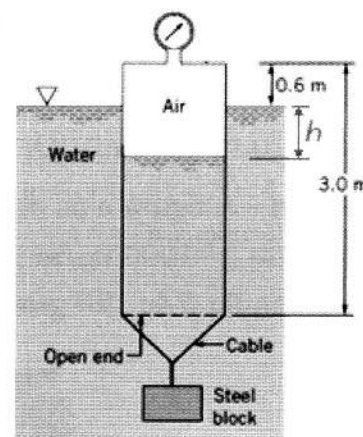
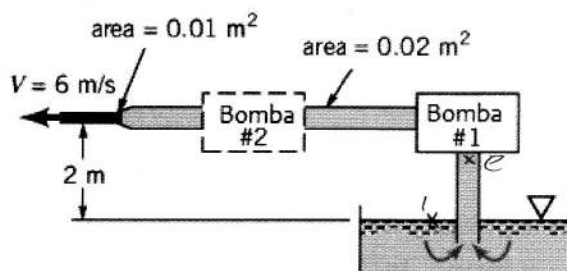


1 (5 v) – Um reservatório cilíndrico, de paredes finas, aberto num dos topos, tem 1 m de diâmetro e 90 kg de massa. Inicialmente cheio de ar ($R_{ar}=287 \text{ J/kg/K}$), é colocado, com a abertura para baixo, dentro de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$). Um bloco de aço ($d=7,84$) preso com cabos ao reservatório permite mantê-lo na posição figurada.



- a) Assumindo que o ar sofre uma compressão isotérmica, qual a leitura do manómetro diferencial que deteta a pressão na parte superior do reservatório?
- b) Admitindo para a cota h o valor de 1,9 m, calcule o volume do bloco de aço.

2 (5 v) – Pretende-se bombear água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $p_{sat}=2300 \text{ Pa}$) de um reservatório de grandes dimensões de tal modo que a velocidade na saída seja 6 m/s. Dispunha-se de uma bomba (Bomba #1) com a potência de 1 kW e rendimento de 90%, que não era suficiente para assegurar as condições exigidas e, por isso, foi necessária uma segunda bomba.



- a) Determine a potência que a Bomba #2 deve fornecer ao fluido, sabendo que as perdas de energia útil em toda a instalação são dadas por:

$$h_{perdas}=250 \times Q^2$$

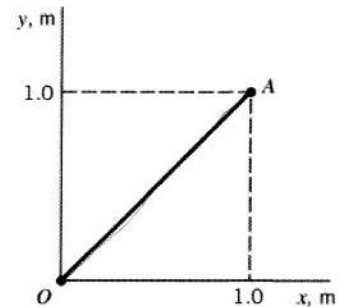
em que h_{perdas} é a altura manométrica (m.c.a.) e Q é o caudal (m^3/s).

- b) Qual a altura máxima a que a Bomba #1 poderia ser colocada sem incorrer em risco de cavitação na conduta de aspiração?

3 (4 v) – Num escoamento bidimensional e incompressível, a componente da velocidade segundo o eixo do x é dada pela equação

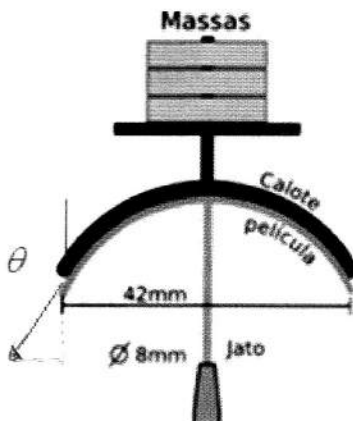
$$u=2x$$

- a) Determine a equação da componente da velocidade segundo y, sabendo que $v=0$ ao longo de eixo do x ($y=0$).
- b) Para este campo de velocidades, qual a velocidade média do escoamento no plano OA, representado na figura?



Nota: todas as grandezas são em unidades SI.

4 (6 v) – A figura e os dados na tabela dizem respeito ao ensaio laboratorial de um jato de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) incidindo sobre a calote esférica em que o jato é infletido com um ângulo θ de 120 graus.



#	Massa	Caudal volúmico
	[grama]	[litro/s]
1	100	0,181
2	200	0,256
3	300	0,313
4	400	0,362
5	500	0,405
6	600	0,444

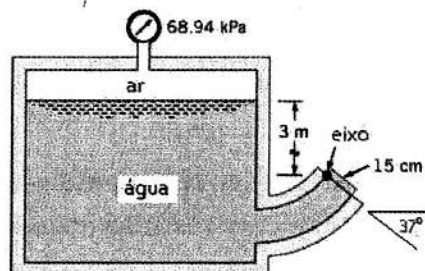
Admitindo tratar-se de um escoamento ideal,

- a) Encontre os grupos adimensionais que caracterizam o fenômeno, e apresente-os sob a forma de uma dependência funcional.
- b) Analise a tabela, adimensionalize-a de acordo com o resultado da alínea a), e comente o resultado.

O equilíbrio das massas depende do seu valor e das características do jato de água.

