

Lista de exercícios de Fenômenos de Transporte I – 1ª parte  
2º semestre de 2004  
turma 3E  
Profa. Dra. Míriam Tvrzská de Gouvêa

*Exercícios do capítulo 1 de White*

exercício	resposta	exercício	resposta
P1.47	795N	P1.72	4800 m
P1.48	$\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} + \frac{\mu_2 V}{h_2}\right) A$ ; não	P1.75	8660m
P1.52	$\mu V^2 b \frac{L}{h}$ ; 73W	P1.76	7500m
P1.59	$V = \frac{\rho_s g D (D_o - D)}{8\mu}$ ; 0.265m/s		

*Exercícios do capítulo 2 de White*

exercício	resposta	exercício	resposta
P2.11	2.73 m/ 1.93 m	P2.36	25°
P2.16	21526 cm <sup>3</sup> /137300 Pa	P2.39	1.08N
P2.17	1838 lbf/ft <sup>2</sup> / 2212 lbf/ft <sup>2</sup> / 2087 lbf/ft <sup>2</sup>	P2.40	21.3 cm
P2.21	6.49 m/ 251kPa	P2.44	171 lbf/ft <sup>2</sup> ; o manômetro mede a perda por atrito de 392lbf/ft <sup>2</sup> ; a carga gravitacional é de 221 lbf/ft <sup>2</sup> .
P2.33	24.8 psi	P2.46	densidade relativa à água a 20°C de 1.45
P2.35	26100 Pa		

*Exercícios do capítulo 3 de White*

exercício	resposta	exercício	resposta
P3.12	0.0121; 9.6 (SI)	P3.53	$(P_1 - P_2)\pi R^2 - \frac{1}{3}\rho\pi R^2 U_o^2$ $(P_1 - P_2)\pi R^2 - 0.02\rho\pi R^2 U_o^2$
P3.15	$\frac{49}{60}$	P3.54	163N
P3.16	$\frac{3}{8}u_o b\delta$	P3.60	2100N

<b>P3.17</b>	12 cm/s	<b>P3.67</b>	2600W
<b>P3.19</b>	135 N/h (para fora)	<b>P3.68</b>	$\rho_e A_e v_e^2 + (P_e - P_a) A_e$
<b>P3.20</b>	7.8ml/s; 1.24 cm/s	<b>P3.77</b>	14900N
<b>P3.21</b>	0.82 kg/h	<b>P3.130</b>	33.7kW
<b>P3.23</b>	0.83 in/s; 0.91 in/s	<b>P3.135</b>	410 hp/540hp
<b>P3.24</b>	$\sqrt[3]{\frac{3}{8} K t^2 d^2 \cot^2 \theta}$	<b>P3.136</b>	5.6m <sup>3</sup> /h
<b>P3.28</b>	$t = \frac{\pi \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) \sqrt{h_o}}{2CA\sqrt{2g}}$	<b>P3.137</b>	97hp
<b>P3.31</b>	$-\rho b L^2 \sec^2 \theta \frac{d\theta}{dt}$	<b>P3.140</b> <sup>(1)</sup>	1640 hp
<b>P3.32</b>	6.06 m/s	<b>P3.149</b>	10.3 kg/s; 760000Pa
<b>P3.33</b>	3.58 m/s; 31.2 m/s; 4.13 m/s	<b>P3.157</b>	a) 0.495 ft <sup>3</sup> /s; b) 12.3ft <sup>3</sup> /s
<b>P3.34</b>	4660 ft/s	<b>P3.158</b>	169400Pa; 209 m <sup>3</sup> /h
<b>P3.35</b>	11.8 kg/s	<b>P3.164</b>	5.25 kg/s; 0.91m
<b>P3.36</b>	6.33 (SI)	<b>P3.165</b>	$Q = \frac{A_2 \sqrt{2gh(\rho_M - \rho)/\rho}}{\sqrt{1 - (D_2/D_1)^4}}$
<b>P3.40</b>	500N	<b>P3.167</b>	104000Pa
<b>P3.41</b>	$\sqrt{\frac{F_o}{2\rho_o \frac{\pi}{4} D_o^2}}$	<b>P3.168</b>	1.08ft
<b>P3.43</b>	750N; 14 N	<b>P3.169</b>	$v_2 = \sqrt{2gH}$
<b>P3.49</b>	1700 lbf	<b>P3.170</b>	1.76m

(1) Usar o BE. Como a solução do problema se modificaria caso existisse perda de carga?

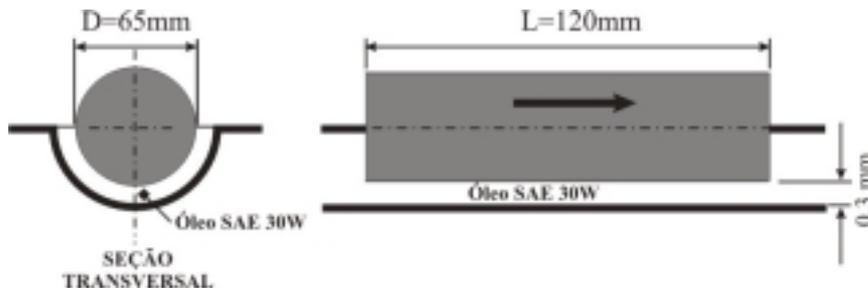
### Exercícios do capítulo 6 de White

exercício	resposta	exercício	resposta
<b>P6.2</b>	0.14m	<b>P6.89</b>	0.0065 kg/ms
<b>P6.4</b>	3.9m <sup>3</sup> /h; 1.3m <sup>3</sup> /h	<b>P6.96</b>	0.531m
<b>P6.6</b>	L,L,T,T,T,L	<b>P6.76</b>	15 m <sup>3</sup> /h
<b>P6.18</b>	122Pa; 0.54m <sup>3</sup> /s;542kPa	<b>P6.105</b>	3.46Mpa
<b>P6.19</b>	0.292kg/ms	<b>P6.106</b>	819psf; 0.0296ft <sup>3</sup> /s
<b>P6.20</b>	0.204m; 9980Pa/m;19800Pa/m	<b>P6.113</b>	0.013m <sup>3</sup> /s; 2.16MPa

