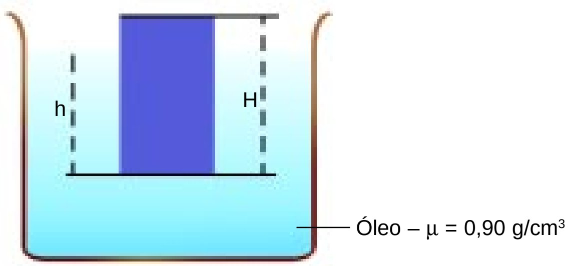
E = peso líquido deslocado

$E = m_L \cdot g$

$$E = \mu_L V_d \cdot g \begin{cases} \text{m – massa do líquido deslocado} \\ \text{Vd – volume de líquido deslocado} \end{cases}$$

Exemplo prático

Um cilindro de 40 cm de altura está parcialmente imerso em óleo (0,90 g/cm^3). A parte do cilindro que está fora do óleo, tem 10 cm de altura. Calcule a massa específica de que é feito o cilindro.



Se o corpo flutua, significa que ele está em equilíbrio. Portanto, é válido escrever que: P = E.

Já vimos, porém, que: $P = \mu_c V_c\, g$ e
$E = \mu_L V_d\, g$

Logo: $\mu_c V_c\, g = \mu_L V_d\, g$
$\mu_c V_c = \mu_L V_d$ (1)

Não sabemos o valor de V_c e tampouco V_d. Todavia, sabemos calcular o volume de um cilindro que é igual à área da base, vezes a altura.

$V_c = A \times H$ e
$V_d = A \times h$

Lembre-se de que V_d é o volume de líquido deslocado que, neste caso, é igual ao volume da parte imersa do corpo. Reescrevendo a expressão (1), obtemos:

$\mu_c A \times H = \mu_L A \times h$
$\mu_c \times H = \mu_L \times h$, ou ainda,
$\mu_c = \mu_L \times h/H$

Aplicando os dados numéricos
$\mu_L = 0{,}90\ g/cm^3$, $h = 30\ cm$, $H = 40\ cm$
$\mu_c = 0{,}90 \times (30/40)$

$$\boldsymbol{\mu_C = 0{,}675\ g/cm^3}$$

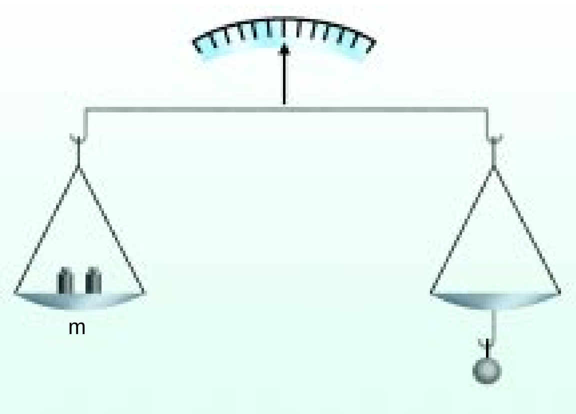
1.9 Princípio de funcionamento de densímetros

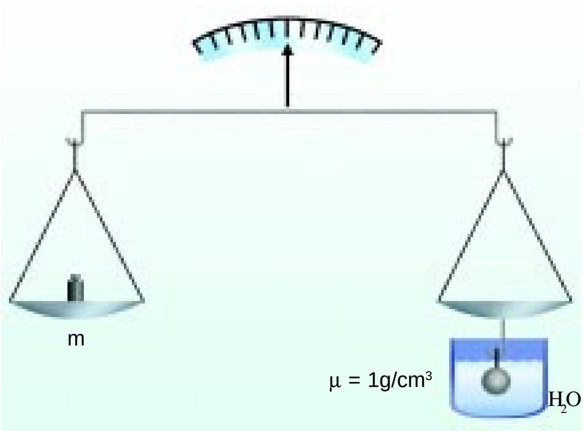
1.9.1 Os densímetros

Os densímetros são aparelhos destinados a medir a densidade dos corpos.

Vimos os métodos analíticos de calcular e analisar a densidade. Além destes métodos, vejamos aparelhos destinados a medir a densidade dos corpos e que também se baseiam no princípio de Arquimedes.

1.9.2 Método da balança hidrostática





O corpo é pesado dentro e fora d'água, indicando, respectivamente, as massas m e m'. Quando o corpo está totalmente imerso no líquido, temos que:

$V_c = V_d$
$V_c = m/\mu_c$ $\qquad V_d = m_L/\mu_L$
Portanto: $m/\mu_c = m_L/\mu_L$

$$\mu_c = m/m_L \times \mu_L$$

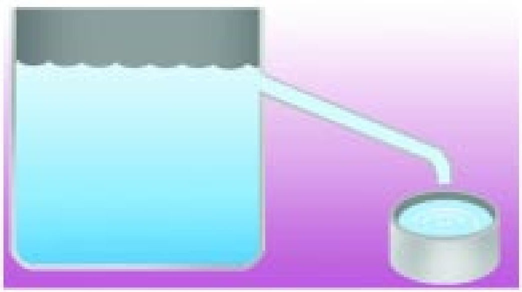
Observe que m_L é a massa do líquido deslocado quando o corpo foi imerso; se o corpo tinha massa **m** e passou a ter massa **m'**, significa que $m_L = m - m'$.

Portanto, a expressão acima pode ser escrita:

$$\mu_c = m/m - m' \cdot \mu_L$$

1.9.3 Vaso de Pisani

O vaso de Pisani é mostrado na figura abaixo:



O corpo de massa **m** é abandonado, suavemente, na superfície do líquido. Recolhe-se líquido que extravasa o recipiente e determina-se sua massa m_L.

Esta água foi deslocada pelo corpo, logo, tem o mesmo volume que ele:

$$V_c = V_d$$

E chegamos à mesma conclusão que no método anterior:

$$\mu_c/\mu_L = m/m_L$$

1.9.4 Hidrômetro (densímetro)

Este é um dispositivo que usa o princípio da flutuação, para determinar a densidade de um líquido por leitura direta.

O hidrômetro é constituído de um recipiente de vidro que compreende uma haste fina graduada e uma ampola inferior que contém lastro de mercúrio ou esferas de chumbo.

Ao ser introduzido no líquido, o hidrômetro flutua. Se o líquido é muito denso, o volume do hidrômetro mergulhado será pequeno. À medida que a densidade do líquido diminui, mais o hidrômetro submerge.

Anotações

Conceitos de hidrodinâmica aplicados 2

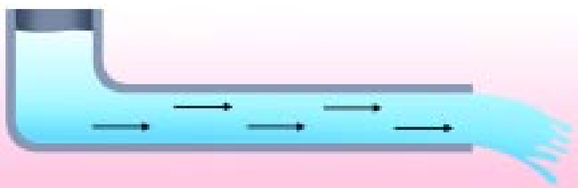
2.1 Introdução

A hidrodinâmica é o estudo de fluidos em movimento. É um dos ramos mais complexos da Mecânica dos Fluidos, como se pode ver nos exemplos mais corriqueiros de fluxo, como um rio que transborda, uma barragem rompida, o vazamento de petróleo e até a fumaça retorcida que sai da ponta acesa de um cigarro. Embora cada gota d'água ou partícula de fumaça tenha o seu movimento determinado pelas leis de Newton, as equações resultantes podem ser complicadas demais. Felizmente, muitas situações de importância prática podem ser representadas por modelos idealizados, suficientemente simples para permitir uma análise detalhada e fácil compreensão.

2.2 Conceitos fundamentais

Inicialmente, vamos considerar apenas o que é chamado *fluido ideal*, isto é, um fluido incompressível e que não tem força interna de atrito ou viscosidade. A hipótese de incompressibilidade é válida com boa aproximação quando se trata de líquidos; porém, para os gases, só é válida quando o escoamento é tal que as diferenças de pressão não são muito grandes.