- c) Escreva e apresente, na forma mais simplificada possível, a equação que estabelece esse equilíbrio.
- d) Mostre que o coeficiente de força depende apenas do ângulo de deflexão do jato e é igual a $\cos \Theta - 1$.

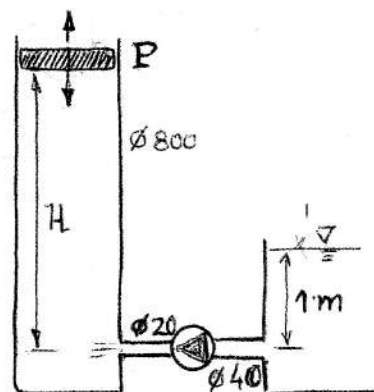
1 (4 v) – Um reservatório com água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) é pressurizado, na sua parte superior, com ar a uma pressão manométrica de 68,94 kPa. Tem uma abertura circular, fechada por uma tampa com 15 cm de diâmetro, a qual pode rodar em torno de um eixo horizontal a 3 m de profundidade e é inclinada de um ângulo de 37° relativamente à horizontal.



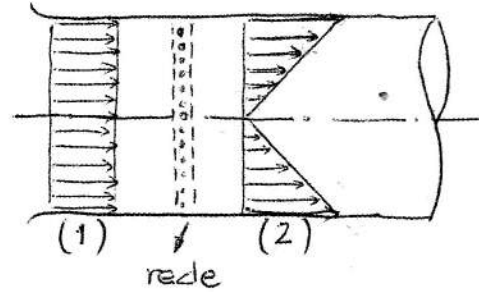
- a) Determine a força mínima necessária para manter a tampa fechada, e indique o ponto onde deve ser aplicada essa força.
- b) Comente a seguinte afirmação: *“a presença do ar pressurizado dentro do reservatório aumenta o valor da resultante das forças de pressão do lado de dentro da tampa circular, mas não influencia a posição do centro de pressões, ponto de aplicação dessa força”.*

2 (5 v) – Na máquina industrial representada, a bomba de óleo ($d=0,9$) cria no reservatório cilíndrico da esquerda uma pressão capaz de levantar o prato P, cuja massa é de 5 toneladas.

- a) Qual a potência da bomba para elevar o prato à velocidade de 1 cm/s até uma altura $H=2$ m?
- b) De que forma a troca dos diâmetros dos tubos antes e depois da bomba poderia alterar o resultado obtido em a)?
- c) Será a elevada velocidade à saída da bomba suscetível de criar condições para a ocorrência de cavitação nessa zona do escoamento? Justifique.



3 (6 v) – No escoamento de ar ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$) numa tubagem de 60 cm de diâmetro o perfil de velocidade plano (1), com $V=30 \text{ m/s}$, é convertido num perfil linear e axisimétrico (2), com velocidade nula no eixo e máxima junto à parede, após passar por uma rede de malha variável, a qual provoca uma queda de pressão de $p_1-p_2=400 \text{ Pa}$.

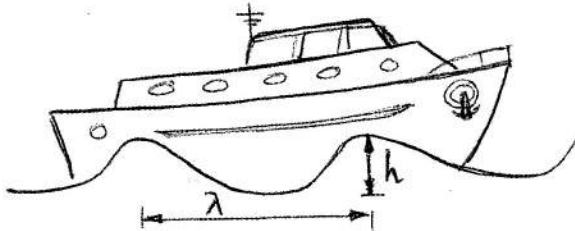


- a) Quais os valores da velocidade média e máxima na secção após a rede?
- b) Determine a força necessária para manter a rede fixa.

Nota: Caso não tenha resolvido a alínea a) considere a velocidade máxima igual a 45 m/s

4. (5 v) – A resistência ao avanço de uma embarcação (comprimento L) tem uma componente resultante do atrito viscoso com a água e outra que decorre da existência de ondulação (λ, h) à superfície.

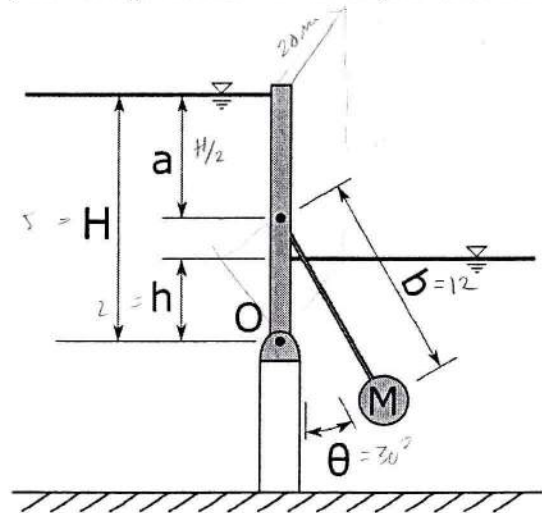
- a) Identifique as variáveis importantes para a caracterização de um problema deste tipo, visando, por exemplo, o seu estudo num modelo em laboratório.



- b) Efetue a análise dimensional do problema e encontre as variáveis adimensionais que poderão ser utilizadas no seu estudo, em substituição das variáveis dimensionais de origem.

