

# TCM - Lista de Exercícios 2

Propriedades da água ( $20^\circ C$ ):

$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$  e  $\mu = 0,001 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$ .

## Equação de Bernoulli

**Exercício 1.** Um tanque contendo água, fechado e pressurizado, como mostra a figura 1, tem um orifício de  $10 \text{ cm}$  de diâmetro na parte inferior, onde a água é descarregada para a atmosfera. O nível da água na superfície está  $2,5 \text{ m}$  acima do nível na saída. A pressão do ar do tanque acima do nível da água é de  $250 \text{ kPa}$  (absoluta) enquanto a pressão atmosférica é de  $100 \text{ kPa}$ . Desprezando todas as perdas, determine a vazão de descarga inicial da água do tanque. **Resposta:**  $\dot{V} = 0,147 \text{ m}^3/\text{s}$ .

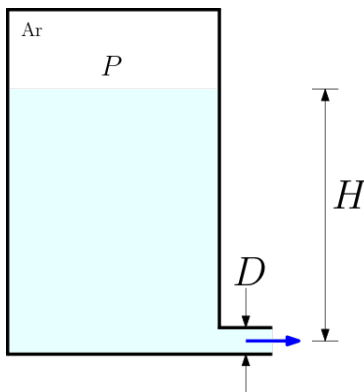


Figura 1: Tanque.

**Exercício 2.** Um tubo de Pitot como o da figura 2 é utilizado para medir as pressões estática e de estagnação (estática + dinâmica) em um tubo de água, como mostra a figura. Para as alturas das colunas de água indicadas, determine a velocidade no centro do tubo. **Resposta:**  $1,53 \text{ m/s}$ .

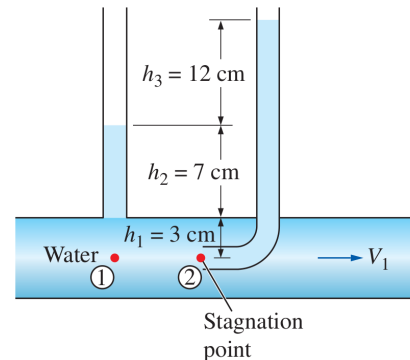


Figura 2: Pitot.

**Exercício 3.** Para o reservatório representado na figura 3, use a equação de Bernoulli para obter uma expressão para a distância  $X$ , que é a distância em que o jato livre de água irá alcançar na horizontal antes de tocar o chão. Para qual razão  $h/H$  essa distância  $X$  será máxima? **Respostas:**  $X = 2\sqrt{h(H-h)}$ ;  $X$  será máximo para  $h/H = 0,5$ .

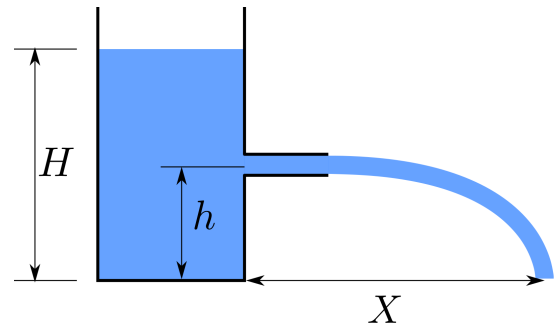


Figura 3: Reservatório.

**Exercício 4.** O tubo em U da figura 4 funciona como um sifão. O ponto mais alto deste tubo está a  $1 \text{ m}$  acima da superfície livre da água, e a saída situa-se a  $7 \text{ m}$  abaixo dessa superfície. Desprezando os efeitos viscosos, (a) determine a velocidade do jato livre e a pressão absoluta do fluido no ponto mais alto

do sifão. **Resposta:**  $11,7 \text{ m/s}$  e  $22,8 \text{ kPa}$ .

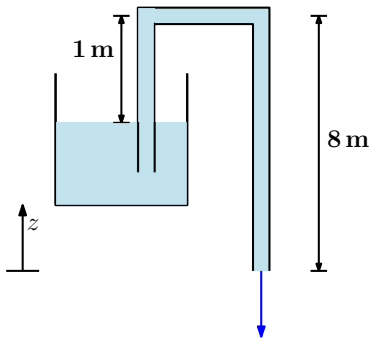


Figura 4: Sifão.