O caminho percorrido por um elemento de um fluido em movimento é chamado linha de escoamento. Em geral, a velocidade do elemento varia em módulo e direção, ao longo de sua linha de escoamento. Se cada elemento que passa por um ponto tiver a mesma linha de escoamento dos precedentes, o escoamento é denominado *estável* ou *estacionário*.



No início de qualquer escoamento, o mesmo é instável, mas, na maioria dos casos, passa a ser estacionário depois de um certo período de tempo. A velocidade em cada ponto do espaço, no escoamento estacionário, permanece constante em relação ao tempo, embora a velocidade de uma determinada partícula do fluido possa variar ao longo da linha de escoamento.

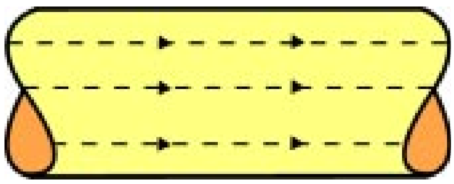
Linha de corrente é definida como uma curva tangente, em qualquer ponto, que está na direção do vetor velocidade do fluido naquele ponto. No fluxo estacionário, as linhas de corrente coincidem com as de escoamento.

2.2.1 O escoamento

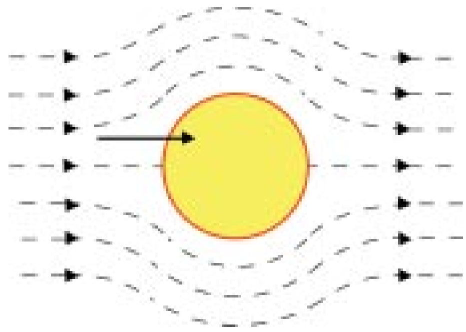
O movimento de fluidos pode se processar, fundamentalmente, de duas maneiras diferentes:

- escoamento laminar (ou lamelar);
- escoamento turbulento.

O *escoamento laminar* caracteriza-se pelo movimento ordenado das moléculas do fluido, e todas as moléculas que passam num dado ponto devem possuir a mesma velocidade. O movimento do fluido pode, em qualquer ponto, ser completamente previsto.



O *escoamento turbulento* é o contrário do escoamento laminar. O movimento das moléculas do fluido é completamente desordenado; moléculas que passam pelo mesmo ponto, em geral, não têm a mesma velocidade e torna-se difícil fazer previsões sobre o comportamento do fluido.



O escoamento turbulento não é interessante devido às desvantagens e perigos que sua presença pode acarretar. Quando um corpo se move através de um fluido, de modo a provocar turbulência, a resistência ao seu movimento é bastante grande. Por esta razão, aviões, carros e locomotivas são projetados de forma a evitar turbulência. No caso de refinaria, a preocupação é com o escoamento de produtos perigosos.

2.2.2 Vazão e Débito em escoamento uniforme

A vazão ou débito de um fluido é a razão entre o volume de fluido escoado em um tempo e o intervalo de tempo considerado.

$$Q = V/t$$

Onde **V** é o volume escoado no tempo **t**, e Q é a vazão.

As unidades de vazão, você pode observar, são resultantes da razão entre unidades de volume e unidades de tempo.

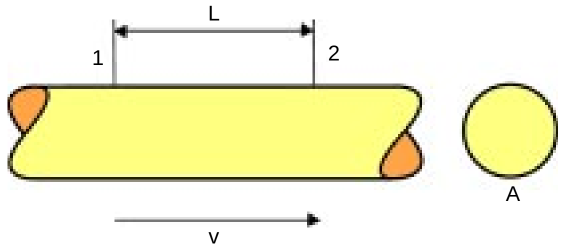
Assim:

Sistema \ Grandeza	Volume (V)	Tempo (t)	Vazão (Q)
CGS (prático)	cm^3	S	cm^3/s
MKS (internac) SI	m^3	S	$m^3/$
MKGFS (técnico)	m^3	S	m^3/s

São ainda muito usadas as unidades litro por segundo e metro cúbico por hora (m^3/h). Se tivermos num condutor um fluido em escoamento uniforme, isto é, o fluido escoando com velocidade constante, a vazão poderá ser calculada multiplicando-se a velocidade (v) do fluido, em dada seção do condutor, pela área (A) da seção considerada, ou seja:

$$Q = Av$$

Para demonstrar, suponhamos um condutor de seção constante.



O Volume escoado entre as seções (1) e (2) de área A é igual:

$$V = A \cdot L$$

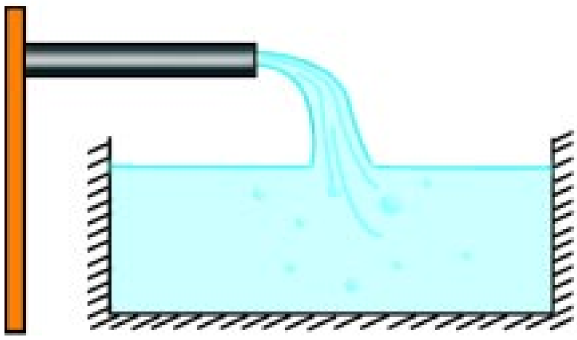
Porém L = vt (o movimento é uniforme) e, daí, temos que:

$$V = A\ vt$$

Como Q = V/t , temos: **Q = Av**

Exemplo prático

Um condutor de 20 cm^2 de área de secção reta despeja gasolina num reservatório. A velocidade de saída da água é de 60 cm^3/s. Qual a vazão do fluido escoado?



Solução

Sabemos que a vazão Q é dada por Q = V/T ou Q = Av

Neste caso, torna-se evidente que devemos usar a relação Q = Av, porque conhecemos a velocidade do fluido e a área da secção reta do condutor.

$V = 60\ cm^3/s$ $\qquad$ $A = 20\ cm^2$

$Q = Av$

$Q = 20 \times 60$

$Q = 1.200\ cm^3/s$

Suponha que, no exemplo, o reservatório tenha 1.200.000 cm^3 de capacidade. Qual o tempo necessário para enchê-lo?

Solução

Temos $V = 1.200.000\ cm^3$

$Q = 1.200\ cm^3/s$

$T = ?$

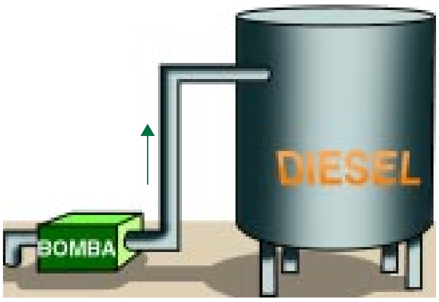
Aplicando a relação $Q = V/t$, tiramos $t = V/Q$

$t = 1.200.000/1.200 \quad t = 1.000$ segundos

t = 16 minutos 40 s

Exemplo prático

Uma bomba transfere óleo diesel em um reservatório à razão de 20 m^3/h. Qual é o volume do reservatório, sabendo-se que ele está completamente cheio após 3 horas de funcionamento de bomba?