- c) A transposição de resultados experimentais entre escoamentos exige a semelhança dinâmica dos mesmos, ou seja, a igualdade dos valores dos grupos adimensionais relevantes. Comente a possibilidade de essa semelhança ser conseguida no caso aqui em análise, se o fator de escala utilizado for 1:100 e o fluido dos ensaios for também água do mar.

1. (5 v) – Uma comporta separa dois reservatórios que contêm água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$), conforme a figura, podendo girar em torno do eixo O . O nível da água é diferente nos dois reservatórios, tomando os valores H e h . Por forma a equilibrar a comporta, esta está ligada a uma esfera M através de uma haste rígida, de comprimento $b=12 \text{ m}$, fixa a meio da comporta ($a=H/2$). A comporta tem uma largura de 20 m na direção perpendicular à figura, $\theta=30^\circ$ e a massa da esfera são 500 kg .



- a) Esboce o diagrama da distribuição das forças de pressão sobre as superfícies da comporta, e da esfera quando esta se encontra completamente imersa.
- b) Calcule o diâmetro da esfera por forma a que a comporta fique em equilíbrio quando os níveis nos reservatórios forem de $H=5 \text{ m}$ e $h=2 \text{ m}$.

c) Comente a seguinte afirmação:

“Estando a esfera M completamente imersa, o ponto de aplicação da resultante das forças de pressão que actuam na sua superfície coincide com o seu centro de gravidade”.

Justifique convenientemente a sua resposta.

2 (4 v) – O aumento de pressão Δp provocado por uma explosão é uma função da energia libertada (E), da massa volúmica do ar (ρ_{ar}), da velocidade do som (c) e da distância ao local onde a explosão ocorreu (d).

a) Exprima esta relação na forma adimensional.

b) Com o objetivo de estudar o efeito de uma explosão eventual, procedeu-se a uma explosão controlada, em laboratório, na qual foi libertada uma quantidade de energia 1000 vezes inferior à real.

Qual a distância do local da explosão controlada a que deve ser medida a pressão para que os resultados correspondam ao aumento da pressão, no caso real, a 1 km de distância do local da explosão?

3 (7 v) – Uma turbina hidráulica com um rendimento $\eta = 90\%$ debita uma potência útil de 675 kW para um caudal de água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) de 500 l/s, numa montagem semelhante à esquematizada na figura. A conduta de admissão tem uma secção de $0,075 \text{ m}^2$ e a de descarga $0,1 \text{ m}^2$.

Admita que o escoamento nas condutas se processa em regime ideal e permanente.

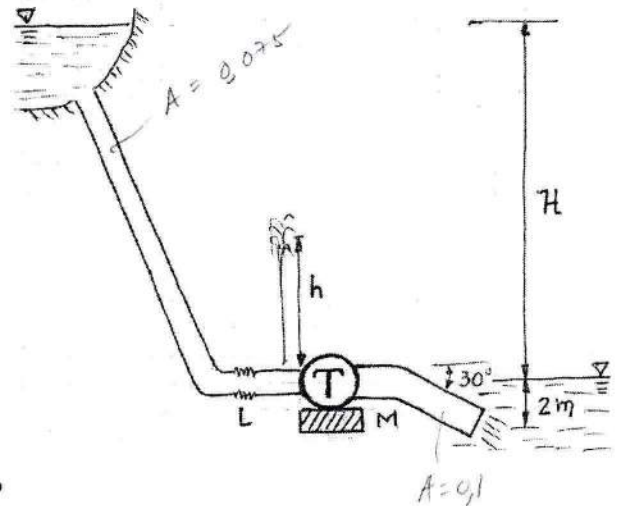
a) Qual o desnível H entre as superfícies livres da albufeira e da restituição?

Assuma agora um desnível $H = 150 \text{ m}$ e o mesmo caudal de 500 l/s.

b) Se fosse feito na conduta, à entrada da turbina, um orifício com 2 mm de diâmetro, a que altura h subiria a água da fuga? Qual o caudal de água que se perderia?

c) Se fossem ligadas à entrada e à saída da turbina, em duas tomadas de pressão estática, os ramos de um manómetro diferencial de mercúrio ($d=13,6$), qual seria o desnível dos meniscos? Faça um esboço da montagem em questão e assinale nela o desnível mencionado.

d) Sendo flexível a ligação L , a montante da turbina, calcule (sentido e intensidade) o esforço horizontal a que estará sujeito o maciço M .



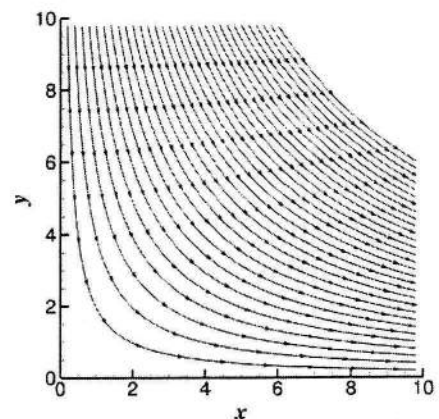
4 (4 v) – O campo de velocidade $V = (u, v)$ do escoamento bidimensional, horizontal e incompressível junto a um canto, conforme representado na figura pelas linhas de corrente, é descrito aproximadamente por

$$u = 2x \quad \text{e} \quad v = -2y$$

a) Mostre que este campo de velocidade verifica a condição de conservação de massa.

b) Determine o campo de pressão $p(x, y)$, sabendo que no ponto $(x, y) = (0, 0)$ a pressão é p_{max} .

c) Determine as tensões viscosas junto das superfícies $x = 0$ e $y = 0$. Considerando o resultado que obteve, comente a(s) diferença(s) relativamente a um escoamento real.