## Equação da Energia

**Exercício 5.** Um conjunto bomba-motor consome  $25 \text{ kW}$  de energia elétrica enquanto bombeia óleo ( $\rho = 860 \text{ kg/m}^3$ ) a uma vazão de  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Os diâmetros de entrada e saída do tubo são  $8 \text{ cm}$  e  $12 \text{ cm}$ , respectivamente (ver figura 5). Se a elevação da pressão do óleo na bomba for medida como  $250 \text{ kPa}$ , determine a potência de bomba necessária para manter o escoamento. **Resposta:**  $\dot{W}_{bomba} = 11,3 \text{ kW}$ .

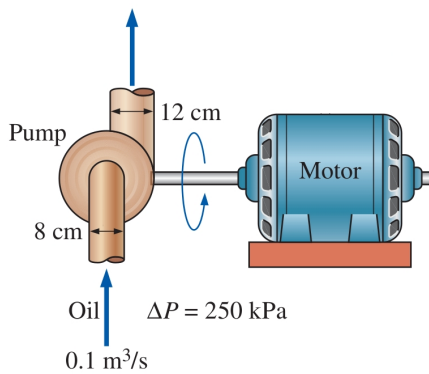


Figura 5: Bomba.

**Exercício 6.** Água entra em uma turbina hidráulica por meio de um tubo com  $30 \text{ cm}$  de diâmetro e uma vazão de  $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$  e sai através de um tubo com  $25 \text{ cm}$  de diâmetro,

como mostra a figura 6. A queda de pressão na turbina é medida por um manômetro de mercúrio, sendo de  $1,2 \text{ mHg}$ . Determine o trabalho de turbina neste caso. **Resposta:**  $\dot{W}_{turbina} = 72,6 \text{ kW}$ .

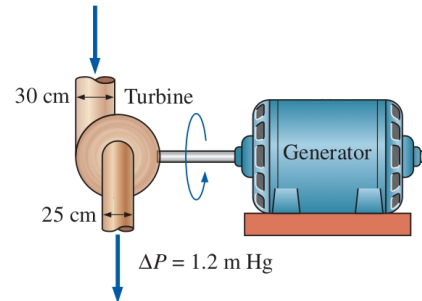


Figura 6: Turbina.

**Exercício 7.** O sistema bomba-turbina da figura 7 retira água do reservatório superior durante o dia para produzir energia elétrica para uma cidade. À noite, o sistema bombeia água do reservatório inferior para o superior para restaurar a situação. Para uma vazão de projeto de  $56,8 \text{ m}^3/\text{min}$  em ambas as direções, a perda de carga por atrito é de  $5,2 \text{ m}$ . Calcule a potência em  $\text{kW}$  (a) extraída pela turbina e (b) entregue pela bomba. **Respostas:** (a)  $\dot{W}_{turbina} = 3,06 \times 10^5 \text{ W}$ ; (b)  $\dot{W}_{bomba} = 4,02 \times 10^5 \text{ W}$ .

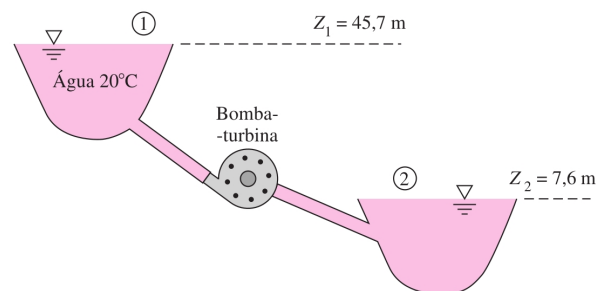


Figura 7: Bomba-turbina.

**Exercício 8.** Quando a bomba da figura 8 bombeia  $220 \text{ m}^3/\text{h}$  de água do reservatório,

a perda de carga total por atrito é de  $5\text{ m}$ . O escoamento descarrega através de um bocal para a atmosfera. Calcule a potência da bomba em  $kW$  entregue para a água. **Respostas:  $33,73\text{ kW}$ .**

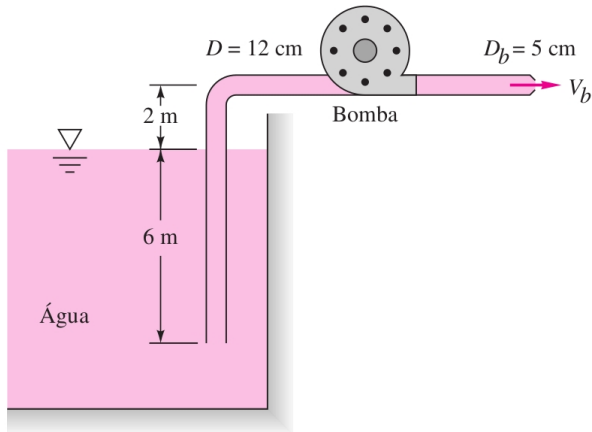


Figura 8: Bomba.