## Exercícios complementares

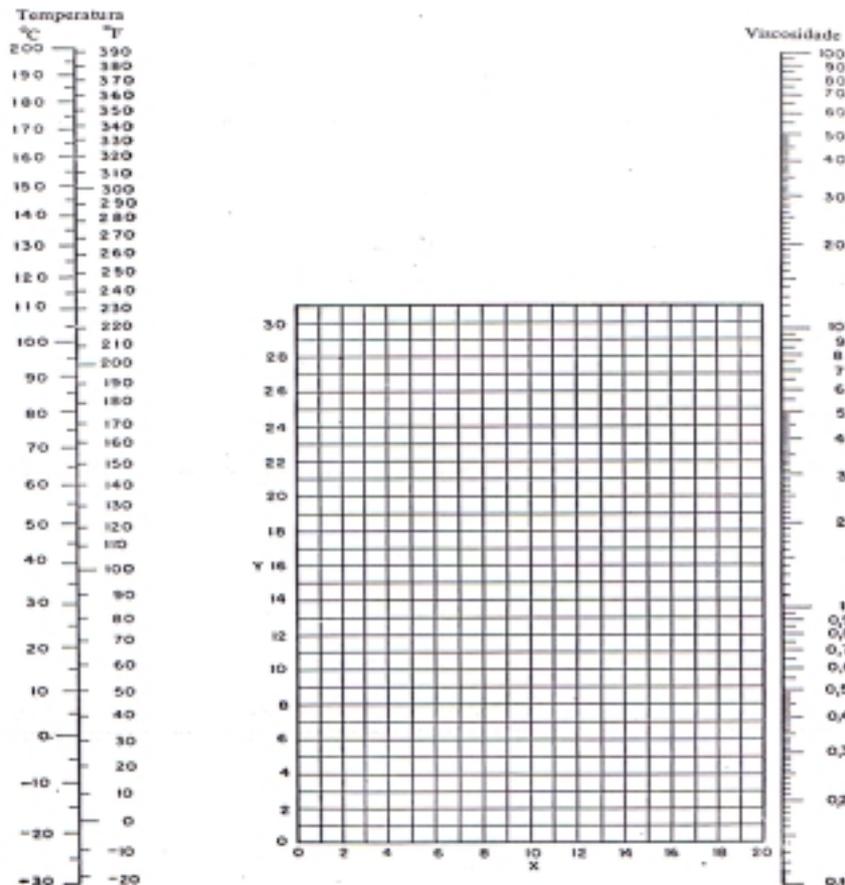
### Exercício 01: (prova P2 – turma 3E – 1º semestre de 2003)

Uma lata cilíndrica é puxada por um cabo através de um canal conforme a figura. A lata atinge uma velocidade constante de 1 m/s. Sabendo que o diâmetro da lata é  $D = 65$  mm e comprimento  $L = 120$  mm, e que existe uma fina camada de óleo SAE 30 W a  $20^\circ\text{C}$  de 0.3 mm de espessura entre a lata e o canal, calcule a força necessária para manter o movimento.



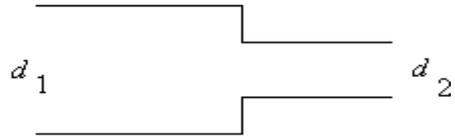
### Exercício 02: (prova de FT-I da turma 4C do 1º semestre de 2002)

O diagrama a seguir serve para calcular a viscosidade do n-hexano a  $50^\circ\text{C}$  ou a  $80^\circ\text{C}$ ? Justifique. **São dados:** Temperatura normal de ebulição do n-hexano:  $68,7^\circ\text{C}$ ; Coordenadas do n-hexano no diagrama: abscissa: 14.7; ordenada: 7.0



### Exercício 03:

Qual a relação entre as vazões volumétricas e as velocidades médias na entrada e na saída de uma contração brusca de seção de área quadrada por onde escoa um fluido incompressível, isotérmico em regime permanente?



### Exercício 04: (adaptado de Geankoplis, ex. 2.6-2 p.106)

Um hidrocarboneto líquido entra por uma tubulação que está sendo aquecida com uma velocidade média de 1.282 m/s e densidade 902 (SI). A seção transversal do conduíte na entrada da tubulação mede 0.00433 m<sup>2</sup>. Na saída da tubulação a densidade do líquido é avaliada em 875 (SI) e a seção transversal do tubo vale 0.00526 m<sup>2</sup>. O processo se dá em regime permanente. Pede-se:

- a-) a vazão mássica na entrada e saída da tubulação
- b-) a velocidade média na saída da tubulação e o fluxo mássico na entrada da tubulação.

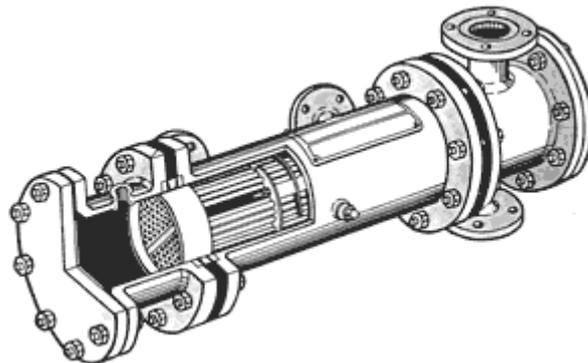
**resp.:** 5.007 kg/s; 1.088 m/s; 1156 kg/m<sup>2</sup>s

### Exercício 05: (simplificado de Bennett, ex. 3-5 p.33)

Vapor de água entra em uma seção de um tubo de aço de 3 polegadas de diâmetro nominal (SCH 40) com uma pressão absoluta de 14 kgf/cm<sup>2</sup>, uma temperatura de 315.5°C e uma velocidade no seio do fluido de 3.0m/s. Em um ponto da corrente distante da entrada a pressão é de 10 kgf/cm<sup>2</sup> e a temperatura 315.0°C. Qual é a velocidade neste ponto? Considerar o escoamento em estado estacionário.

### Exercício 06:

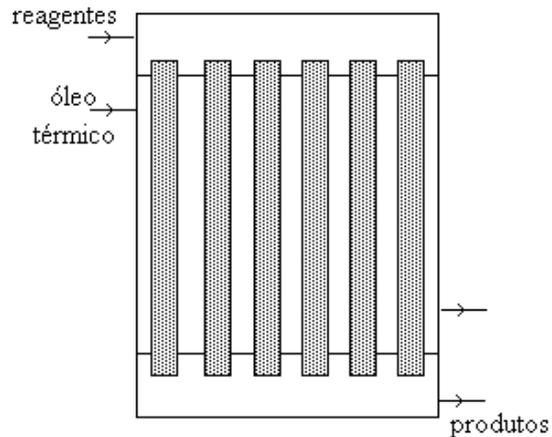
Existem equipamentos que consistem de um casco (tubo de diâmetro grande), em cujo interior se encontram tubos menores, como mostrado na figura a seguir:



No interior destes tubos circula um fluido e externamente a eles no interior do casco circula outro fluido. É o caso do reator indicado na figura a seguir, em que pelo casco circula um óleo usado para a refrigeração dos tubos, em cujo interior circulam reagentes. Diversos reatores industriais tem uma configuração semelhante a essa, como os reatores em que se produz amônia a partir do nitrogênio e hidrogênio (a propositura da configuração do reator de amônia no início do século XX foi merecedora de um prêmio Nobel e revolucionou a indústria química)

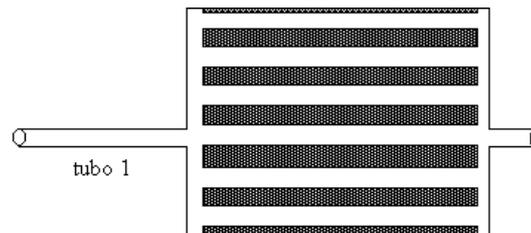
ou em que se produz óxido de eteno, substância que serve de matéria prima para inúmeros produtos consumidos no dia a dia.

Conhecendo-se a velocidade do tubo de alimentação do casco de 2 cm de diâmetro, a saber 2m/s, qual a vazão volumétrica e velocidade média da corrente que escoar pelo casco de 20 cm, sabendo-se que em seu interior existem 10 tubos de 1 cm de diâmetro externo? Considere que o fluido que escoar pelo casco seja incompressível, sem variação na composição e que o escoamento seja isotérmico.