1. (6 v) – A frequência de batimento das asas das aves, ω , é função da envergadura da asa, ℓ , do peso específico da ave, γ_{ave} , da aceleração da gravidade, g , e da massa volúmica do ar, ρ_{ar} .

- a) Encontre os grupos adimensionais que caracterizam o problema.
- b) Para manter um voo uniforme, as aves mais pequenas batem as asas a uma frequência maior que as grandes, de acordo com uma proporcionalidade do tipo $\omega \propto \ell^n$. Com recurso à análise dimensional, determine o expoente n desta relação de proporcionalidade.

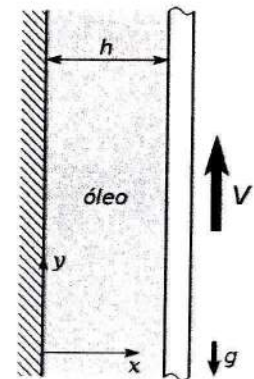
c) A tabela mostra valores de ℓ [m] e ω [Hz] para diversas aves. Verifique se os dados comprovam o resultado obtido na alínea anterior, justificando devidamente a sua resposta.

		ℓ	ω
Progne subis	Andorinha azul	0,28	5,1
Erithacus rubecula	Pisco de peito ruivo	0,36	4,5
Zenaida macroura	Rola carpideira	0,46	4,0
Corvus corax	Corvo	1,00	2,7
Branta canadensis	Ganso do Canadá	1,50	2,2
Ardea herodias herodias	Garça azul grande	1,80	2,0

Nota: Caso não tenha resolvido b) assumo $n=-0,5$

2 (6 v) – Numa instalação industrial, uma placa móvel desloca-se no sentido vertical ascendente com velocidade V , sobre outra, fixa, separadas por uma película de óleo de espessura h . Considere que o gradiente de pressão dp/dy é uniforme, que as placas são muito maiores que o seu afastamento e que o escoamento do óleo se processa em regime permanente, monodimensional e incompressível.

- a) Encontre o perfil de velocidade deste escoamento. Justifique devidamente todas as hipóteses simplificativas que considerar.
- b) Represente esquematicamente o perfil de velocidades quando $dp/dy = -\rho g$ e quando $dp/dy = 0$.
- c) Determine a tensão de corte na placa móvel quando $V = 2$ m/s, $h = 4$ mm, $\rho = 800$ kg/m³, $\mu = 10^{-2}$ kg/(m·s) e $dp/dy = 0$.



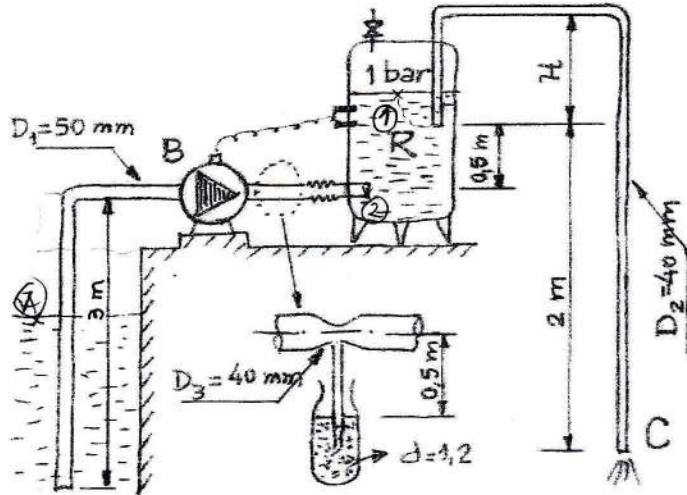
Nota: Caso não tenha resolvido a), considere que o perfil de velocidade é dado por $v(x) = \frac{V}{h}x + Kx(x-h)$, com $K = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{dp}{dy} + \rho g \right)$.

3 (8 v) – Um sistema de abastecimento de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $p_{\text{sat}}=2337 \text{ Pa}$) utiliza um reservatório pressurizado, onde ar é mantido à pressão manométrica de 1 bar, e uma bomba que aspira a água de uma cisterna. A bomba liga e desliga em função do nível de água no reservatório. Assuma que dentro das tubagens ocorrem escoamentos ideais.

a) Qual a potência mínima que deverá ter o motor de acionamento da bomba ($\eta = 85\%$) para que não falte água no ponto de consumo C?

b) Para um caudal de $70 \text{ m}^3/\text{h}$ será possível aspirar do recipiente o desinfetante ($d=1,2$) a adicionar à água?