**Exercício 9.** Querosene a  $20^\circ\text{C}$  ( $\rho = 750\text{ kg/m}^3$ ) escoam através da bomba da figura 9 a  $65\text{ L/s}$ . As perdas de carga entre 1 e 2 são de  $2,4\text{ m}$  e a bomba entrega  $8\text{ hp}$  para o escoamento. Qual deve ser a leitura  $h$  do manômetro de mercúrio?

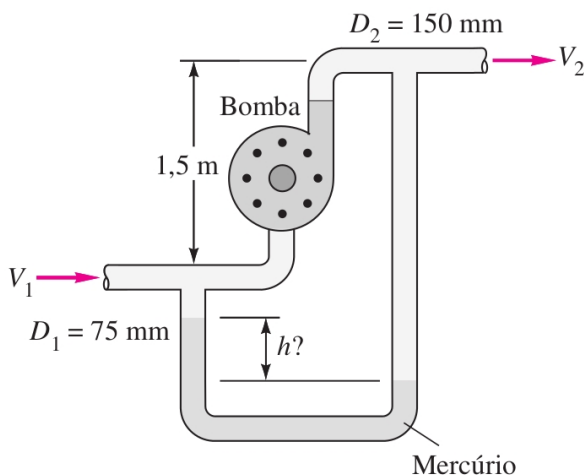


Figura 9: Bomba.

**Exercício 10.** No bocal da figura 10, o diâmetro de saída é de  $2\text{ cm}$ . Sabendo que

a eficiência da bomba é de  $80\%$ , e o fluido é água, calcule a potência necessária para que a altura no ponto mais alto do jato, A, seja a indicada. O ângulo entre o bocal e a horizontal é de  $30^\circ$ . **Resposta:  $10,67\text{ kW}$ .**

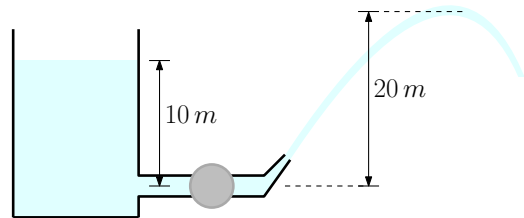


Figura 10: Bocal.

## Equação do Momento

**Exercício 11.** Água escoam em regime permanente através do cotovelo de  $90^\circ$  mostrado na figura 11. Na entrada do cotovelo, em 1, a pressão manométrica é  $120\text{ kPa}$  e a área da seção transversal é  $0,01\text{ m}^2$ . Na saída, a área da seção transversal é  $0,0025\text{ m}^2$  e a velocidade média é  $16\text{ m/s}$ . O cotovelo descarrega para a atmosfera. Determine a força necessária para manter o cotovelo no lugar. **Resposta:  $\vec{F} = (-1,36\hat{i} - 0,64\hat{j})\text{ kN}$ .**

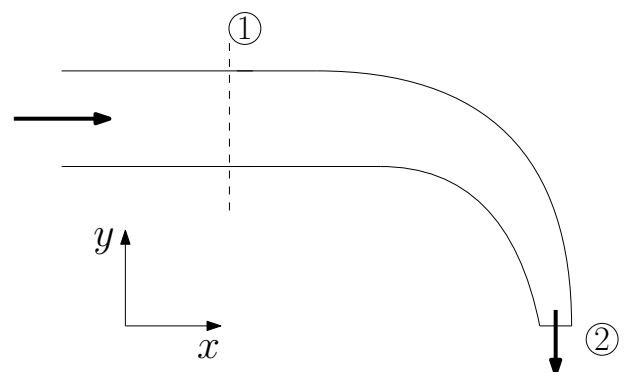


Figura 11: Cotovelo.