**Exercício 07 (prova final da turma 3E do 2º semestre de 2001):**

A figura a seguir ilustra um equipamento bastante encontrado nas indústrias químicas, em que um fluido entra pelo tubo 1 e a sua vazão é dividida ao longo de inúmeros tubos de diâmetros menores. Assumindo que os 200 tubos internos do equipamento sejam idênticos e de diâmetro 0.5cm e que o tubo 1 tenha 10cm de diâmetro, pede-se calcular a velocidade de escoamento em cada tubo, sabendo-se que a velocidade de escoamento do fluido no tubo 1 é constante e seu valor é de 1 m/s.



**Exercício 08 (exemplo 4.3 de Fox, 2001)**

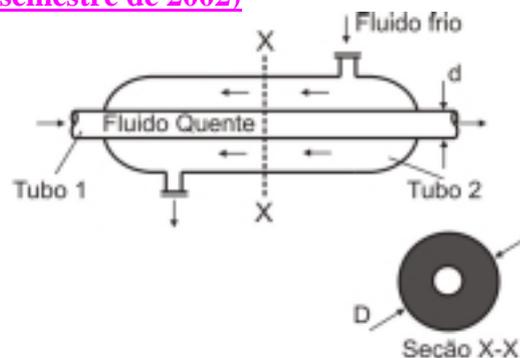
Um tanque de 0.05 m<sup>3</sup> contém ar a 800kPa e 15°C. No instante inicial ar escapa do tanque através de uma válvula de escoamento de 65 mm<sup>2</sup>. O ar que passa pela válvula tem uma velocidade de 311 m/s e uma massa específica de 6.13 kg/m<sup>3</sup>. As propriedades no resto do tanque podem ser consideradas uniformes a cada instante. Determine a taxa instantânea de variação da massa específica do ar no tanque em t=0s. (resp: -2.48 kg/(m<sup>3</sup>s))

**Exercício 09 (prova final da turma 3D do 1º semestre de 2002)**

Para resfriar um fluido foi desenvolvido um trocador de calor bem simples, conforme desenho. Supondo que as variações de temperatura sejam baixas, determine o diâmetro do tubo (1) para que a velocidade média do fluido frio na seção x-x seja de **3 m/s**.

Dados: fluxo de massa do fluido frio: **4,409 kg/s** e diâmetro do tubo (2): **D = 5 cm**.

Densidade do fluido frio: **998 kg/m<sup>3</sup>**.



Esquema sem escala

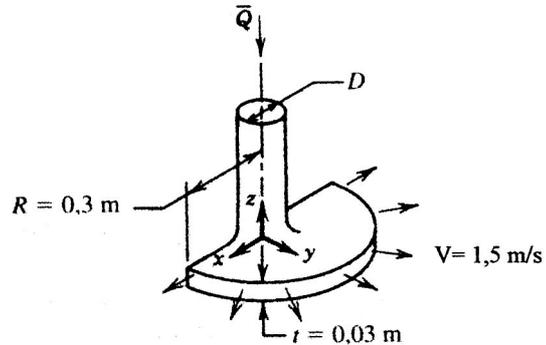
**Exercício 10 (prova final da turma 4C do 2º semestre de 2002)**

O bocal mostrado descarrega uma lâmina de água por um arco de 180°. A velocidade de água é 1.5 m/s e a espessura do jato é de 30mm, numa distância radial de 0.3m, a partir da linha de centro do duto de suprimento. Determine:

(a) a vazão em volume de água no jato de lâmina

(b) a velocidade no duto de alimentação

Dado: diâmetro do duto de alimentação:  
30 cm.



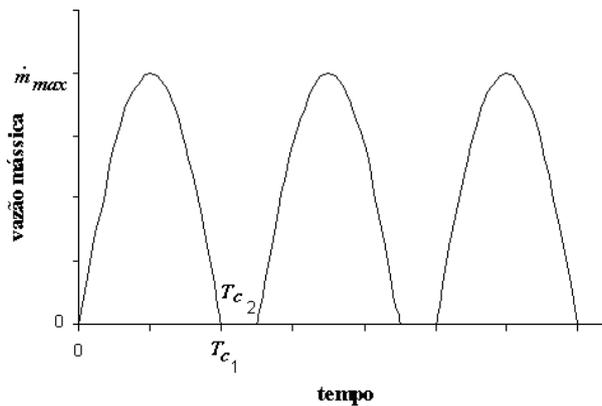
resp.: 42.41 l/s; 0.6 m/s

**Exercício 11 (adaptado dos exercícios 23, p. 63 de Roma e da lista de exercícios da disciplina de FT da FEM/DEP/UNICAMP)**

Para inflar pneus usa-se uma bomba de pistão, em que se desloca um êmbolo para encher a câmara da bomba de ar atmosférico e em seguida aperta-se o êmbolo de modo a impulsionar o ar para o pneu. Assim, a vazão de ar injeta no pneu é cíclica, como pode ser visto na figura a seguir, em que  $T_{c_1}$  representa o tempo de injeção no pneu e  $T_{c_2}$  o tempo para encher a câmara de ar atmosférico. A vazão mássica instantânea pode ser

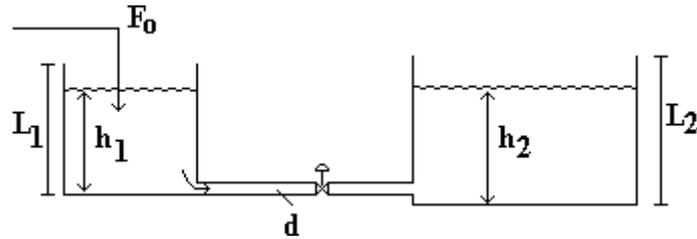
modelada segundo a equação:  $\dot{m} = \dot{m}_{\max} \sin\left(\frac{\pi t}{T_{c_1}}\right)$ . Pede-se determinar a vazão mássica

média injetada no período  $T_{c_1} + T_{c_2}$  e a quantidade de massa injetada nesse período.



**Exercício 12:**

A figura a seguir mostra dois tanques cilíndricos abertos de estocagem de água à temperatura ambiente de diâmetros  $D_1$  e  $D_2$ . No primeiro tanque entra uma corrente de água com uma vazão volumétrica  $F_0$  e sai uma corrente por um tubo de diâmetro interno  $d$  com vazão volumétrica  $F_1$ .



Pede-se:

- Montar o modelo que descreve a variação das alturas de água nos tanques 1 e 2,  $h_1$  e  $h_2$  em função das vazões  $F_0$  e  $F_1$  e dos diâmetros  $D_1$  e  $D_2$ .
- Se a vazão  $F_1$  for mantida constante pela atuação na válvula na tubulação, se os tanques inicialmente encontram-se vazios, por quanto tempo a vazão  $F_0$  pode ser alimentada no tanque a uma taxa constante até que a altura de água no tanque 2 atinja 80% da altura física deste tanque ( $L_2$ )? Como a altura de água nos tanques se comporta em função do tempo?
- Suponha agora que a taxa  $F_1$  não seja mantida constante e que a velocidade média de escoamento pelo tubo seja dada por  $v = k\sqrt{h_1 - h_2}$ . Complete o modelo desenvolvido no item a-) e discuta como o tempo de enchimento dos tanques poderia ser obtido. Discuta também como seria o comportamento das alturas de água nos tanques para esta nova situação.