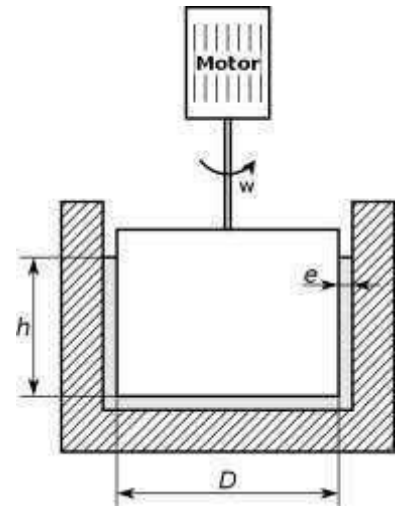
c) Ainda para um caudal de água de $70 \text{ m}^3/\text{h}$, e com o nível da água na cisterna no mínimo, caracterize a força a que ficará sujeito o suporte da bomba, sabendo que bomba e condutas pesam, em conjunto, 75 kgf .



Considere flexível a ligação da tubagem ao reservatório R.

d) Na solução das alíneas anteriores não teve necessidade de utilizar a diferença de cotas H. Porquê? H é uma cota indiferente ao funcionamento desta instalação, ou do seu valor depende a ocorrência de algum fenómeno relevante? Justifique devidamente a sua resposta.

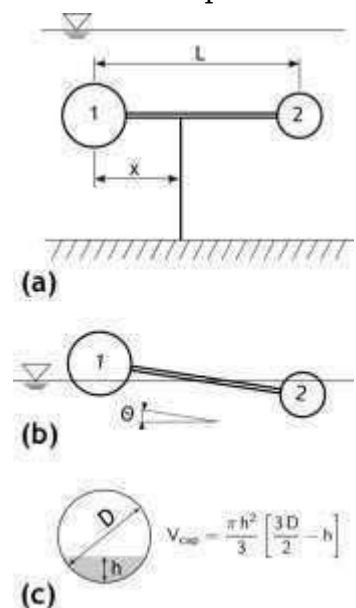
1 (3 v) – No dispositivo para medição da viscosidade representado, um motor elétrico faz rodar um cilindro de dimensões $D = 400$ mm e $h = 250$ mm no interior de outro, fixo. Entre os dois cilindros existe uma película de fluido com espessura $e = 3$ mm cuja viscosidade μ se pretende medir. Assuma que o perfil de velocidade no seio do fluido é sempre linear.



- a)** Para um fluido de viscosidade $\mu = 10^{-2}$ kg/(m·s). esboce o diagrama das tensões de corte na base do cilindro e determine o seu valor na periferia quando ele gira a 20 r.p.m.
- b)** O sistema de controlo do motor elétrico garante que o binário debitado se mantém praticamente constante e igual a 0,1 N·m para velocidades de rotação entre as 2 e as 200 r.p.m. Determine a gama de viscosidades que é possível medir nestas condições.

2. (4 v) – Um equipamento oceanográfico é constituído por duas esferas de diâmetro $D_1=1$ m e $D_2=0,8$ m, com massas $m_1=20$ kg e $m_2=180$ kg. Estão unidas por uma estrutura de peso desprezável que as mantém afastadas a uma distância $L=8$ m. Considere $\rho=1000$ kg·m⁻³.

- c)** Com o equipamento fixo ao fundo conforme mostrado em (a), calcule a distância x para que as esferas fiquem alinhadas na horizontal.
- d)** Esboce o diagrama da distribuição das forças de pressão exercidas sobre a superfície de uma esfera quando completamente imersa.
- e)** Se o equipamento se soltar da âncora vai emergir e ficar com uma posição semelhante à esquematizada em (b). Calcule o volume submerso de cada uma das esferas e o ângulo θ . Utilize a relação dada em (c) como auxiliar para os cálculos que tiver de efetuar.

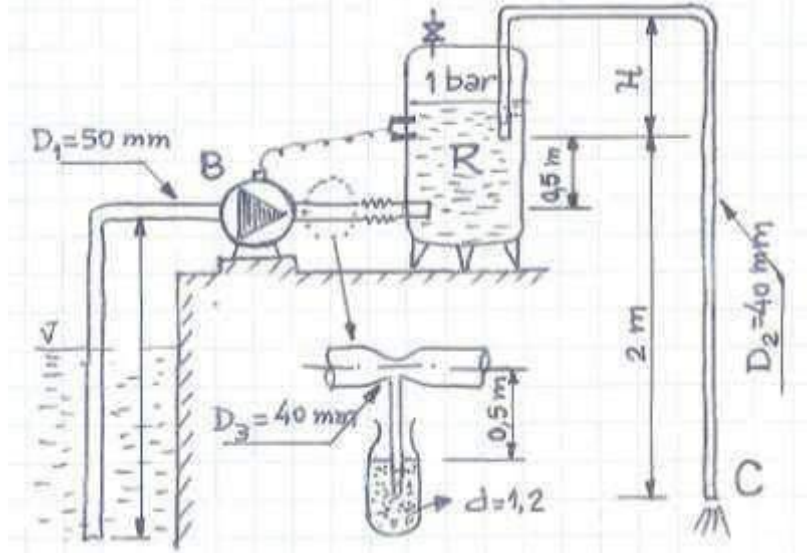


3 (8 v) – Um sistema de abastecimento de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $p_{\text{sat}}=2337 \text{ Pa}$) utiliza um reservatório pressurizado, onde ar é mantido à pressão manométrica de 1 bar, e uma bomba que aspira a água de uma cisterna. A bomba liga e desliga em função do nível de água no reservatório. Assuma que dentro das tubagens ocorrem escoamentos ideais.