Solução

Temos que $Q = 20\ m^3/h$

$t = 3\ h$

$V = ?$

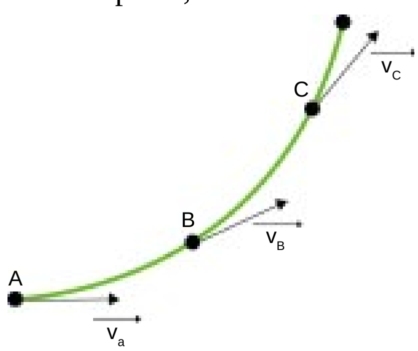
$Q = V/t \qquad V = Q \times t$

$V = 20 \times 3$

$\mathbf{V = 60\ m^3}$

2.2.3 Equação da continuidade nos escoamentos

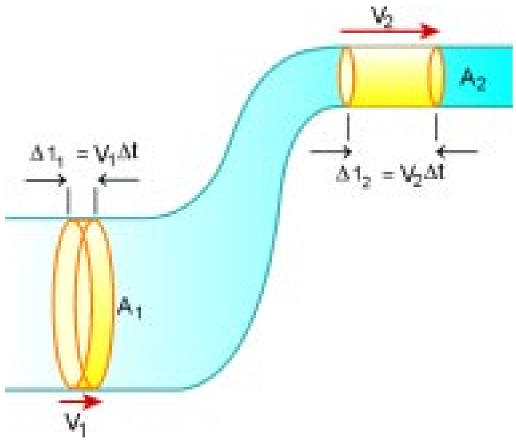
Dizemos que um fluido encontra-se escoando em regime permanente quando a velocidade, num dado ponto, não varia com o tempo.



Assim, considerando A como um ponto qualquer no interior de um fluido, este estará em regime permanente, desde que toda partícula que chegue ao ponto A passe com a mesma velocidade e na mesma direção. O mesmo é válido para os pontos B e C, porém não há obrigação que v_b e v_c sejam iguais a v_a. O importante é que toda partícula que passe por B tenha a mesma velocidade v_b e por C a mesma velocidade v_c.

Se unirmos os pontos A, B e C, temos a trajetória de qualquer partícula que tenha passado pelo ponto A. Esta trajetória é conhecida pelo nome de linha de corrente.

Suponhamos, agora, um fluido qualquer escoando em regime permanente no interior de um condutor de secção reta variável.



A velocidade do fluido no ponto A_1 é V_1, e no ponto A_2 é V_2. A_1 e A_2 são áreas da secção reta do tubo nos dois pontos considerados.

Já vimos que $Q = V/t$ e $Q = Av$, portanto podemos escrever que:

$V/t = Av$

$V = A\ vt$

Sabemos, ainda, que a massa específica é definida pela relação:

$\mu = m/V$

$m = \mu V$

$m = \mu Avt$

Podemos, então, dizer tendo em vista esta última equação, que a massa de fluido passando através da secção A_1 por segundo é $m = \mu_1 A_1 v_1$; e que a massa de fluido que atravessa a secção A_2, em cada segundo é igual a $m = \mu_2 A_2 v_2$.

Estamos supondo aqui que a massa específica do fluido varia ponto a ponto no interior do tubo. A massa de fluido, porém, permanece constante, desde que nenhuma partícula fluida possa atravessar as paredes do condutor. Portanto, podemos escrever:

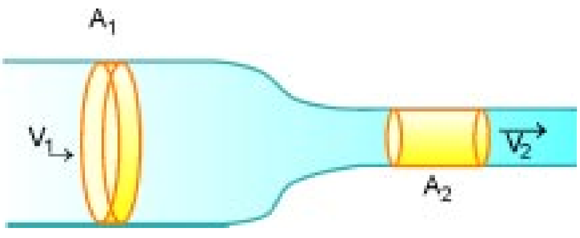
$$\mu_1 A_1 v_1 = \mu_2 A_2 v_2$$

Esta é a **equação da continuidade** nos escoamentos em regime permanente. Se o fluido for incompressível, não haverá variação de volume e, portanto, $\mu_1 = \mu_2$ e a equação da continuidade toma uma forma mais simples, qual seja $A_1 v_1 = A_2 v_2$ ou $Q_1 = Q_2$.

Esta relação nos mostra que onde a área da secção do condutor for maior, a velocidade de escoamento da massa fluida é menor e vice-versa.

Exemplo prático

Considere um fluxo de água num condutor de 15 cm de diâmetro com velocidade de 8,5 cm/s. Em determinado ponto, há um estreitamento de diâmetro igual a 10 cm. Qual a velocidade da água neste estreitamento?



Solução

Podemos aplicar diretamente a equação da continuidade.

$A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1$$

$V_1 = 8{,}5$ cm/s

$A_1 = \pi r^2_1 = \pi \times 7{,}5^2 = = 56{,}25\ \pi\text{cm}^2$

$A_2 = r^2_2 = \pi \times 52 = 25\ \pi\text{cm}^2$

$$V_2 = \frac{56{,}25\pi}{25\pi} \cdot 8{,}5$$

V_2 = 19,12 cm/s

Exemplo prático

Um duto de secção retangular possui um estreitamento cuja área de secção é de 100 cm². Certo líquido flui no duto à razão de 90 litros/min. Calcular a velocidade do líquido no estreitamento.

Solução

O problema nos fornece vazão do líquido no interior do duto em sua parte mais larga. Sabemos que:

$Q_1 = Q_2$

$Q_1 = A_2 v_2$

Logo, $v_2 = Q_1/A_2$

Devemos estar atentos para as unidades. Trabalhemos no sistema CGS.

$Q_1 = 90\ \text{l/min} = 90\ \text{dm}^3/60\text{s} = 90.000\ \text{cm}^3/60\text{s}$

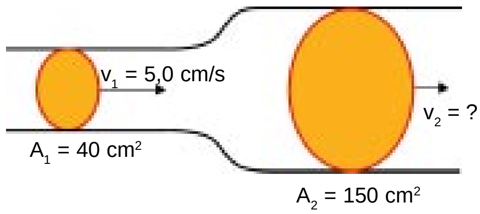
$Q_1 = 1.500\ \text{cm}^3/\text{s}$ $\qquad v_2 = Q_1/A_2$

$V_2 = 1.500/100$

V_2 = 15 cm/s

Exemplo prático

Calcular a velocidade do fluido na parte mais larga do condutor mostrado na figura abaixo:



Solução

Aplicamos a equação da continuidade:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{40 \times 5}{150} \rightarrow v_2 = \frac{200}{150} \rightarrow \mathbf{v_2 = 1{,}3\ cm/s}$$

2.2.4 Tipos de medidores de pressão

Dois aparelhos são utilizados para medir a vazão de um fluido em escoamento. Nenhum dos dois fornece uma leitura direta da vazão, havendo necessidade de cálculo suplementar para se obter o resultado desejado.

Tubo de Pistot

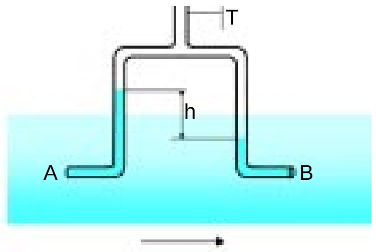
É constituído, basicamente, de um tubo em forma de U, provido de duas aberturas que permanecem imersas no fluido. Por uma torneira T (vide figura), pode-se aspirar o fluido e medir o desnível h que se estabelece entre os dois ramos do tubo. A expressão para calcular a vazão é a seguinte:

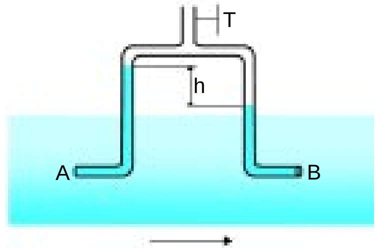
$$Q = A\sqrt{2h/\mu}$$

Sendo: A – área da secção reta do tubo por onde o fluido escoa.

μ – Massa específica do fluido.

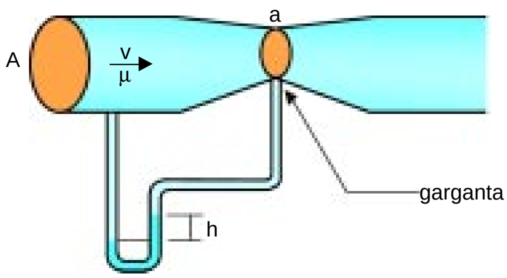
h – Altura manométrica.