**Exercício 12.** Água escoam em regime permanente através do cotovelo de  $180^\circ$  mos-

trado na figura 12. Na entrada do cotovelo, em 1, a pressão manométrica é  $120 \text{ kPa}$  e a área da seção transversal é  $0,01 \text{ m}^2$ . Na saída, a área da seção transversal é  $0,0025 \text{ m}^2$  e a velocidade média é  $16 \text{ m/s}$ . O cotovelo descarrega para a atmosfera. Determine a força necessária para manter o cotovelo no lugar. **Resposta:**  $\vec{F} = (-2, 0\hat{i} + 0\hat{j}) \text{ kN}$ .

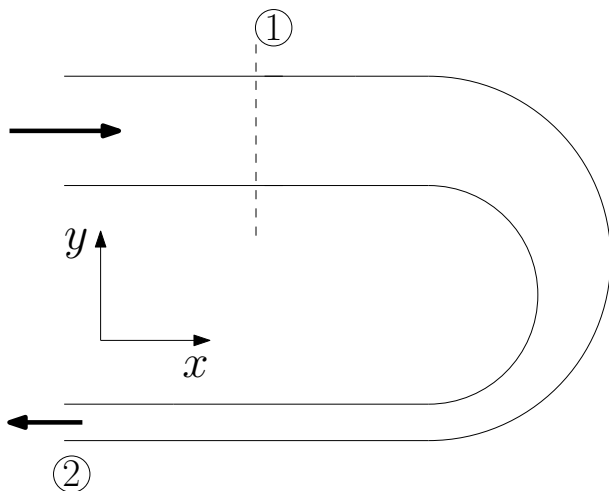


Figura 12: Cotovelo.

**Exercício 13.** Para a seção de redução do escoamento em um tubo (figura 13),  $D_1 = 8 \text{ cm}$ ,  $D_2 = 5 \text{ cm}$  e  $p_2 = 1 \text{ atm}$ . Se  $V_1 = 5 \text{ m/s}$  e a leitura do manômetro é  $h = 58 \text{ cm}$ , estime a força total resistida pelos parafusos da flange. **Resposta:**  $163 \text{ N}$ .

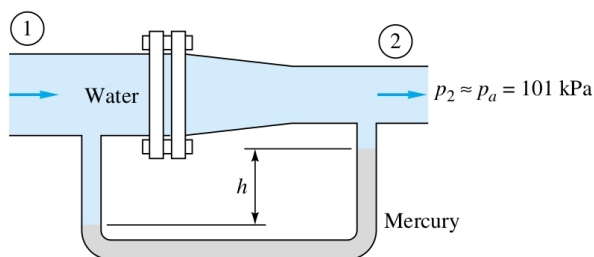


Figura 13: Escoamento em tubo.

**Exercício 14.** Água de um bocal estacionário é dirigida normalmente contra uma placa plana, como mostra a figura 14. O

escoamento subsequente é paralelo à placa. Determine a força horizontal sobre placa. Dados:  $V = 13 \text{ m/s}$ ; área de saída do bocal:  $0,005 \text{ m}^2$ . **Resposta:**  $F = 845 \text{ N}$ .

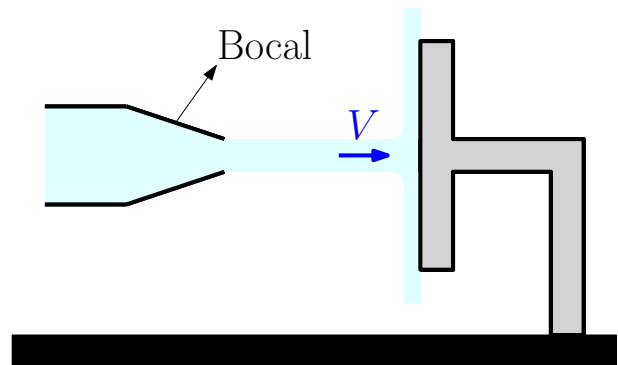


Figura 14: Placa.

**Exercício 15.** Um carro com uma superfície curva sobre ele é atingido por um jato de água, com velocidade  $V = 12 \text{ m/s}$  e área de fluxo de  $0,03 \text{ m}^2$ , como mostra a figura 15. O carro está parado. Sabendo que  $M = 300 \text{ kg}$ , determine o ângulo  $\theta$  que a superfície faz com a horizontal na saída da água. **Resposta:**  $\theta = 71,4^\circ$ .