a) Qual a potência mínima que deverá ter o motor de acionamento da bomba ($\eta=85\%$) para que não falte água no ponto de consumo C?

b) Para um caudal de $70 \text{ m}^3/\text{h}$ será possível aspirar do recipiente F o desinfetante a adicionar à água?

c) Ainda para um caudal de água de $70 \text{ m}^3/\text{h}$, e com o nível da água na cisterna no mínimo, caracterize a força a que ficará sujeito o suporte da bomba, sabendo que bomba e condutas pesam, em conjunto, 75 kg .



Considere flexível a ligação da tubagem ao reservatório R.

4. (5 v) – A frequência de batimento das asas das aves, ω , é função da envergadura da asa, l , do peso específico da ave, γ_{ave} , da aceleração da gravidade, g , e da massa volúmica do ar, ρ_{ar} .

a) Encontre os grupos adimensionais que caracterizam o problema.

b) De forma a manter um voo uniforme, as aves mais pequenas batem as asas a uma frequência maior que as grandes, de acordo com uma proporcionalidade do tipo $\omega \propto l^n$. Com recurso à análise dimensional, determine o expoente n desta relação de proporcionalidade.

c) A tabela mostra valores de l [m] e ω [Hz] para diversas aves. Verifique se os dados comprovam o resultado obtido na alínea anterior, justificando devidamente a sua resposta.

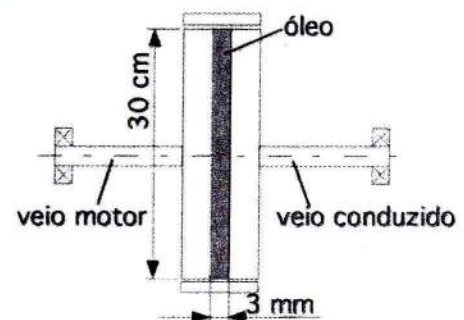
		l	ω
Progne subis	Andorinha azul	0,28	5,1
Erithacus rubecula	Pisco de peito ruivo	0,36	4,5
Zenaida macroura	Rola carpideira	0,46	4,0
Corvus corax	Corvo	1,00	2,7
Branta canadensis	Ganso do Canadá	1,50	2,2
Ardea herodias herodias	Garça azul grande	1,80	2,0

1. (6 v) – Uma embraiagem como a da figura é utilizada para transmitir um binário M entre dois discos de diâmetro $D = 30$ cm, através de um filme de óleo ($\mu = 0,5$ Pa.s) com espessura $h = 3$ mm.

Verifica-se que quando o veio motor roda à velocidade $n_1 = 1500$ rpm, o veio conduzido roda à velocidade $n_2 = 1475$ rpm.

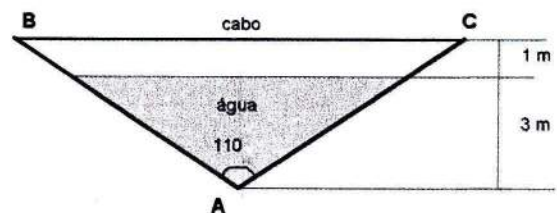
Assumindo que os perfis de velocidade no seio do óleo são lineares, determine:

- A tensão de corte na periferia dos discos e no eixo de rotação.
- O binário transmitido pela embraiagem.

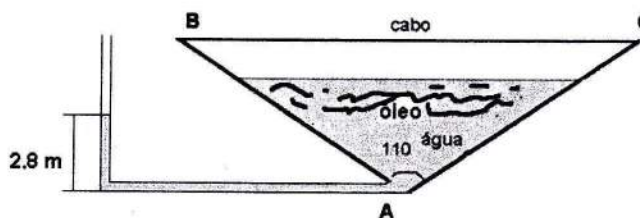


2 (6 v) – Num reservatório de água ($\rho = 1000$ kg/m³) de secção triangular, articulado na aresta A, as paredes laterais são mantidas fixas (ângulo de 110 °) por ação de um cabo horizontal (BC). O comprimento do reservatório, dimensão perpendicular ao plano da figura, é de 1 m.

a) Determine a força a que o cabo (BC) está sujeito.

