

Lista de Exercícios – Física Geral
Lei de Stevin e princípio de Pascal
Aplicações em Agronomia

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____

Orientações. Apresente a equação utilizada, as conversões de unidades e os cálculos. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ e $p_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$. Pressão manométrica é a diferença entre a pressão absoluta e a atmosférica. Os líquidos são homogêneos e estão em repouso nos cálculos de Stevin. As situações são idealizadas para fins didáticos.

Lei de Stevin

1. Uma cisterna aberta à atmosfera armazena água para irrigação de uma horta. Um sensor está a 2,4 m abaixo da superfície livre. Calcule a pressão **manométrica** e a pressão **absoluta** no sensor, em Pa e em kPa.
2. Um tanque aberto contém solução fertilizante de densidade 1200 kg/m^3 . A tomada de pressão A está a 0,40 m de profundidade e a tomada B, a 1,60 m. Determine as pressões manométricas em A e B e a diferença $p_B - p_A$.
3. Um reservatório aberto abastece uma tubulação de irrigação completamente preenchida com água. Com todos os registros de saída fechados, deseja-se uma pressão manométrica de 75 kPa em uma tomada da tubulação. Qual deve ser a altura da superfície livre do reservatório acima dessa tomada?
4. Em um tanque aberto de preparo de calda agrícola, a densidade do líquido é $1,10 \text{ g/cm}^3$. Um manômetro instalado na parede indica 16,5 kPa. Determine a profundidade da tomada do manômetro abaixo da superfície livre.
5. Dois reservatórios abertos, de paredes verticais, armazenam água até a mesma altura de 1,5 m. O reservatório A tem fundo horizontal de área $0,80 \text{ m}^2$ e o B, de $2,0 \text{ m}^2$. A face externa de cada fundo está sob pressão atmosférica. Calcule a pressão manométrica e a força resultante devida à diferença de pressão em cada fundo. Compare os resultados.
6. Uma tampa horizontal de inspeção no fundo de um tanque de água para uma estufa tem área de 200 cm^2 . Sua face interna está a 1,8 m abaixo da superfície livre, aberta à atmosfera; a face externa está exposta ao ar atmosférico. Determine o módulo e o sentido da força resultante das pressões sobre a tampa. Despreze o peso da tampa.

Princípio de Pascal

Hipóteses para as questões 7 a 12. Considere sistemas hidráulicos ideais, com líquido incompressível, sem vazamentos, sem atrito e com pistões de massa desprezível. As faces externas dos pistões estão sob a mesma pressão atmosférica. As forças indicadas são normais aos pistões. Nas questões 7 a 11, despreze diferenças de altura entre as faces dos pistões. As cargas são sustentadas em equilíbrio ou movimentadas lentamente, sem aceleração apreciável.

7. Em um dispositivo hidráulico de uma oficina rural, o pistão menor tem área de $5,0 \text{ cm}^2$ e recebe uma força de 150 N . O pistão maior tem área de 100 cm^2 . Calcule a pressão manométrica no fluido e a força que o pistão maior pode exercer sobre uma carga.
8. Um macaco hidráulico utilizado na manutenção de um implemento possui pistões de diâmetros $2,0 \text{ cm}$ e $10,0 \text{ cm}$. A carga sobre o pistão maior exerce força de 5000 N . Determine a razão entre as áreas dos pistões e a força necessária no pistão menor para sustentar a carga.
9. Uma plataforma horizontal para caixas de mudas é sustentada diretamente por um único pistão vertical de área 30 cm^2 . A massa total da plataforma com as caixas é 450 kg . Calcule a pressão manométrica necessária no cilindro, em Pa e em MPa .
10. Uma prensa hidráulica de bancada, usada em ensaios de compressão de amostras vegetais, possui pistões com áreas de $4,0 \text{ cm}^2$ e 80 cm^2 . Aplica-se uma força constante de 100 N no pistão menor, que avança 20 cm em um único curso.
 - a) Determine a força exercida pelo pistão maior.
 - b) Calcule o deslocamento do pistão maior.
 - c) Calcule o trabalho de entrada e o trabalho entregue à carga.
11. Uma mesa de seleção de hortaliças é sustentada por dois cilindros verticais idênticos, alimentados pela mesma linha hidráulica. A massa total da mesa com a carga é 800 kg , distribuída simetricamente. Cada pistão tem área de 20 cm^2 . Calcule a força sustentada por cada pistão e a pressão manométrica necessária na linha.
12. **Desafio: Pascal e Stevin no mesmo sistema.** Em uma bancada de manutenção agrícola, um pistão menor de área $4,0 \text{ cm}^2$ transmite pressão a um pistão maior de área 80 cm^2 . O óleo tem densidade 850 kg/m^3 . A face em contato com o óleo do pistão maior está $1,0 \text{ m}$ acima da face do menor. O pistão maior sustenta diretamente uma carga vertical de 3400 N .
 - a) Determine a pressão manométrica junto ao pistão maior.
 - b) Determine a pressão manométrica junto ao pistão menor.
 - c) Calcule a força necessária no pistão menor e compare-a com o valor obtido ao desprezar o desnível.