Medidor Venturi

Constitui-se de uma seção convergente que reduz o diâmetro da canalização entre a metade e um quarto. Segue-se uma seção divergente (vide figura a seguir). A função da seção convergente é aumentar a velocidade do fluido e temporariamente diminuir sua pressão. A diferença de pressões entre a entrada do Venturi e a garganta é medida num manômetro de mercúrio. O cone divergente serve para a área de escoamento e para reduzir a perda de energia.



Para se calcular a vazão, usa-se a equação da continuidade e a equação de Bernouilli, obtendo-se a seguinte expressão:

$$Q = a\sqrt{\frac{2g\ (\mu' - \mu)\ h}{\mu}}$$

em que: a – área da secção reta na garganta do Venturi

- μ' – massa específica do líquido do manômetro
- μ – massa específica do fluido em escoamento
- h – altura manométrica
- g – aceleração da gravidade

Exemplo prático

Benzeno flui num medidor Venturi que tem 20 cm de diâmetro na sua parte mais larga e 8 cm na garganta. A pressão manométrica lida no manômetro é de 10 cm Hg. Calcular a vazão do benzeno, sabendo-se que sua massa específica vale 0,90 g/cm³ e que Hg = 13,6 g/cm³; g = 10 m/s².

Solução

Apliquemos a equação de vazão para o medidor Venturi:

$\mathbf{a = \pi R^2 = \pi \times (20/2)^2 = 100\ \pi\ cm^2}$

$a = \pi R^2 = \pi \times (8/2) = 16\ \pi\ cm^2$

$\mu' = \mu Hg = 13{,}6 g/cm^3$; $\mu = 0{,}90\ g/cm^3$

$h = 10$ cm; $g = 10\ m/s^2 = 1.000\ cm/s_2$

$$Q = a\sqrt{\frac{2g\ (\mu' - \mu)\ h}{\mu}}$$

$$Q = 16\ \pi\sqrt{\frac{2 \times 1.000\,(13{,}6 - 0{,}90) \times 10}{0{,}90}}$$

$$Q = 16\ \pi\sqrt{\frac{20.000 \times 12{,}7}{0{,}90}}$$

$$Q = 16\ \pi\sqrt{\frac{25{,}4 \times 10^4}{0{,}90}} = 16\ \pi\ \sqrt{28{,}2 \times 10^4}$$

$Q = 16\pi\ 5{,}3 \times 10^2$

$Q = 26.700\ cm^3/s$,

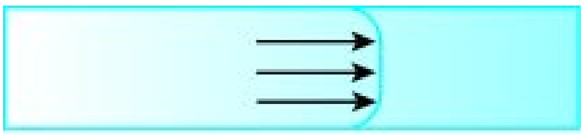
ou Q = **26,7 litros /s**

2.2.5 Métodos de medida e Viscosímetros

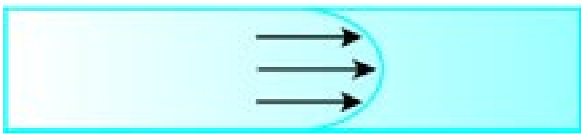
Quando você introduz um tubo de vidro em água e logo o retira, pode observar que no extremo do tubo permanece pendurada uma gota do líquido. Há, portanto, uma aderência entre o líquido e o sólido que mantém a gota em repouso, impedindo-a de se desprender por ação da gravidade.

Quando um fluido qualquer escoa sobre uma placa plana horizontal, observa-se que a camada de fluido que está em contato com a superfície da placa encontra-se em repouso devido ao fenômeno da aderência.

Pequena viscosidade

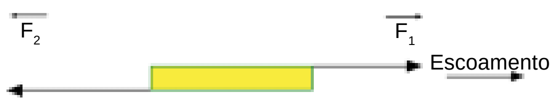


Grande viscosidade



A velocidade das partículas fluidas nas diferentes camadas vai aumentando gradativamente, à medida que é maior a distância da camada em relação à superfície da placa.

As camadas sucessivas do fluido têm, portanto, diferentes velocidades. Isto implica que cada camada tende a retardar o movimento da vizinha, que se move com maior velocidade e, ao contrário, acelerar a camada vizinha com menos velocidade. Assim, numa determinada camada de fluido atuam duas forças: uma na direção do escoamento e outra em sentido oposto.



Estas forças surgem devido ao que chamamos de **viscosidade do fluido**. A viscosidade é, para fluidos, uma grandeza análoga ao atrito, ou seja, a viscosidade é uma espécie de atrito entre as partículas do fluido que se movem com velocidades distintas.

Em geral, expressamos este atrito entre as partículas dos fluidos pela grandeza denominada **coeficiente de viscosidade ou simplesmente viscosidade, que é característica para cada fluido**.

Denotaremos o coeficiente de viscosidade pela letra grega η (eta).

$$\eta = \frac{\text{tensão de cisalhamento}}{\text{taxa de variação da deformação de cisalhamento}} = \frac{F/A}{\upsilon/l}$$

$$F = \eta A \frac{v}{l}$$

Lei de Poiseuille

É evidente, pela natureza geral dos efeitos viscosos, que a velocidade de um fluido viscoso, que escoa através de um tubo, não será constante em todos os pontos de uma secção reta. A camada mais externa do fluido adere às paredes e sua velocidade é nula. As paredes exercem sobre ela uma força para trás e esta, por sua vez, exerce uma força na camada seguinte na mesma direção e assim por diante. Se a velocidade não for muito grande, o escoamento será *lamelar*, a velocidade atingirá um máximo no centro do tubo, decrescendo a zero nas paredes.

Como vimos, o escoamento é semelhante ao do movimento de vários tubos telescópios que deslizam um em relação ao outro: o tubo central avança mais rapidamente, enquanto o externo permanece em repouso.

Considere a variação de velocidade em relação ao raio de um tubo, cujo raio interno é *R*, através do qual escoa um fluido coaxial, com um tubo, de raio *r* e comprimento. A força, na extremidade esquerda do tubo, é $\mu_1 \pi r^2$ e, na direita, é $\mu_2 \pi r^2$. A força propulsora é:

$$F = (\mu_1 - \mu_{2-})\,\pi r^2$$

Unidades de viscosidade

CGS ....dina.s/cm²
MKS ....N.s/m²
MKgfS ....kgf.s/m²

A unidade dina.s/cm² é conhecida pelo nome de POISE.

Outras unidades de viscosidade são:

- o centipoise – 1 cp = 10^{-2} poise
- o micropoise – 1 µp = 10^{-6} poise

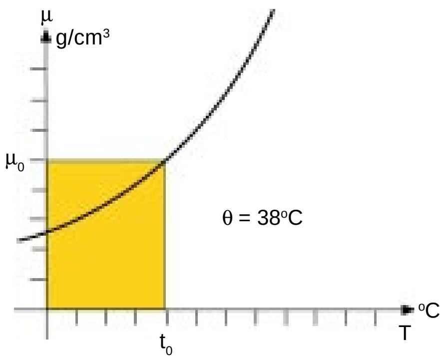
2.2.6 Viscosímetros

Um viscosímetro ou viscômetro é um instrumento para medir viscosidades. A operação de um viscosímetro depende da realização de um escoamento laminar sob certas condições controladas.