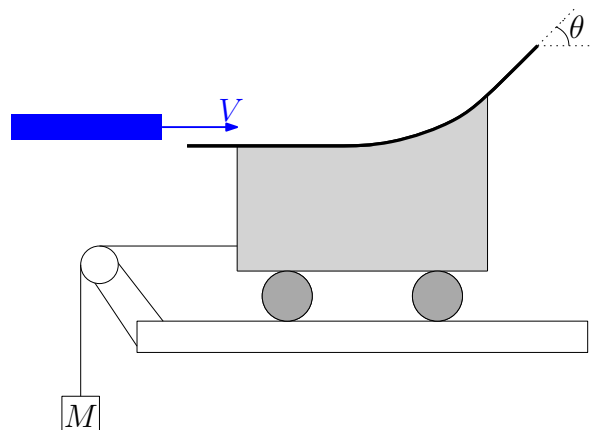


Figura 15: Carro.

## Análise Dimensional

**Exercício 16.** Uma camada limite é uma região fina (geralmente ao longo de uma parede) na qual as forças viscosas são significativas e dentro da qual o fluxo é rotacional. Considere uma camada limite que cresce ao longo de uma placa plana fina (figura 16). O fluxo é estacionário. A espessura da camada limite  $\delta$  em qualquer distância a jusante  $x$  é uma função de  $x$ , velocidade de corrente livre  $V$ , e propriedades do fluido  $\rho$  (densidade) e  $\mu$  (viscosidade). Use o método de variáveis repetitivas para gerar uma relação adimensional para  $\delta$  como uma função dos outros parâmetros.

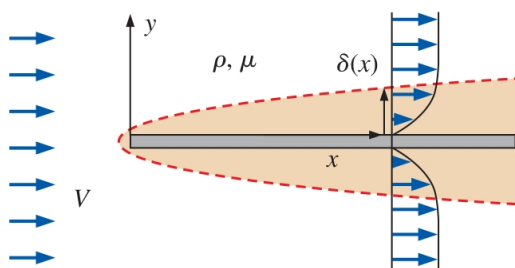


Figura 16: Camada limite.

**Exercício 17.** Gás escoar através de um furo em uma tubulação. A vazão deve ser expressa em termos das variáveis importantes do problema, quais sejam, a diferença de pressões  $\Delta P$ , a viscosidade cinemática  $\nu$ , a densidade  $\rho$  e o raio do furo,  $r$ . Mostre que

$$\frac{Q}{r^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}} = f\left(\frac{r}{\nu} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}\right).$$

**Exercício 18.** Quando um fluido entra em um tubo e é acelerado linearmente a partir do repouso, ele começa a escoar como um escoamento laminar e em seguida sofre uma transição para a turbulência em um instante  $t_{tr}$ , que depende do diâmetro  $D$  do tubo, da aceleração  $a$  do fluido, da densidade  $\rho$  e viscosidade  $\mu$ . Arranje esses termos em uma

relação adimensional entre  $t_{tr}$  e  $D$ . **Resposta:**  
 $t_{tr} \left(\frac{\rho a^2}{\mu}\right)^{1/3} = f\left(D \left(\frac{\rho^2 a}{\mu^2}\right)^{1/3}\right)$

## Escoamento em Tubo

**Exercício 19.** Óleo ( $\rho = 900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  e  $\mu = 0,01 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) escoar a  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  através de um tubo de ferro fundido novo ( $\epsilon = 0,26 \text{ mm}$ ) de  $200 \text{ m}$  de comprimento e  $200 \text{ mm}$  de diâmetro. Determine (a) a queda de pressão  $\Delta P_L$  ao longo do tubo, (b) a perda de carga  $h_L$  e (c) a diferença de pressão entre a entrada e a saída, se o tubo tem um ângulo de aclive de  $15^\circ$  no sentido do escoamento. **Respostas:** (a)  $\Delta P_L = 110 \text{ kPa}$ ; (b)  $h_L = \Delta P_L/(\rho g) = 12,5 \text{ m}$ ; (c)  $\Delta P = P_1 - P_2 = 567 \text{ kPa}$ .