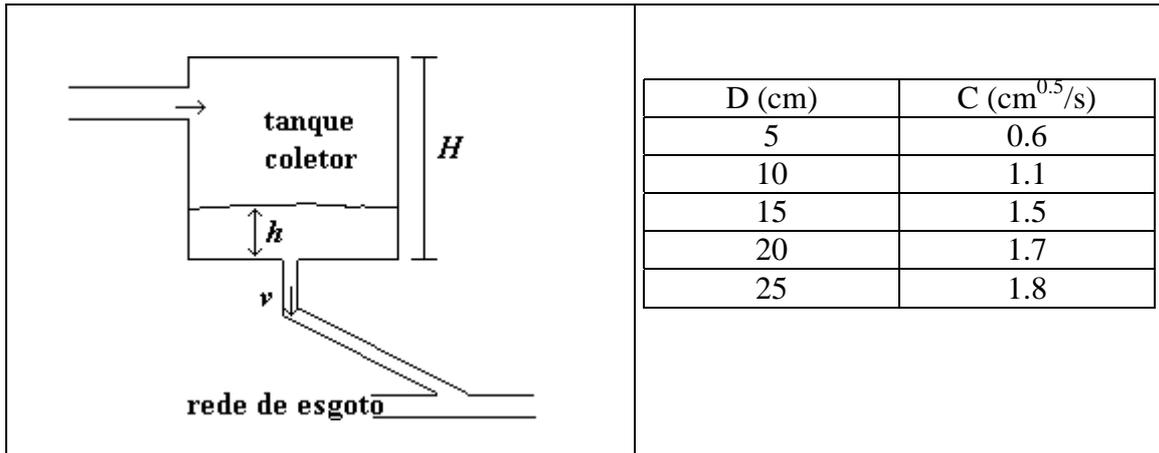
**Exercício 13 (adaptado de Exercícios da lista de exercícios da disciplina de FT da FEM/UNICAMP)**

Um gerador de vapor consiste de um tanque que é alimentado com água líquida a qual é aquecida até à ebulição, saindo do tanque na forma vapor. Se um gerador é alimentado com água a  $25^\circ\text{C}$  com uma vazão de 20l/h e opera em regime permanente a uma temperatura de  $120^\circ\text{C}$ , pede-se:

- determinar a pressão de operação do gerador
- determinar a velocidade média do vapor de água que sai por uma tubulação de 4cm de diâmetro interno.

**Exercício 14 (adaptado de Exercícios da lista de exercícios da disciplina de FT da FEM/UNICAMP)**

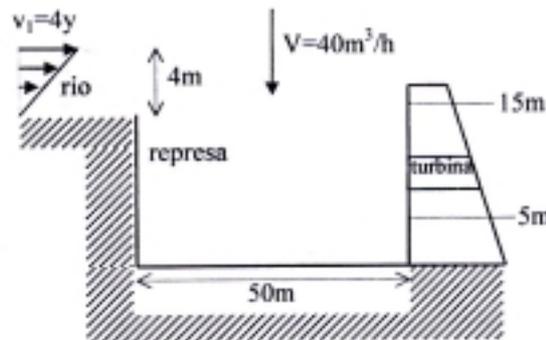
No sistema de esgoto residencial esquematizado na figura a seguir, tem-se um tanque coletor do esgoto residencial, ao qual acopla-se um duto de diâmetro  $D$  que leva o esgoto para a rede de esgoto da rua. A velocidade de líquido por este duto é dada por  $v = C\sqrt{h + h_o}$ , sendo  $C$  dado conforme a tabela a seguir e  $h_o = 1\text{m}$ , sendo  $h_o$  a altura do coletor em relação à rede de esgoto. Pede-se selecionar o menor duto que garanta que para a máxima taxa de esgoto proveniente da residência o nível no tanque coletor não ultrapasse metade de sua altura de  $H = 20\text{cm}$ . Admita para a máxima vazão de esgoto o valor de 12 (l/min).



**Exercício 15 (adaptado de Exercícios da lista de exercícios da disciplina de FT da FEM/UNICAMP)**

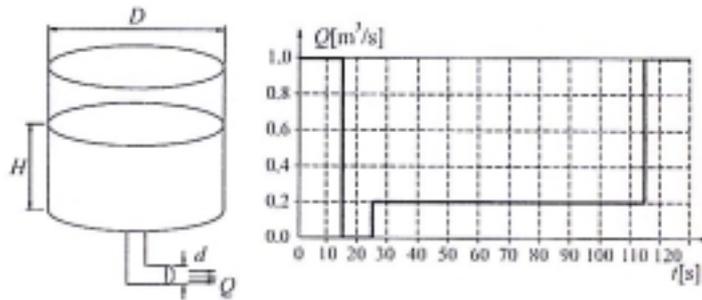
A represa da figura abaixo de 40m × 50m que alimenta uma usina hidrelétrica é alimentada por um rio de largura de 5m e 4m de profundidade. O perfil de velocidades da água no rio é dado por  $v_1=4y$  (m/h). Sabendo que a vazão média de chuvas seja 40m<sup>3</sup>/h e que as turbinas só podem ser ligadas quando o nível de água da represa atingir 15m e que no instante de tempo  $t=0$  o nível de água na represa esteja em 5m, pede-se:

- a-) em que instante a partir do tempo  $t=0$  a turbina poderá ser ligada?
- b-) qual a vazão que deve ser mantida nas turbinas para que o nível médio de água na represa permaneça em 15m.
- c-) qual é a vazão média nas turbinas para que em 100h o nível caia de 15 para 10m?



**Exercício 16 (adaptado do Exercício 26 de Roma, p. 63)**

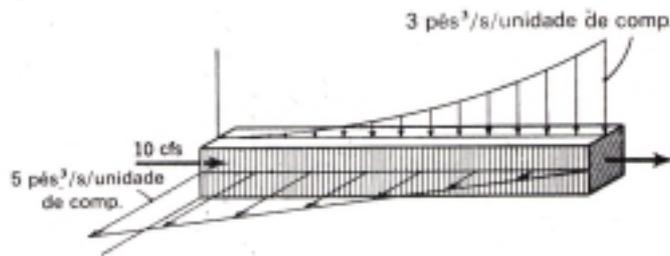
Tem-se um reservatório de água sendo esvaziado através de um orifício a uma vazão  $Q$ , variável no tempo conforme o gráfico a seguir. Determine como o nível de água no tanque irá variar com o tempo. A altura de água inicial no tanque é de 3m, o diâmetro do tanque é de 4.37m e o da tubulação de descarga de 0.564m.



**Exercício 17 (adaptado dos Exercício5-3 e 5-4 de Shames, 1973, p. 83)**

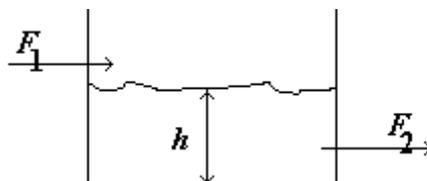
Água com uma vazão de  $10 \text{ ft}^3/\text{s}$  entra num duto retangular, como mostrado na figura a seguir. Duas das faces do duto são porosas. Na face superior, adiciona-se água com a vazão dada de acordo com a curva parabólica, enquanto na face frontal sai água numa distribuição linear, de acordo com a figura. Os valores máximos de ambas as vazões indicadas nas figuras são  $3 \text{ (ft}^3/\text{s)}$  por unidade de comprimento do duto e  $5 \text{ (ft}^3/\text{s)}$  por unidade de comprimento do duto. Sabendo-se que o duto tem  $1 \text{ ft}$  de comprimento e seção transversal de  $0.1 \text{ ft}^2$ , pede-se:

- a-) a velocidade média de saída do duto
- b-) determinar a posição do duto em que a velocidade média de escoamento assume o máximo valor.