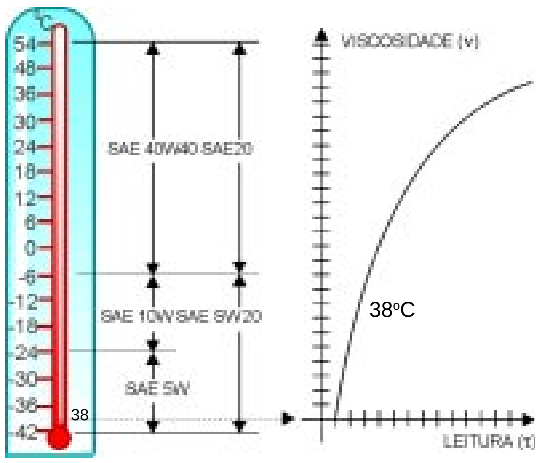
Viscosímetro Saybolt

Este tipo de instrumento de medida e aferição é muito utilizado em indústrias, principalmente para produtos de petróleo e lubrificantes em geral.

O líquido a ser testado é introduzido num tubo com uma rolha na extremidade inferior. Este tubo é imerso num banho líquido para manter a temperatura do líquido a testar. Quando o equilíbrio térmico é estabelecido, a rolha é retirada e o tempo necessário para 60 mililitros de fluido escoarem, é medido. Este tempo, medido em segundos, é chamado de leitura universal Saybolt. Entra-se num gráfico viscosidade x tempo e obtém-se o valor da viscosidade. Um desses gráficos é mostrado a seguir, para a temperatura de 38°C.



Correlação entre a leitura universal Saybolt (óleos) e a Viscosidade



Observe que o gráfico apresenta valores de viscosidade cinemática. Esta grandeza que vamos expressar pela letra grega ν (nu) é definida pela razão entre a viscosidade dinâmica (η) e a massa específica da substância.

$$\nu = \eta/\mu$$

A viscosidade que estudamos até o momento (η) é chamada de viscosidade dinâmica.

A unidade de viscosidade cinemática é o cm^2/s (no CGS).

Exemplo prático

A leitura Saybolt para um óleo a 38°C, tendo massa específica 0,92 g/cm^3 é 100 segundos. Qual a viscosidade dinâmica do óleo?

Solução:

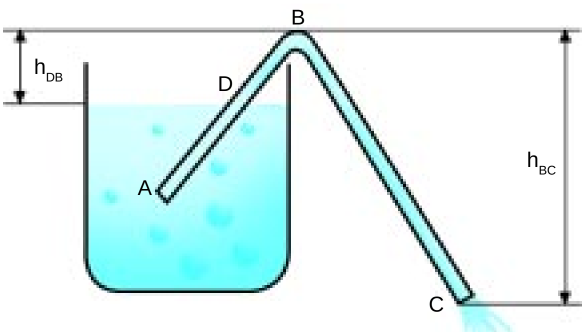
Sabemos que: $\nu = \eta/\mu$, daí vem que $\eta = \nu \cdot \mu$

O valor de é obtido do gráfico. Entramos com t = 100 s e obtemos = 0,20 cm^2/s.

$$\eta = 0{,}20 \times 0{,}92$$
$$\eta = 0{,}18 \text{ poise}$$

2.2.7 Princípio de funcionamento do Sifão e efeitos do Golpe de Aríete (martelo hidráulico)

Sifão – um sifão nada mais é que um tubo encurvado, aberto nos extremos e com um ramo maior que o outro.



Enchendo o tubo com líquido e introduzindo o extremo da parte mais curta num recipiente contendo o mesmo líquido com que se encheu o sifão, dá-se início a um escoamento sem que haja necessidade de bombas ou outro equipamento qualquer. O fenômeno pode ser explicado da seguinte maneira: a pressão em A, que empurra o líquido para cima dentro do tubo, é igual à pressão atmosférica, menos o peso da coluna de líquido DB.

$$PA = P_{atm} - \mu g h_{DB}$$

A pressão em C, que tende a suportar o líquido no tubo, é igual à pressão atmosférica, menos o peso da coluna de líquido BC.

$$\frac{P_c = P_{atm} - \mu g h_{BC}}{P_{atm} = P_A + \mu g h_{DB}} \text{ e } P_{atm} = P_c + \mu g h_{BC}$$

Portanto:

$$P_A + \mu g h_{DB} = P_c + \mu g h_{BC}$$

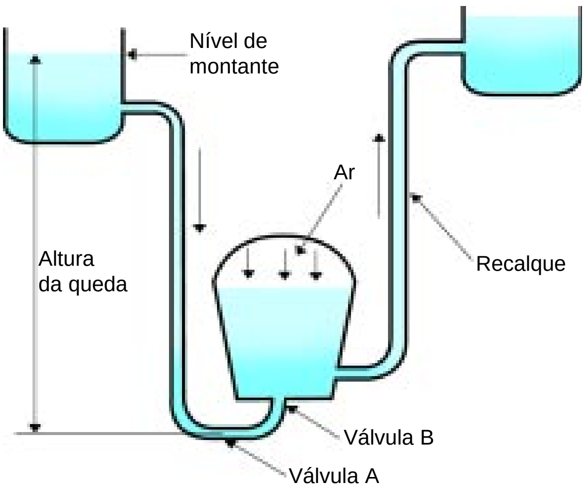
Como h_{BC} é maior que h_{DB}, para a igualdade acima ser verdade, a pressão que empurra o líquido em A deve ser maior que a pressão que suporta o líquido em C.

$$P_A - P_C = \mu g\,(h_{BC} - h_{DB})$$

Estabelece-se, portanto, uma corrente de líquido desde A até C, enquanto o extremo C permaneça mais baixo que o nível do líquido (D).

Para fazer o sifão funcionar, é necessário enchê-lo, previamente, com o líquido ou, então, depois de introduzi-lo no recipiente, aspirar pelo outro extremo.

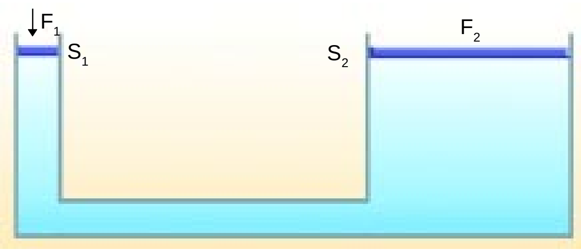
Aríete hidráulico – o Aríete hidráulico ou martelo hidráulico, ou ainda carneiro hidráulico, é um dispositivo para elevar um líquido, que aproveita a própria energia do líquido.



Quando se fecha bruscamente a válvula A, a parada do líquido produz um choque brusco (golpe de Aríete) e a pressão aumenta instantaneamente, provocando a abertura da válvula B. O líquido é então empurrado para o reservatório superior, sob o efeito da sobrepressão. Quando a válvula B se fecha, abre-se a válvula A, estabelecendo o escoamento e o fenômeno pode ser reproduzido.

Exercícios

01. A prensa hidráulica (apresentada abaixo) é baseada:



a) no princípio de Pascal,

b) no princípio de Arquimedes,

c) na lei de Stevin,

d) na lei de Coulomb,

e) na lei de Avogadro.

02. Se dois corpos têm todas as suas dimensões lineares proporcionais por um fator de escala β, então a razão entre suas superfícies é β^2 e entre seus volumes é β^3. Seres vivos perdem água por evaporação, proporcionalmente às suas superfícies. Então, eles devem ingerir líquidos regularmente, para repor essas perdas de água. Considere um homem e uma criança com todas as dimensões proporcionais. Considere ainda que o homem tem 80 kg, 1,80 m de altura e bebe 1,2 litro de água por dia, para repor as perdas devidas apenas à evaporação.

a) Se a altura da criança é 0,90 m, qual é o seu peso?

b) Quantos litros de água, por dia ela, deve beber, apenas para repor suas perdas por evaporação?

03. Um estudante encontra um termômetro quebrado, sem o bulbo, mas com a coluna do tubo capilar cheia de mercúrio, e decide determinar o diâmetro interno d, do capilar. Para isso, dispõe de uma régua graduada em milímetros (que não permite que se faça a medida do diâmetro diretamente), de uma balança precisa e, além disso, conhece a densidade μ do mercúrio à temperatura ambiente.