Gabarito com resoluções completas

Relações utilizadas. Para um líquido em repouso, a pressão aumenta com a profundidade. Em um tanque aberto, $p_{\text{man}} = \rho gh$ e $p_{\text{abs}} = p_{\text{atm}} + p_{\text{man}}$. Em pistões ideais no mesmo nível, $F_1/A_1 = F_2/A_2$. Um acréscimo de pressão aplicado a um líquido confinado transmite-se a todo o líquido; se os pontos estiverem em alturas diferentes, também se considera a variação hidrostática.

1. Pressões na cisterna

A superfície está sob pressão atmosférica. A coluna de água acima do sensor tem altura $h = 2,4$ m. Pela lei de Stevin,

$$p_{\text{man}} = \rho gh = 1000 \cdot 10 \cdot 2,4 = 24\,000 \text{ Pa}.$$

Como $1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa}$, temos $p_{\text{man}} = 24 \text{ kPa}$. A pressão absoluta inclui a contribuição atmosférica:

$$p_{\text{abs}} = 100\,000 + 24\,000 = 124\,000 \text{ Pa} = 124 \text{ kPa}.$$

Resposta: $p_{\text{man}} = 24\,000 \text{ Pa} = 24 \text{ kPa}$ e $p_{\text{abs}} = 124\,000 \text{ Pa} = 124 \text{ kPa}$.

2. Pressão em duas profundidades

Aplicamos $p_{\text{man}} = \rho gh$ separadamente a cada tomada:

$$p_{A,\text{man}} = 1200 \cdot 10 \cdot 0,40 = 4800 \text{ Pa},$$

$$p_{B,\text{man}} = 1200 \cdot 10 \cdot 1,60 = 19\,200 \text{ Pa}.$$

A diferença também pode ser calculada diretamente pelo desnível:

$$p_B - p_A = \rho g(h_B - h_A) = 1200 \cdot 10 \cdot (1,60 - 0,40) = 14\,400 \text{ Pa}.$$

A pressão atmosférica cancela na diferença, tanto usando pressões absolutas quanto manométricas. B apresenta maior pressão porque está mais abaixo. **Resposta:** $p_{A,\text{man}} = 4,8 \text{ kPa}$; $p_{B,\text{man}} = 19,2 \text{ kPa}$; $p_B - p_A = 14,4 \text{ kPa}$.

3. Altura do reservatório

Com as saídas fechadas, a água está em repouso. Convertamos $75 \text{ kPa} = 75\,000 \text{ Pa}$ e isolamos a altura:

$$p_{\text{man}} = \rho gh \quad \Rightarrow \quad h = \frac{p_{\text{man}}}{\rho g} = \frac{75\,000}{1000 \cdot 10} = 7,5 \text{ m}.$$

Resposta: A superfície livre deve estar 7,5 m acima da tomada.

Esse resultado é a pressão estática. O exercício não determina a pressão durante a irrigação com água em escoamento.