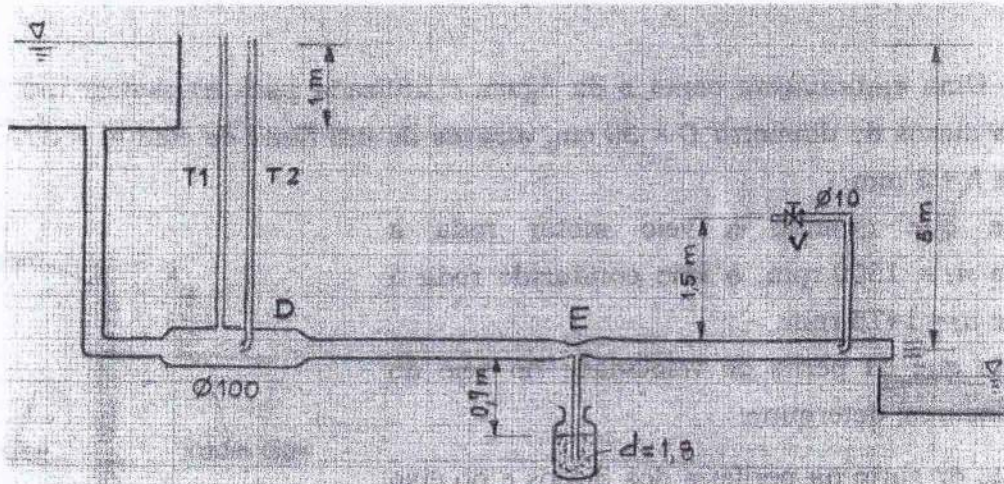


b) Considere o caso em que o reservatório contém 10000 litros de água e uma quantidade desconhecida de óleo ($d = 0,85$). Mostre que com um manómetro ligado na base do



reservatório é possível avaliar o volume de óleo e determine esse volume quando a altura do líquido no manómetro for igual a 2,8 m.

3 (8 v) – Água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $p_{\text{sat}}=2337 \text{ Pa}$) escoa-se a partir de um grande reservatório através de uma conduta com 50 mm de diâmetro, à exceção das secções D e E. Admita que o escoamento se processa em regime ideal e permanente, e que a válvula V2 está normalmente fechada. Tome para a pressão atmosférica o valor de 10^5 Pa .



- Estime, explicando devidamente as simplificações que efetuar às equações apropriadas, o valor máximo do caudal que é possível escoar por este processo.
- Para um caudal de $70 \text{ m}^3/\text{h}$ calcule a altura a que a água subirá nos tubos T1 e T2.
- Pretendendo-se juntar à água um produto de tratamento ($d=1,8$) contido num recipiente a uma cota inferior, calcule, ainda para um caudal de água de $70 \text{ m}^3/\text{h}$, qual o valor máximo que poderá ter o diâmetro da conduta na zona E.
- Diga, quantificando, de que forma é afetado o caudal que chega ao reservatório inferior se a válvula V2 for aberta.

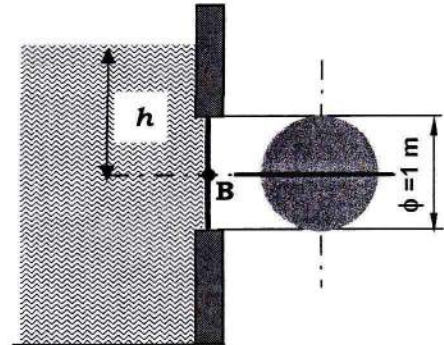
1. (4 v) – A água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) no reservatório da figura é impedida de sair pela acção de uma comporta circular que pode rodar em torno de um eixo horizontal passando por B.

a) Caracterize, sentido e intensidade, o momento que é necessário aplicar no eixo para impedir que a comporta abra, quando a altura de água for de $h=8 \text{ m}$.

b) De que forma a altura h influencia o momento referido em a)?

Distinga as situações em que o nível de água está abaixo e acima do topo da comporta.

$$I_{xx_{\text{circulo}}} = \pi R^4 / 4 \text{ (xx passando pelo centro de gravidade)}$$



2. (4 v) – Considere o escoamento incompressível, em regime permanente, de um fluido Newtoniano, em que o campo de velocidade é definido por

$$u = -2xy; v = y^2 - x^2; w = 0$$

a) Diga se este escoamento satisfaz a conservação de massa e justifique.

b) Determine a distribuição espacial de pressão no plano xy , $p(x,y)$, admitindo que no ponto $(x=0, y=0)$ a pressão vale p_a .

4. (4 v) – A velocidade de um projectil de artilharia, logo após o disparo, depende da energia (E) libertada no disparo (explosão), do diâmetro e da massa do próprio projectil (D ; M) e das propriedades do ar (ρ ; a).

a) Encontre uma relação adimensional entre as grandezas envolvidas no fenómeno.

b) Num ensaio laboratorial com um projectil em escala reduzida, com 10 mm de diâmetro e 0,050 kg de massa, foi produzido um disparo de 10 kJ de energia, tendo-se obtido uma velocidade de 500 m/s. O gás do ensaio tem $\rho=2 \text{ kg/m}^3$ e $a=100 \text{ m/s}$.

Determine a energia de disparo necessária para produzir um fenómeno dinamicamente semelhante ao do ensaio, desta vez no ar ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $a=340 \text{ m/s}$), tendo o projectil um diâmetro de 100 mm.

Que massa deverá ter o projectil e a que velocidade será disparado?