**Exercício 18 (prova da turma 3E do 2º semestre de 2002)**

Considere o tanque aberto à atmosfera a seguir em que se armazena água à temperatura ambiente.



O tanque é cilíndrico de diâmetro interno  $d_T$ . No desenho  $F_1$  e  $F_2$  simbolizam as vazões volumétricas das correntes de alimentação e retirada de água, respectivamente. O nível de água é representado pela altura de líquido  $h$ . O duto de entrada tem seção transversal retangular constante de lados  $a$  e  $b$ . O duto de saída é circular. Resolva as questões a seguir:

- a) Um aluno após ter estudado as leis de conservação de quantidade de movimento ficou muito entusiasmado com os assuntos e deduziu a seguinte expressão para calcular a vazão volumétrica de saída pelo tanque:

$$F = \alpha \sqrt{h} \quad (1)$$

sendo que para  $\alpha$  o aluno atribuiu um valor numérico.

A equação proposta pelo aluno é dimensionalmente homogênea?

- b) Escreva uma equação que relacione a vazão mássica de entrada pelo tanque com as dimensões do duto de entrada, com a densidade do fluido escoando e com a velocidade média de escoamento pelo duto de entrada.
- c) O aluno citado no item a) continuou os seus estudos do tanque e propôs a seguinte equação para descrever o comportamento da altura:

$$\frac{d_T^2}{4} \frac{d}{dt} \rho h = \rho_1 F_1 - \frac{d_p^2}{4} \rho v_2 \quad (2)$$

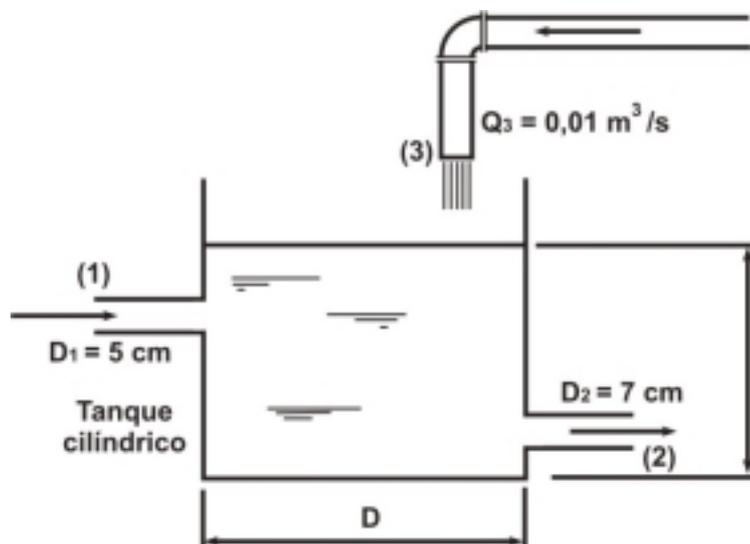
Pede-se:

- c.1. O que representa a equação (2)?
- c.2. A equação (2) está correta? Justifique.
- c.3. O que representam  $d_p$ ,  $v_2$ ?
- c.4. A equação (2) pode ser usada para representar um processo em regime estacionário? E um processo em regime dinâmico? Por quê?
- c.5. Qual a unidade de  $F_1$  no SI?
- c.6. Para o tanque do enunciado é possível simplificar ainda mais a equação (2)?

**Exercício 19 (PAF da turma 3E do 1º semestre de 2003 – Exercício 3.14 do White)**

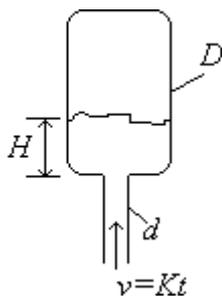
O tanque aberto da figura contém água e está sendo abastecido pelos dutos de seção 1 e 3. Pede-se:

- a-) Deduza uma expressão analítica para a taxa de variação do nível da água,  $dh/dt$ , em termos **das vazões volumétricas** nas seções (1), (2) e (3) e do diâmetro do tanque (cilíndrico)  $D$ , arbitrário.
- b-) Se o nível  $h$  de água for constante, determine a velocidade na seção (2), supondo velocidade na seção (1) igual a 3 m/s e vazão em volume na seção (3) de 0,01 m<sup>3</sup>/s.



**Exercício 20 (PAF da turma 3E do 2º semestre de 2003)**

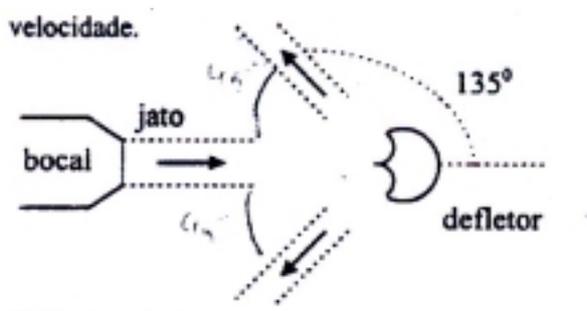
Um tanque cilíndrico inicialmente vazio deve ser enchido com um fluido incompressível e isotérmico. Para tanto introduz-se pelo fundo do tanque uma alimentação por meio de uma tubulação de diâmetro  $d$  na forma de uma perturbação do tipo rampa, a qual pode ser modelada segundo a seguinte equação  $v=Kt$ , onde  $v$  e a velocidade média de escoamento,  $t$  é o tempo e  $K$  uma constante. Sabendo-se que o diâmetro do tanque é  $D$ , obtenha uma expressão analítica para o tempo que levará até o nível de fluido no tanque atingir o valor  $H$ .



**Exercício 21 (adaptado da lista da FEM/UNICAMP)**

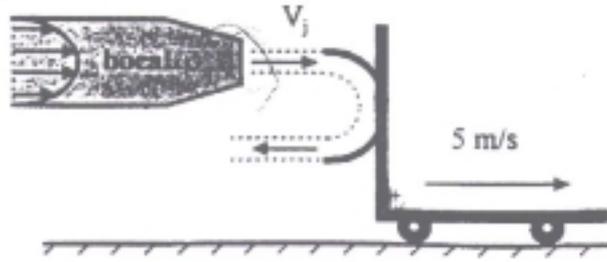
Um jato de água incide a 35m/s sobre um defletor estacionário, conforme a figura. A área da seção do jato é  $4\text{cm}^2$ . O defletor desvia a trajetória do fluxo em  $135^\circ$  sem alterar a velocidade dos jatos. Pede-se:

- a-) Calcular a força exercida pelo jato de água sobre o defletor
- b-) A área da seção dos jatos defletidos.



**Exercício 22 (adaptado da lista da FEM/UNICAMP)**

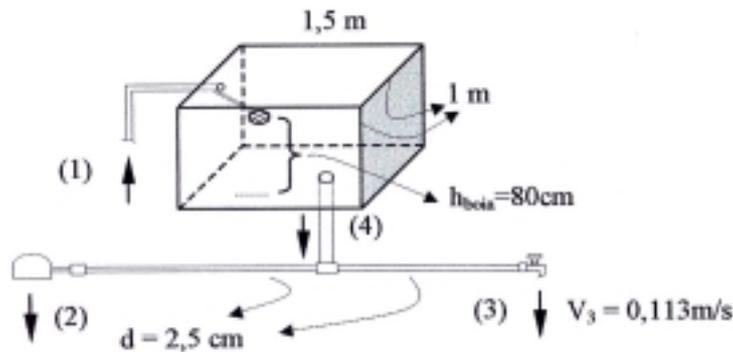
Um jato de água de água entra em um bocal com velocidade  $v=10\text{m/s}$ . Sabendo-se que os diâmetros de entrada e saída do bocal sejam, respectivamente, 4cm e 2cm e considerando regime permanente, qual a força que o jato exerce sobre um carro que se move com uma velocidade de 5m/s conforme esquematizado na figura.