**Exercício 20.** Água escoar em regime permanente em um tubo horizontal de  $30 \text{ m}$  de comprimento e  $5 \text{ cm}$  de diâmetro feito de aço inoxidável ( $\epsilon = 0,002 \text{ mm}$ ) a uma vazão de  $9 \text{ L/s}$  (figura 17). Determine (a) a queda de pressão ao longo do tubo e (b) a perda de carga. **Resposta:**  $h_L = 10,1 \text{ m}$ .

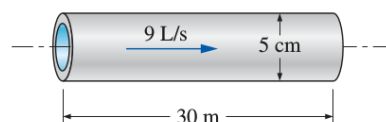


Figura 17: Tubo.

**Exercício 21.** Qual nível  $h$  deve ser mantido no tanque de água, representado na figura 18, para fornecer uma vazão de  $0,425 \text{ L/s}$  pelo tubo de aço comercial ( $\epsilon = 0,045 \text{ mm}$ ) de  $13 \text{ mm}$  de diâmetro e  $24,4 \text{ m}$  de comprimento? **Resposta:**  $h \approx 22,1 \text{ m}$ .

**Exercício 22.** O escoamento no tubo da fi-

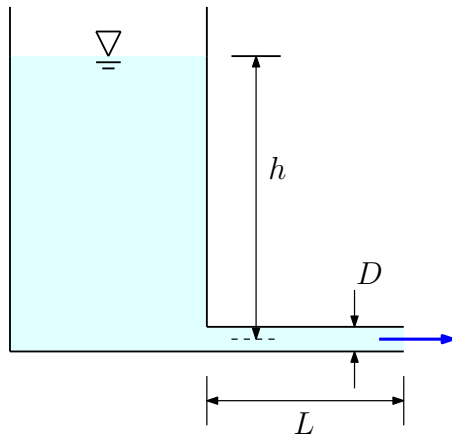


Figura 18: Tanque.

Figura 19 é produzido pelo ar pressurizado no reservatório. Que pressão  $P_1$  manométrica é necessária para fornecer uma vazão  $\dot{V} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$  de água? Resposta:  $P_1 \approx 2,4 \text{ MPa}$ .

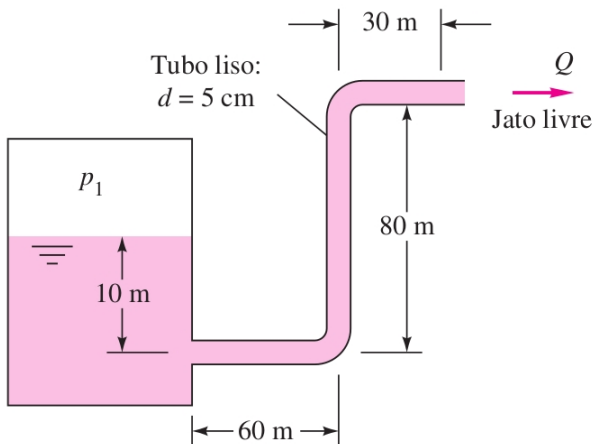


Figura 19: Reservatório.

**Exercício 23.** Água deve ser bombeada por um tubo de  $610 \text{ m}$  do reservatório 1 para o reservatório 2 a uma taxa de  $85 \text{ L/s}$ , como mostra a figura 20. Se o tubo é de ferro fundido ( $\epsilon = 0,25 \text{ mm}$ ) de  $150 \text{ mm}$  de diâmetro, qual é a potência necessária, em  $\text{kW}$ , para a bomba? Resposta:  $\dot{W}_{\text{bomba}} = 118856 \text{ W}$ .

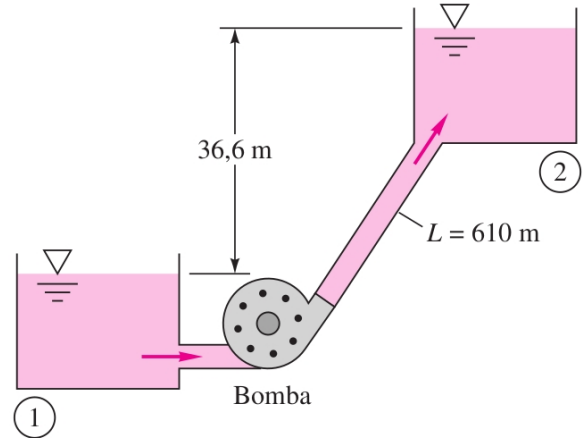


Figura 20: Reservatórios.