Descreva um procedimento a ser realizado à temperatura ambiente que, utilizando o material disponível, leve à determinação do diâmetro interno d, do capilar.

04. Uma mistura de leite enriquecido com sais minerais e água, cujas densidades são, respectivamente, 1,10 g/cm³ e 1,00 g/cm³, possui, em volume, 70% em leite e 30% em água. A densidade da mistura será em g/cm³:

a) 1,01.

b) 1,03.

c) 1,05.

d) 1,07.

e) 1,09.

05. Uma das maneiras de se verificar a qualidade do álcool, em alguns postos de combustível, consiste em usar duas bolas de materiais distintos, colocadas em um recipiente transparente na saída da bomba de álcool. A bola de densidade maior que a do álcool fica no fundo do recipiente, enquanto que a outra, de densidade menor que a do álcool, fica na parte de cima do recipiente. Determine o maior percentual em volume de água que pode ser acrescentado ao álcool, de tal forma que a bola mais densa ainda permaneça no fundo do recipiente. Assuma que a densidade da bola é 1% maior que a do álcool puro e que a variação da densidade da mistura, com o percentual volumétrico. A μ da água, em g/cm³, é dada por μ = 1 g/cm³.

06. Uma lata contém 900 cm³ de óleo de massa específica igual a 0,9 g/cm³. Podemos concluir que a lata contém, de óleo:

a) 1000 g.

b) 900 g.

c) 810 g.

d) 800 g.

e) 100 g.

07. Um adulto possui em média 5 litros de sangue. Cada milímetro cúbico de sangue possui cerca de 5 milhões de glóbulos vermelhos, com diâmetro de 0,007 mm. Se esses glóbulos vermelhos forem colocados lado a lado formando uma linha, qual seria o tamanho desta, aproximadamente?

a) $1,75 \cdot 10^6$ m.

b) $3,2 \cdot 10^6$ m.

c) $1,6 \cdot 10^7$ m.

d) $3,2 \cdot 10^7$ m.

e) $1,75 \cdot 10^8$ m.

08. Assinale a alternativa correta:

a) Dois corpos de mesma densidade têm necessariamente a mesma massa.

b) Dois corpos de mesma densidade têm necessariamente o mesmo volume.

c) Dois corpos de mesma densidade têm necessariamente a mesma massa e o mesmo volume.
d) Dois corpos de mesma densidade possuem a mesma massa, quando possuem também o mesmo volume.
e) As alternativas (c) e (d) são ambas corretas.

09. Um corpo de massa 72 g flutua em um líquido de densidade 0,60 g/cm³, com 60 % de seu volume imerso. Qual o volume do corpo, em cm³?

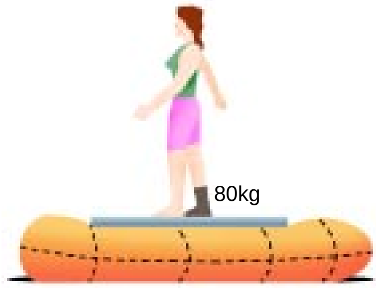
10. A gasolina é vendida por litro, mas em sua utilização, como combustível, a massa é o que importa. Um aumento da temperatura do ambiente leva a um aumento no volume da gasolina. Para diminuir os efeitos práticos dessa variação, os tanques dos postos de gasolina são subterrâneos. Assinale uma ou mais afirmações corretas, considerando-se que os tanques não são subterrâneos.

I. Você levaria vantagem ao abastecer o carro na hora mais quente do dia, pois estaria comprando mais massa por litro de combustível.
II. Abastecendo com a temperatura mais baixa, você estaria comprando mais massa de combustível para cada litro.
III. Se a gasolina fosse vendida por kg em vez de por litro, o problema comercial decorrente da dilatação da gasolina estaria resolvido.

Destas considerações, somente
a) I é correta.
b) II é correta.
c) III é correta.
d) I e II são corretas.
e) II e III são corretas.

11. Uma folha de papel mede, aproximadamente, 20 x 30 cm. De acordo com essa informação e de que cada cm² recebe 10 N/cm² de pressão, determine:
a) a área dessa folha, em cm²;
b) a pressão total recebida pela folha;
c) a força total recebida pela folha.

12. Uma pessoa de 80 kg apoia-se sobre uma chapa de 20 cm × 20 cm, que repousa sobre uma bolsa de água. A aceleração da gravidade é g = 10 m/s². A pressão média transmitida é da ordem de:

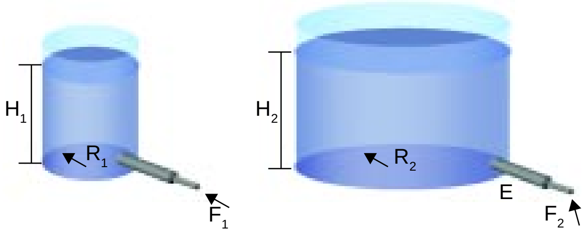


a) 80 N.
b) 2 N/m².
c) 2 N/cm².
d) 2 × 10⁴ N/cm².
e) é nula.

13. O princípio de Pascal afirma que:
a) A pressão no interior de um líquido independe da profundidade.
b) As moléculas de um líquido atraem-se fortemente.
c) Todos os líquidos possuem mesma pressão hidrostática.
d) A pressão de um ponto, no fundo de um frasco cheio de líquido, depende da área do fundo do frasco.
e) A pressão aplicada a um líquido em equilíbrio transmite-se, integralmente, a todos os pontos do líquido e das paredes do frasco que o contém.

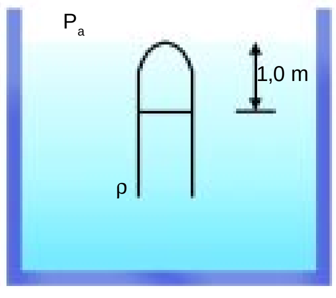
14. Suponha que o sangue tenha a mesma densidade que a água e que o coração seja uma bomba capaz de bombeá-lo a uma pressão de 150 mm de mercúrio acima da pressão atmosférica. Considere uma pessoa cujo cérebro está 50 cm acima do coração, e adote, para simplificar, que 1 atmosfera = 750 mm de mercúrio.
a) Até que altura o coração consegue bombear o sangue?
b) Suponha que esta pessoa esteja em outro planeta. A que aceleração gravitacional máxima ela pode estar sujeita para que ainda receba sangue do cérebro?

15. Dois recipientes cilíndricos, de eixos verticais e raios R_1 e R_2, contêm água até alturas H_1 e H_2, respectivamente. No fundo dos recipientes, existem dois tubos iguais, de diâmetro pequeno comparado com as alturas das colunas de água e com eixos horizontais, como mostra a figura a seguir. Os tubos são vedados por êmbolos E, que impedem a saída da água, mas podem deslizar, sem atrito, no interior dos tubos. As forças F_1 e F_2, necessárias para manter os êmbolos em equilíbrio, serão iguais uma à outra quando:



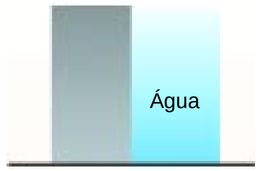
a) $H_1 \times R_1 = H_2 \times R_2$
b) $R_1^2 \times H_1 = R_2^2 \times H_2$
c) $\dfrac{H_1}{R_1} = \dfrac{H_1}{R_2}$
d) $R_1 = R_2$
e) $H_1 = H_2$

16. Um tubo cilíndrico de secção transversal, constante de área S, fechado numa das extremidades e com uma coluna de ar em seu interior, de 1,0 m, encontra-se em equilíbrio mergulhado em água, cuja massa específica é $\rho = 1{,}0$ g/cm³, com o topo do tubo coincidindo com a superfície, como mostra a figura a seguir. Sendo $P_A = 1{,}0 \times 10^5$ Pa a pressão atmosférica e $g = 10$ m/s² a aceleração da gravidade, a que distância h deverá ser elevado o topo do tubo, com relação à superfície da água, para que o nível de água dentro e fora do mesmo coincidam?