**Exercício 23 (modificado de Exercício de prova intermediária da turma 3F)**

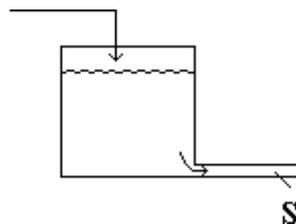
Após um período de racionamento de água, a caixa mostrada “finalmente” volta a receber seu precioso líquido a uma taxa de 1450 kg/h através da tubulação 1. No entanto, alguém esqueceu aberta a torneira da pia externa à casa, sendo a velocidade do escoamento nessa seção (seção 3) igual a 0.113 m/s. Transcorrido um certo período de tempo, alguém decide tomar banho consumindo água a uma taxa de 0.5 m<sup>3</sup>/h através da tubulação 2. O diâmetro da tubulação que passa nas seções 2 e 3 é de 2.5cm e a caixa tem 1m de altura por 1m de profundidade por 1.5 m de largura. Sabendo-se que no início do banho, o nível de água no interior da caixa é de 5cm e que a altura da bóia é de 80cm, e que a água está a 20°C, pede-se:

- supondo que a altura da caixa da água quando esta começa a ser enchida seja de 5cm e que o banho de 45 minutos seja tomado transcorridos 15cm do início de enchimento da caixa d’água, determinar o tempo até que a caixa d’água ser enchida até a altura da bóia de 80cm.
- Qual a massa de água contida na caixa ao final do tempo calculado no item anterior?



**Exercício 24 (prova intermediária da turma 3E)**

A figura esquematiza um tanque pulmão cilíndrico fechado em que etanol a 20°C é armazenado e alimentado para uma unidade de produção.



A altura física do tanque é de 2m e o seu diâmetro é de 1m. O diâmetro da tubulação de saída é de 5cm, sendo que esta tem 50m de comprimento até o ponto S esquematizado

na figura. Nestas situações pode-se demonstrar que a velocidade média pela tubulação de saída é dada pela expressão:

$$v = \sqrt{\frac{2d}{fL} \left[ \frac{P_T - P_S}{\rho} \right]}$$

onde,

- $v$  ... velocidade média de escoamento pela tubulação
- $d$  ... diâmetro interno da tubulação de saída
- $f$  ... fator de atrito pela tubulação
- $L$  ... comprimento da tubulação até o ponto S em que se conhece a pressão OS
- $P_T$  ... pressão no fundo do tanque
- $\rho$  ... densidade do fluido na tubulação
- $g$  ... aceleração da gravidade
- $P_S$  ... pressão no ponto S da tubulação de saída

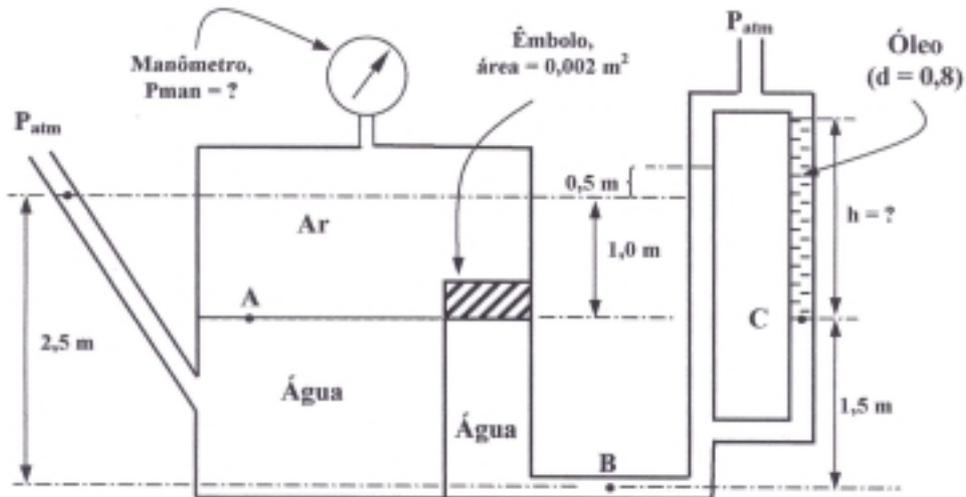
Em condições normais de operação a vazão mássica alimentada no tanque é de 13.94 ton/h e o fator de atrito pode ser considerado como sendo 0.005. Sabe-se que a densidade relativa do etanol a 20°C em relação à água a 4°C é de 0.789 e que a massa específica da água a 4°C é de 1000 (SI). Admita para a aceleração da gravidade o valor de 9.8m/s<sup>2</sup> e a pressão atmosférica local de 10<sup>5</sup> Pa. Pede-se:

- a-) O peso específico do etanol com a respectiva unidade no SI.
- b-) Nas condições normais de operação do tanque em regime permanente, qual a velocidade média pela tubulação de saída?
- c-) Admita que nas condições normais de operação a pressão do ar no interior do tanque seja igual ao valor de  $P_S$ . Qual a altura de etanol no tanque?
- d-) A pressão relativa no ponto S é mantida constante em -0.87atm. Qual o valor da pressão neste ponto?
- e-) Se no ponto S existir um manômetro contendo mercúrio como fluido manométrico (densidade de 13550 no SI), o qual está acoplado a uma câmara de vácuo com ar à temperatura ambiente, qual a pressão da câmara de vácuo se o desnível lido no manômetro é de 25cm e se a coluna de etanol acima do mercúrio também for de 25cm? (A pressão no ponto S é dada no item d).
- f-) Se a alimentação do tanque for descontinuada, o nível no tanque irá cair até que não mais haja escoamento pela tubulação de saída. Assumindo que a pressão no ponto S seja mantida constante no valor estipulado no item d-) e que o ar no interior do tanque se comporte como gás ideal, determine o valor da altura de líquido no instante em que não mais haverá escoamento pela tubulação, qual será o valor da velocidade?
- g-) Justifique porque a hipótese de comportamento de gás ideal assumida no item anterior é realista.
- h-) Estime o tempo que levará para o nível de tanque atingir a condição de ausência de escoamento pela tubulação de saída. Para simplificar o problema, considere neste item que a velocidade de escoamento na saída seja dada apenas como:

$$v = \sqrt{\frac{2d}{fL} gh}.$$

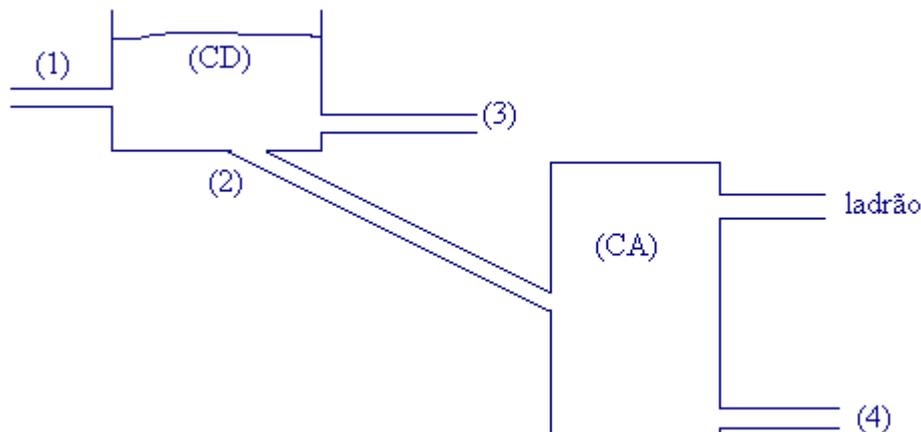
### **Exercício 25 (prova intermediária da turma 3F)**