4. Profundidade da tomada no tanque de calda

Primeiro, convertamos os dados para o SI:

$$\rho = 1,10 \text{ g/cm}^3 = 1100 \text{ kg/m}^3, \quad p_{\text{man}} = 16,5 \text{ kPa} = 16\,500 \text{ Pa}.$$

O manômetro fornece a pressão relativa à atmosfera. Portanto,

$$h = \frac{p_{\text{man}}}{\rho g} = \frac{16\,500}{1100 \cdot 10} = 1,5 \text{ m}.$$

Resposta: A tomada está a 1,5 m abaixo da superfície livre.

5. Pressão e força nos fundos dos reservatórios

Nos dois tanques, o líquido, a profundidade e a pressão na superfície são iguais. Assim, as pressões manométricas nos fundos são iguais:

$$p_{A,\text{man}} = p_{B,\text{man}} = 1000 \cdot 10 \cdot 1,5 = 15\,000 \text{ Pa} = 15 \text{ kPa}.$$

Como cada fundo é horizontal, a pressão é uniforme sobre ele. A atmosfera atua na face externa; a diferença entre as pressões interna e externa é p_{man} . Logo,

$$\begin{aligned} F_A &= p_{\text{man}} A_A = 15\,000 \cdot 0,80 = 12\,000 \text{ N}, \\ F_B &= p_{\text{man}} A_B = 15\,000 \cdot 2,0 = 30\,000 \text{ N}. \end{aligned}$$

Resposta: Pressão de 15 kPa em ambos; forças de 12 000 N em A e 30 000 N em B, dirigidas para baixo.

A pressão não depende da área do fundo. A força depende da área: $F_B/F_A = 2,0/0,80 = 2,5$.

6. Força sobre a tampa de inspeção

A conversão de área exige elevar ao quadrado o fator de conversão de comprimento:

$$1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2, \quad A = 200 \cdot 10^{-4} = 0,020 \text{ m}^2.$$

A diferença de pressão entre as duas faces é

$$\Delta p = (p_{\text{atm}} + \rho gh) - p_{\text{atm}} = 1000 \cdot 10 \cdot 1,8 = 18\,000 \text{ Pa}.$$

A tampa é horizontal, de modo que toda a sua face interna está na mesma profundidade. Portanto,

$$F = \Delta p A = 18\,000 \cdot 0,020 = 360 \text{ N}.$$

Resposta: 360 N, verticalmente para baixo, do interior para o exterior do tanque.

7. Multiplicação de força no dispositivo hidráulico

As áreas em unidades do SI são

$$A_1 = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, \quad A_2 = 100 \cdot 10^{-4} = 0,010 \text{ m}^2.$$

No equilíbrio do pistão menor, a pressão atmosférica cancela entre a pressão absoluta interna e a pressão externa. Assim,

$$p_{\text{man}} = \frac{F_1}{A_1} = \frac{150}{5,0 \times 10^{-4}} = 300\,000 \text{ Pa}.$$

Desprezando o desnível, a pressão manométrica é a mesma junto ao pistão maior:

$$F_2 = p_{\text{man}} A_2 = 300\,000 \cdot 0,010 = 3000 \text{ N}.$$

Resposta: $p_{\text{man}} = 3,0 \times 10^5 \text{ Pa} = 300 \text{ kPa}$ e $F_2 = 3000 \text{ N}$.

8. Macaco hidráulico com diâmetros conhecidos

A área de um círculo é $A = \pi d^2/4$. Portanto, a razão entre as áreas é o quadrado da razão entre os diâmetros:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi d_2^2/4}{\pi d_1^2/4} = \left(\frac{10,0}{2,0} \right)^2 = 25.$$

Podemos usar ambos os diâmetros em centímetros nessa razão, pois as unidades se cancelam. Pelo princípio de Pascal,

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \Rightarrow \quad F_1 = F_2 \frac{A_1}{A_2} = \frac{5000}{25} = 200 \text{ N}.$$

Resposta: $A_2/A_1 = 25$ e $F_1 = 200 \text{ N}$.