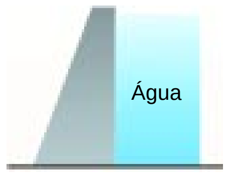


17. Uma pequena bolha de ar, partindo da profundidade de 2,0 m abaixo da superfície de um lago, tem seu volume aumentado em 40% ao chegar à superfície. Suponha que a temperatura do lago seja constante e uniforme e que o valor da massa específica da água do lago seja $\mu = 1{,}0 \times 10^3$ kg/m³. Adote $g = 10$ m/s² e despreze os efeitos de tensão superficial.
a) Qual a variação do valor da pressão do ar dentro da bolha, em N/m nessa subida?
b) Qual o valor da pressão atmosférica, em N/m², na superfície do lago?

18. Ao projetar uma represa, um engenheiro precisou aprovar o perfil de uma barragem, sugerido pelo projetista da construtora. Admitindo que ele se baseou na lei de Stevin, da hidrostática, que a pressão de um líquido aumenta linearmente com a profundidade, assinale a opção que o engenheiro deve ter feito.

a)


b)


c)


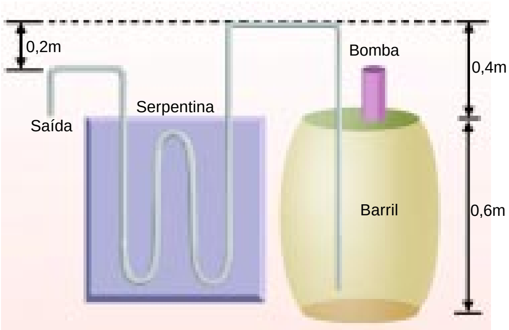
d)


e)


19. Um tanque contendo determinado líquido está na superfície da Terra, num local em nível do mar onde a pressão atmosférica é de 10×10^5 Pa. Nessas condições, a pressão total no fundo do tanque é $1{,}3 \times 10^5$ Pa.

Se esse tanque for levado para a superfície da Lua, onde não há atmosfera e a aceleração da gravidade é seis vezes menor que na superfície da terra, a pressão total no fundo passará a ser, em Pa:
a) $1{,}0 \times 10^5$.
b) 5×10^3.
c) $0{,}3 \times 10^5$.
d) 2×10^4.
e) $2{,}3 \times 10^5$.

20. Um barril de chope completo, com bomba e serpentina, como representado na figura a seguir, foi comprado para uma festa. A bomba é utilizada para aumentar a pressão na parte superior do barril, forçando assim o chope pela serpentina. Considere a densidade do chope igual à da água.



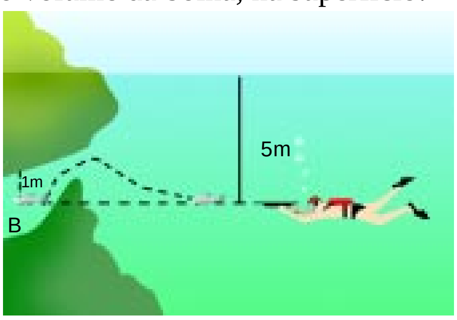
a) Calcule a mínima pressão aplicada pela bomba, para que comece a sair chope pela primeira vez, no início da festa (barril cheio até o topo, serpentina inicialmente vazia).
b) No final da festa, o chope estará terminando. Qual deve ser a mínima pressão aplicada para o chope sair, quando o nível do líquido estiver a 10 cm do fundo do barril, com a serpentina cheia?

21. Um tanque cheio de álcool (densidade 0,80 g/cm^3) encontra-se no nível do mar (pressão atmosférica $1{,}0 \times 10^5$ N/m^2), em local no qual a aceleração da gravidade é 10 m/^{2}.

Qual a profundidade, em metros, na qual a pressão total no interior deste tanque é de 1,4 atmosferas.

22. Um mergulhador, em um lago, solta uma bolha de ar de volume V, a 5,0 m de profundidade. A bolha sobe até a superfície, onde a pressão é a atmosférica.

Considere que a temperatura da bolha permanece constante e que a pressão aumenta cerca de 1,0 atm a cada 10 m de profundidade. Nesse caso, qual o aumento percentual no valor do volume da bolha, na superfície?



23. Numa experiência de laboratório, os alunos observaram que uma bola de massa especial afundava na água. Arquimedes, um aluno criativo, pôs sal na água e viu que a bola flutuou. Já Ulisses conseguiu o mesmo efeito, modelando a massa sob a forma de barquinho. Explique, com argumentos de Física, os efeitos observados por Arquimedes e por Ulisses.

24. Uma bexiga de festa de crianças está cheia, com 5,4 litros de ar. Um mergulhador a carrega para o fundo de um lago de 8,0 metros de profundidade. Considere 1 atm = 10 m de água, g = 10/s^2. Pergunta-se:

a) Qual o volume da bexiga, no fundo do lago?
b) Qual a força de empuxo sobre a bexiga, quando ela está no fundo do lago?
c) Onde o empuxo é maior: imediatamente abaixo da superfície do lago ou no fundo? Justifique.

25. Uma pessoa de densidade 1,1 g/cm^3, quando completamente submersa nas águas de uma piscina, fica sujeita a um empuxo de 600 N. Sendo a densidade da água da piscina 1,0 g/cm^3, responda:

a) Qual é a massa dessa pessoa?
b) Apoiada numa bóia de 12 litros de volume e massa 200 g, ela conseguirá manter-se na superfície d’água? Explique.

26. Um bloco de madeira de volume 200 cm^3 flutua em água de densidade 1,0 g/cm^3, com 60% de seu volume imerso. O mesmo bloco é colocado em um líquido de densidade 0,75 g/cm^3. Qual o volume submerso, em cm^3?

27. Sabe-se que a densidade do gelo é 0,92 g/cm^3, a do óleo é 0,8 g/cm^3 e a da água é de 1,0 g/cm^3.

A partir destes dados, podemos afirmar que:

a) o gelo flutua no óleo e na água.
b) o gelo afunda no óleo e flutua na água.
c) o gelo flutua no óleo e afunda na água.
d) o óleo flutua sobre a água e o gelo flutua sobre o óleo.
e) a água flutua sobre o gelo e afunda sobre o óleo.

28. Um dentista entregou a uma firma 50 gramas de titânio, para confecção de implantes. Embora a massa total das peças acabadas fosse exatamente 50 gramas, surgiu a suspeita de que parte do metal tivesse sido trocada por um material de menor valor. Qual o procedimento que pode comprovar a eventual fraude, sem destruir ou desmanchar as peças e mencione os princípios ou leis físicas envolvidos.

29. Colocou-se um recipiente com água sobre um dos pratos de uma balança. A seguir, mergulhou-se, na água do recipiente, uma pedra suspensa por um fio preso a um suporte fixo. A balança desequilibrou-se do lado do recipiente, ao mesmo tempo em que o nível da água subiu. Retirou-se água até a balança ficar equilibrada. Considerando os dados: pode-se afirmar que o volume de água retirada é igual ao(à):

Dados:
densidade da água = 1,0 g/cm^3.
densidade da pedra = 3,0 g/cm^3.

a) volume da pedra.
b) dobro do volume da pedra.
c) triplo do volume da pedra.
d) metade do volume da pedra.
e) terça parte do volume da pedra.

30. Um tronco de árvore de 0,8 m^3 de volume flutua na água com metade do seu volume submerso. Qual é o empuxo de água sobre o tronco?