Calcule as pressões efetivas e absolutas nos pontos A, B e C, a altura  $h$  de óleo com densidade relativa em relação à água a 20°C de 0.8 e o peso  $W$  do êmbolo. Qual o valor da leitura no manômetro? O ar contido no tanque está pressurizado ou sob vácuo? A pressão atmosférica local é de 101.3kPa e a aceleração da gravidade é de 9.81 m/s<sup>2</sup>.



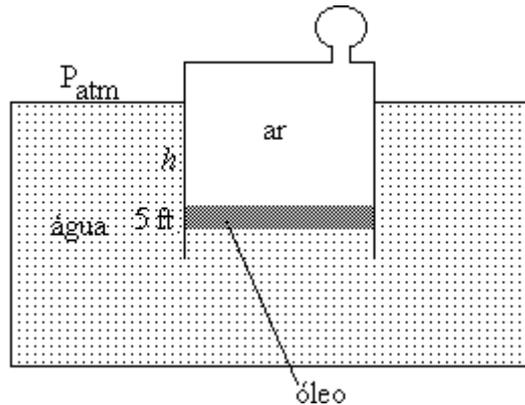
**Exercício 26 – sistema de vasos comunicantes. (P1 da turma 3E – 2003/2S)**

A figura a seguir indica em (1) uma tubulação pela qual escoa água a uma velocidade média constante de 2 m/s que alimenta a caixa divisória (CD), da qual saem duas correntes (2) e (3). A corrente (2) que é retirada pelo fundo da caixa CD alimenta continuamente uma caixa d'água (CA) tampada, dotada de uma corrente de saída (4) e de um ladrão (5) aberto à atmosfera. Em condições normais de operação o nível de água na caixa divisória (CD) mantém-se em 45 cm. O fundo da caixa (CD) encontra-se a 2m acima do fundo da caixa d'água (CA). Pede-se determinar a altura mínima a partir do fundo da caixa d'água (CA) que o ladrão deve se situar de modo que em condições normais de operação não escoe água pelo ladrão.



**Exercício 27:**

A figura a seguir mostra um tanque aberto à atmosfera, em que um recipiente contendo ar a 20°C e óleo com densidade relativa à água a 4°C de 0.8 é vertido. A este recipiente está acoplado um manômetro que mede 4.33 psi. Considerando que a pressão atmosférica local seja de  $10^5$  Pa, pede-se determinar a altura  $h$  indicada na figura (altura entre a superfície da água e do óleo). (adaptado de Granger, p. 102)

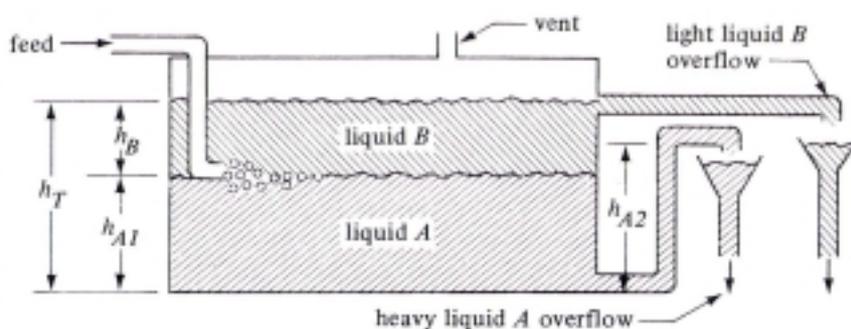


resposta: 9ft

**Exercício 28:** (adaptado da exposição teórica de Geankoplis à p. 39, i.e., o Exercícioencontra-se resolvido na referência citada)

A figura a seguir mostra um separador contínuo atmosférico gravitacional (decantador), usado para separar dois líquidos imiscíveis A e B. Ambos os líquidos são alimentados em uma extremidade e conduzidos lentamente até à outra extremidade de modo que a resistência ao escoamento por atrito pode ser desprezada e de forma que duas fases distintas são observadas no decantador. A posição  $h_T$  é normalmente fixa no equipamento industrial, podendo-se no entanto ajustar a altura  $h_{A2}$ . Mostre que:

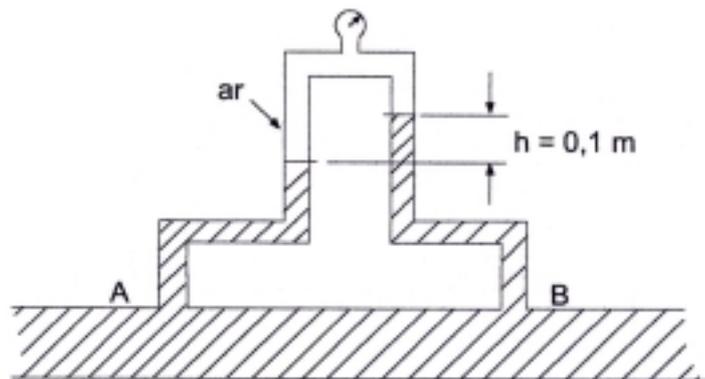
$$h_{A1} = \frac{h_{A2} - h_T \rho_B / \rho_A}{1 - \rho_B / \rho_A}$$



**Exercício 29:** (adaptado do Exercíciodo provão de engenharia química de 2001)

O dispositivo mostrado na figura abaixo mede o diferencial de pressão entre os pontos A e B de uma tubulação por onde escoa água. Considere que a densidade da água seja 1000 (SI) e a do ar de 1.2 (SI) e que a aceleração da gravidade vale 9.8 (SI). Com base nos dados da figura determine:

- (a) o diferencial de pressão entre os pontos A e B em Pa (resp: 978.8 Pa)
- (b) a pressão absoluta no interior da camada de ar, sendo a leitura do manômetro de Bourdon de  $10^4$  Pa e pressão atmosférica local de  $10^5$  Pa. (resp:  $1.1 \times 10^5$  Pa)
- (c) o sentido do escoamento. (resp: B  $\rightarrow$  A)



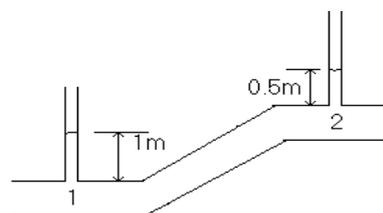
**Exercício 30**

Numere a segunda coluna de acordo com a primeira, preenchendo apenas um número no campo indicado.