A razão dos diâmetros é 5, mas a razão das áreas, que determina a multiplicação de força, é 25.

9. Pressão para sustentar a plataforma de mudas

A força vertical que o pistão deve exercer equilibra o peso total:

$$F = mg = 450 \cdot 10 = 4500 \text{ N}.$$

Convertendo a área, $A = 30 \text{ cm}^2 = 30 \cdot 10^{-4} = 0,0030 \text{ m}^2$. Logo,

$$p_{\text{man}} = \frac{F}{A} = \frac{4500}{0,0030} = 1\,500\,000 \text{ Pa}.$$

Como $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$,

$$p_{\text{man}} = \frac{1\,500\,000}{10^6} = 1,5 \text{ MPa}.$$

Resposta: $p_{\text{man}} = 1,5 \times 10^6 \text{ Pa} = 1,5 \text{ MPa}$.

10. Força, deslocamento e trabalho na prensa

a) Pela igualdade de pressões, usando áreas na mesma unidade,

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} = 100 \frac{80}{4,0} = 2000 \text{ N}.$$

b) O líquido é incompressível e não há vazamentos. O volume deslocado pelo pistão menor é igual ao volume deslocado pelo maior:

$$A_1 \Delta x_1 = A_2 \Delta x_2 \Rightarrow \Delta x_2 = \frac{4,0}{80} \cdot 20 = 1,0 \text{ cm} = 0,010 \text{ m}.$$

c) Para calcular trabalho em joules, usamos os deslocamentos em metros:

$$W_{\text{entrada}} = F_1 \Delta x_1 = 100 \cdot 0,20 = 20 \text{ J}, \quad W_{\text{carga}} = F_2 \Delta x_2 = 2000 \cdot 0,010 = 20 \text{ J}.$$

Resposta: a) 2000 N; b) 1,0 cm; c) 20 J em ambos.

O ganho em força corresponde a um deslocamento menor. No sistema ideal, não há ganho de energia.

11. Dois cilindros sustentando a mesa

O peso total é $P = mg = 800 \cdot 10 = 8000 \text{ N}$. Pela simetria, cada cilindro sustenta metade:

$$F_{\text{cada}} = \frac{8000}{2} = 4000 \text{ N}.$$

Cada área vale $20 \text{ cm}^2 = 0,0020 \text{ m}^2$. A pressão necessária é

$$p_{\text{man}} = \frac{F_{\text{cada}}}{A} = \frac{4000}{0,0020} = 2,0 \times 10^6 \text{ Pa} = 2,0 \text{ MPa}.$$

Resposta: 4000 N por pistão e pressão de 2,0 MPa na linha.

Equivalentemente, divide-se o peso total pela área total dos dois pistões. A força se divide entre os cilindros; a pressão é a mesma em ambos.

12. Efeito do desnível entre pistões

a) Para o pistão maior, $A_2 = 80 \cdot 10^{-4} = 0,0080 \text{ m}^2$:

$$p_{2,\text{man}} = \frac{3400}{0,0080} = 425\,000 \text{ Pa} = 425 \text{ kPa}.$$

b) O pistão menor está mais baixo; sua pressão deve ser maior. Pela lei de Stevin,

$$p_{1,\text{man}} = p_{2,\text{man}} + \rho g \Delta h = 425\,000 + 850 \cdot 10 \cdot 1,0 = 433\,500 \text{ Pa}.$$

c) Com $A_1 = 4,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, a força necessária é

$$F_1 = p_{1,\text{man}} A_1 = 433\,500 \cdot 4,0 \times 10^{-4} = 173,4 \text{ N}.$$

Sem o desnível, $F_{1,0} = 3400(4,0/80) = 170 \text{ N}$. A diferença é 3,4 N, ou $(3,4/170) \cdot 100 = 2,0\%$.

Resposta: a) 425 kPa; b) 433,5 kPa; c) 173,4 N, valor 2,0% maior que o obtido sem o desnível.