Dados:
g = 10 m/s^2
Densidade da água = 1000 kg/m^3

31. A viscosidade de um fluido pode ser comparado em sua análise, ao comportamento:

a) da energia elástica.
b) do atrito mecânico;
c) do peso do líquido.
d) da lei de pascal.
e) da temperatura.

32. Uma bolha de ar de volume 20,0 mm^3, aderente à parede de um tanque de água, a 70 cm de profundidade solta-se e começa a subir. Supondo que a tensão superficial da bolha é desprezível e que a pressão atmosférica é de 1 x 10^5 Pa, logo que alcança a superfície, determine seu volume neste ponto.

33. A leitura Saybolt para um óleo a 38°C, tendo massa específica 0,95 g/cm^3, aponta para uma viscosidade cinemática de 0,20 cm^2/s em *t* segundos. Qual a viscosidade dinâmica do óleo?

34. Em um duto, em escoamento constante, a gasolina flui a 20 m/s. Ao passar para um trecho onde o diâmetro do duto dobra, determine o valor da nova velocidade.

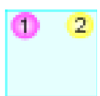
35. Uma torneira enche um tanque com vazão de 30 litros por hora, enquanto outra o esvazia, à vazão de 18 litros por hora. Em quantas horas o tanque com capacidade para 0,36 metros cúbicos de óleo diesel estará cheio?

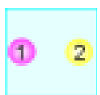
36. Um reservatório, cuja capacidade é de N litros de água, tem sua medidas de altura, largura e profundidade de 4, 2 e 6 metros, respectivamente. Uma bomba operando com potência de 20 HP, retira água pura de um lago artificial e despeja no reservatório. Pede-se o tempo necessário para encher a terça parte do tanque, com uma carga constante de água de 2000 g/s:

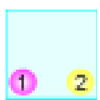
37. Um tanque esférico possui capacidade para 85 mil metros cúbicos de combustível. Por medida de segurança, o volume máximo deve ser de 96 % desta capacidade. Com escoamento em regime constante, o preenchimento do tanque ocorre lentamente, com máxima segurança, à vazão de 5 litros a cada segundo. Qual a vazão em m^3/h e qual o tempo necessário para atingir o volume útil?

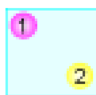
38. Um fornecedor da indústria petroquímica entregou a uma fábrica uma peça maciça de 125 gramas de cobre, para confecção de uma válvula especial. Embora a massa total da peça acabada fosse exatamente 125 gramas, surgiu a suspeita de que parte do metal tivesse sido trocada por um material de menor valor. Determine um procedimento que possa comprovar que a peça é 100% pura, sem derreter ou quebrar a peça e mencione os princípios utilizados.

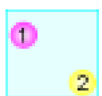
39. Para mostrar que a densidade de álcool combustível está dentro das especificações, certa distribuidora coloca em suas bombas de abastecimento um indicador, que consiste em duas pequenas esferas, 1 e 2, mantidas no interior de uma câmara de vidro, sempre repleta do álcool combustível. Quando a densidade está dentro das especificações, o indicador, no equilíbrio, se apresenta como na figura abaixo. Qual das opções abaixo ilustra uma situação impossível de acontecer com o indicador no equilíbrio?

a) 

b) 

c) 

d) 

e) 

40. Durante a estocagem é muito importante que se leve em consideração as condições de segurança. Um tanque intermediário pode suportar no máximo quatro toneladas de gasolina (0,72g/cm^3). Qual o volume máximo deste tanque?

41. As bombas são como máquinas operatrizes hidráulicas que conferem energia ao fluido, com a finalidade de transportá-lo, por escoamento, de um ponto para outro, obedecendo às condições do processo. As bombas transformam o trabalho mecânico que recebem para seu funcionamento em energia. Elas recebem a energia de uma fonte motora qualquer e cedem parte dessa energia ao fluido, sob forma de energia de pressão, cinética, ou ambas. Isto é, elas aumentam a pressão do líquido, a velocidade, ou ambas essas grandezas. A energia cedida ao líquido pode ser medida através da equação de Bernoulli. A relação entre a energia cedida pela bomba ao líquido e a energia que foi recebida da fonte motora, fornece:

a) O trabalho realizado
b) O rendimento da bomba
c) A energia cinética
d) A potência da bomba
e) A pressão do vapor

42. Na refinaria é importante que alguns dados estejam sempre na "cabeça" do operador. Determine o volume da altura de 1mm de coluna líquida de um tanque cilíndrico, onde a superfície líquida possui diâmetro de 86 metros (aproximadamente):
Obs.: Este cálculo determina o "Fator do Tanque".

a) 6240 litros
b) 5870 litros
c) 6010 litros
d) 7240 litros
e) 2450 litros

43. Qual o princípio da Física que é utilizado para explicar o nivelamento de tanques, sem o gasto de energia? Esta "equalização" ocorre com base no:

a) Princípio da Prensa Hidráulica
b) Princípio de Arquimedes
c) Princípio dos vasos comunicantes
d) Princípio da Válvula Hidráulica
e) Princípio da Energia Hidráulica

44. Por uma tubulação passa gasolina que enche um tanque, com vazão de 80 metros cúbicos por hora. Enquanto isto, por uma rachadura vazam 5 metros cúbicos por hora. Em quantas horas o tanque com capacidade para 765.000 litros estaria cheio?

45. Considerando que a equipe de emergência, em 6 minutos, fez com que o combustível (questão anterior) parasse de vazar, sendo a densidade absoluta da gasolina de 0,72 g/cm^3,determine quantos quilogramas de gasolina foram perdidos.

46. Um tanque de gasolina tem um "teto flutuante" de 30,24 toneladas. Considerando a densidade absoluta da gasolina de 0,72 g/cm^3, determine, em metros cúbicos, o volume deslocado pelo teto, comprovando os estudos de Arquimedes.

47. Um posto de combustíveis possui um tanque cuja capacidade é de "x" litros de óleo diesel e tem sua medidas de altura, largura e comprimento, de 2, 3 e 5 metros, respectivamente. Uma mangueira, utilizando o princípio dos vasos comunicantes, despeja óleo diesel em escoamento de regime constante no reservatório. Pede-se o tempo necessário para encher 90% do tanque, com uma carga constante de 60 litros por segundo.

48. Explique o motivo pelo qual as bolhas de ar sobem rapidamente em um tanque de combustível, que é alimentado na parte inferior, em regime de escoamento turbulento.

49. Em um Carneiro hidráulico (aríete), obrigatoriamente, o cano de entrada deverá ser mantido em linha reta e sempre em declive desde o início da queda até a entrada do Carneiro. Jamais será permitida a instalação de curvas, joelhos ou formação de abaulamentos (voltas) em qualquer sentido. Qual o motivo deste cuidado?

Principios Éticos da Petrobras

A honestidade, a dignidade, o respeito, a lealdade, o decoro, o zelo, a eficácia e a consciência dos princípios éticos são os valores maiores que orientam a relação da Petrobras com seus empregados, clientes, concorrentes, parceiros, fornecedores, acionistas, Governo e demais segmentos da sociedade.

A atuação da Companhia busca atingir níveis crescentes de competitividade e lucratividade, sem descuidar da busca do bem comum, que é traduzido pela valorização de seus empregados enquanto seres humanos, pelo respeito ao meio ambiente, pela observância às normas de segurança e por sua contribuição ao desenvolvimento nacional.

As informações veiculadas interna ou externamente pela Companhia devem ser verdadeiras, visando a uma relação de respeito e transparência com seus empregados e a sociedade.

A Petrobras considera que a vida particular dos empregados é um assunto pessoal, desde que as atividades deles não prejudiquem a imagem ou os interesses da Companhia.

Na Petrobras, as decisões são pautadas no resultado do julgamento, considerando a justiça, legalidade, competência e honestidade.