1. densidade relativa	( ) $\frac{\text{Pa}}{\left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right)}$
2. carga	( ) maionese
3. fluido compressível	( ) $\rho^{-1}$
4. fluido incompressível	( ) grandeza adimensional
5. volume específico	( ) $\frac{dP}{dz} \neq \text{cte}$

**Exercício 31 (P1 da turma 3E do 2º semestre de 2003)**

Considere a tubulação de diâmetro constante pela qual escoa um fluido incompressível com peso específico de 5000 (SI) e para a qual quer-se que o escoamento se dê de (1) para (2). Pede-se determinar a máxima elevação do ponto (2) em relação ao ponto (1) para que haja escoamento.



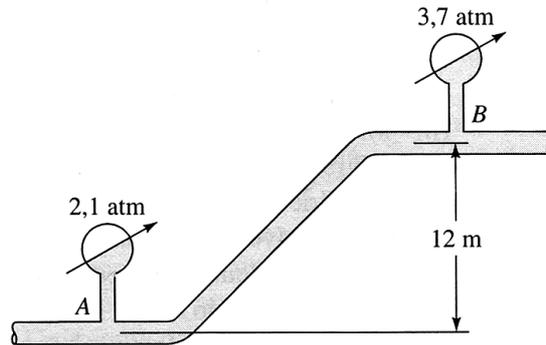
**Exercício 32 (PAF das turmas 3E/3F do 2º semestre de 2003)**

O tubo de 6 cm de diâmetro da figura a seguir contém glicerina a 20°C escoando a uma taxa de  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ . Pede-se:

a-)classificar a glicerina de acordo com a seguinte tabela:

( ) fluido compressível	( ) fluido Newtoniano
( ) fluido incompressível	( ) fluido não-Newtoniano

b-) Para as medidas manométricas indicadas na figura determinar se o escoamento é para cima ou para baixo e calcular a perda de carga.



**Exercício 33 (P2 da turma 3E do 2º semestre de 2003)**

Uma bomba é instalada em uma tubulação horizontal. O diâmetro da tubulação de sucção (entrada da bomba) é de 9cm e o diâmetro da tubulação de recalque é de 3cm. Foram instalados dois manômetros, um na entrada da bomba e o outro na saída, os quais acusam uma leitura, respectivamente de 120kPa e 400kPa. Se o fluido que escoar a uma vazão de 57 m<sup>3</sup>/h é benzeno a 40°C e desprezando a perda de carga entre os locais de medição de pressão, qual a energia que deve ser transferida pela bomba ao fluido?

**Exercício 34:**

Considere as seguintes afirmativas:

1. Escoamento em regime turbulento.
2. Escoamento em regime laminar.
3. Escoamento sem atrito.
4. Escoamento em regime de transição.
5. Escoamento estável.
6. Escoamento em desenvolvimento.
7. Fluido ideal.
8. Fluido Newtoniano.
9. Gás ideal.
10. Regime estacionário.
11. Regime transiente.
12. Escoamento compressível.
13. Escoamento incompressível.
14. Superfície móvel.
15. Princípio de aderência.
16. Escoamento interno a dutos estáticos.
17. Seção transversal circular.
18. Escoamento no espaço anular.
19. Escoamento sem variação de cota.
20. Força motriz do escoamento devido à variação de energia potencial.
21. Escoamento sem a realização de trabalho de fluido.
22. Escoamento com a realização de trabalho de fluido.
23. Redução ou expansão.
24. Seção transversal constante.
25. Duto liso.
26. Duto Rugoso.

O quadro abaixo corresponde a equações extraídas de seis modelos de processos diferentes. Indicar no quadro abaixo as afirmativas que se aplicam para cada modelo.

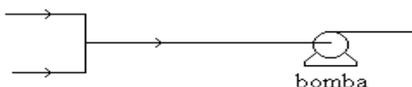
modelo	equações constitutivas do modelo	afirmativas
1	$\frac{\rho v d_H}{\mu} = 3000$ $\rho = \frac{MMP}{RT}$ $d_H = d_2 - d_1$	
2	$t = \frac{\pi \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}\right)}{1,22 A \sqrt{2g}} \sqrt{h_o}$	
3	$0 = \frac{v_2^2}{2} \left[ \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 - 1 \right] + \frac{P_1 - P_2}{\rho}$	
4	$v = \frac{F}{2\pi r_1} \frac{(r_2 - r_1)}{\mu}$	
5	$F_{at} = (P_1 - P_2) \pi R^2 - \frac{1}{3} \rho \pi R^2 v_o^2$	
6	$0 = h_1 - h_2 - \frac{v^2}{2g} (0.184 \text{Re}^{-0.2}) \frac{L}{d}$	

**Exercício 35: (prova de FT-I da turma 3E do 1º semestre de 2002)**

Água escoia à temperatura constante de 70°C pela instalação hidráulica a seguir, em que todas as tubulações tem o mesmo diâmetro. Sabendo-se que a bomba é um equipamento que transfere energia ao fluido de modo que a pressão do fluido à saída da bomba é maior que a do fluido à entrada da bomba, pede-se:

- Indicar na figura o ponto em que primeiramente poderá ocorrer o fenômeno da cavitação, justificando.
- Obtenha a condição crítica que deve ser avaliada no caso de projeto da instalação para que a cavitação não ocorra.

É dada a equação de Antoine para a água, a saber:  $\ln P = \left( 18.3036 - \frac{3816.44}{T - 46.13} \right)$ , sendo  $P$  em  $mmHg$  e  $T$  em  $K$ .



**Exercício 36: (prova de FT-I da turma 4C do 1º semestre de 2002)**

Use a equação de Bernoulli para mostrar que a pressão na saída de um bocal divergente é maior que na entrada. Como esta informação pode ser usada para selecionar os diâmetros na entrada e saída de uma bomba, i.e., eles devem ser do mesmo tamanho?

Lembre-se que a bomba é um equipamento que fornece energia ao fluido de modo que a pressão na saída da bomba é maior que a da entrada. Por outro lado, deve-se evitar as situações que propiciem a cavitação.

**Exercício 37: (prova de FT-I das turmas 3E, 3F e 3D do 2º semestre de 2002)**

A instalação de um redutor de pressão em chuveiros elétricos pode diminuir, em alguns casos, os consumos de água e energia. Admitindo que a pressão no ponto (1) da figura permaneça constante e que **todas** as perdas de carga, **exceto** aquela causada pela instalação do redutor de pressão (no local indicado), possam ser desconsideradas, determine para o chuveiro da figura a vazão volumétrica de água. São dados:

**Pressão relativa** no ponto (1),  $P_1 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$

Pressão atmosférica,  $P_{atm} = 10^5 \text{ Pa}$

Diâmetro da tubulação de alimentação do chuveiro,  $D = 12,7 \text{ mm}$

Diâmetro do orifício do redutor de pressão,  $d = 5,7 \text{ mm}$

Diâmetro dos furos na saída do chuveiro,  $d_f = 1,3 \text{ mm}$

Densidade da água,  $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

**Informações complementares:**

Admita que o escoamento seja turbulento.

As diferenças de cotas são desprezíveis.

Para o cálculo da perda de carga no redutor utilize o gráfico a seguir, de onde se pode obter o coeficiente de perda de carga (K) e determinar a perda de carga a

partir da fórmula  $H_{A,\text{redutor}} = \frac{K V_{\text{orificio}}^2}{2g}$ , sendo  $V_{\text{orificio}}$  a velocidade de passagem

da água pelo redutor de pressão, i.e., na saída do redutor.

No gráfico:  $\beta = \frac{d}{D}$