3 (8 v) – A figura representa dois troços de uma tubagem ligados através de uma flange. O fluido é água ($\rho=10^3 \text{ kg.m}^{-3}$, $\mu=10^{-3} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) dando-se a descarga livremente para a atmosfera ($p_{\text{atm}}=10^5 \text{ Pa}$).

a) Recorrendo ao princípio de Bernoulli, calcule o valor da pressão na secção 1 se a velocidade for aí de 5 m.s^{-1} .

b) Considerando agora que a leitura do manómetro diferencial ($d_{\text{H}_2\text{O}}=13,6$) é $h=58 \text{ cm}$, calcule de novo o valor da pressão na secção 1.

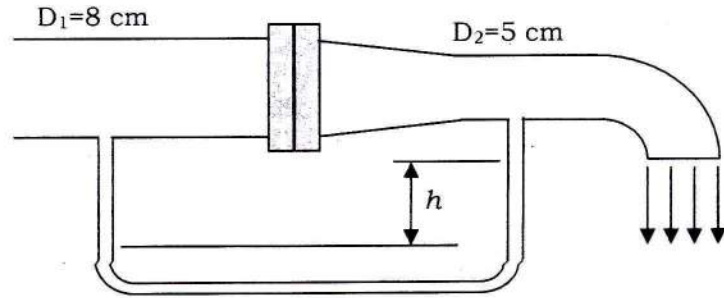
Comente o facto de o valor encontrado ser diferente do resultado obtido na alínea a).

c) Para um valor de $p_1=170 \text{ kPa}$, caracterize a solitação a que está sujeita a ligação entre os dois troços de conduta.

Admita que o tubo manométrico é de um material flexível, não absorvendo qualquer esforço.

d) O escoamento é alimentado por um reservatório de grande diâmetro e nível constante, aberto para a atmosfera, colocado a montante. Qual a altura de nível de água nesse depósito?

e) No caso de o reservatório ser substituído por uma bomba, determine qual deveria ser a sua potência.

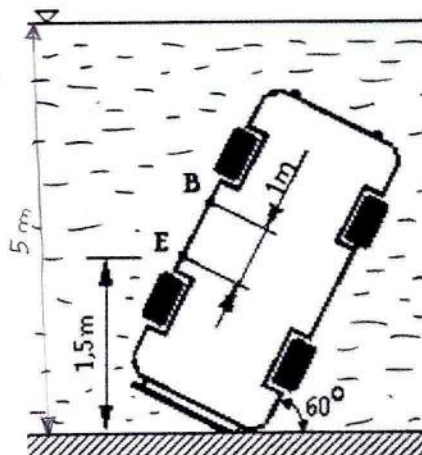


1 (3 v) – Numa tina com água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) é colocado um cubo de gelo ($d=0,9$) que fica a flutuar, parcialmente submerso.

- a) Qual a percentagem de volume de gelo que fica imersa na água?
- b) O gelo passa lentamente ao estado líquido, recebendo calor do ambiente. Admitindo que durante o processo de fusão a quantidade de água evaporada da tina é desprezável, o nível final do líquido é inferior, igual ou superior ao verificado antes de o cubo de gelo começar a fundir? Justifique.

2 (4 v) – Um automóvel encontra-se submerso em água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$). Admita que o habitáculo está perfeitamente vedado (ainda não entrou água!) e que as portas têm de altura (normal ao plano da figura) 1,2 m, podendo rodar em torno do eixo E, neste caso horizontal. Assuma $p_{\text{atm}}=10^5 \text{ Pa}$.

- a) Deduza uma expressão que relacione a força mínima necessária para abrir a porta, com a profundidade do rio. Calcule o valor dessa força para uma profundidade de 5 m.
- b) Se a porta abrisse ao contrário, rodando em torno do eixo B, a força mínima requerida seria maior ou menor? Justifique.



3 (3 v) – O escoamento incompressível e permanente de um fluido newtoniano, de propriedades ρ e μ , tem, nos três eixos coordenados, as componentes de velocidade

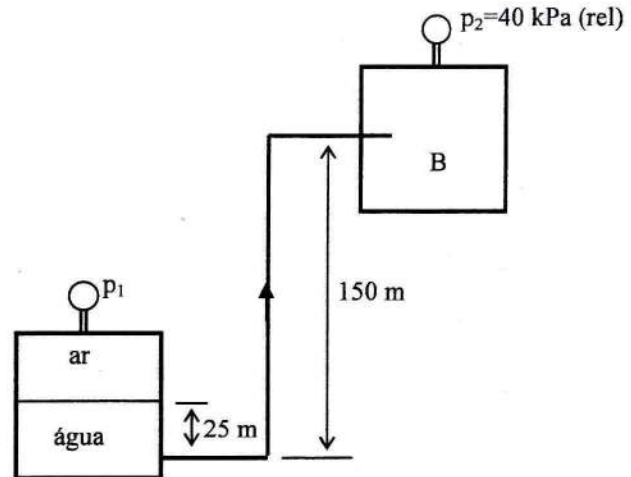
$$u=ay-b(cy-y^2) \quad v=w=0$$

onde a, b e c são constantes.

- a) Encontre uma expressão para o gradiente de pressões na direcção xx.
- b) Qual a combinação das constantes a, b e c, caso exista, que conduziria a uma tensão de corte τ_{xy} nula para $y=0$, ponto onde a velocidade é nula?

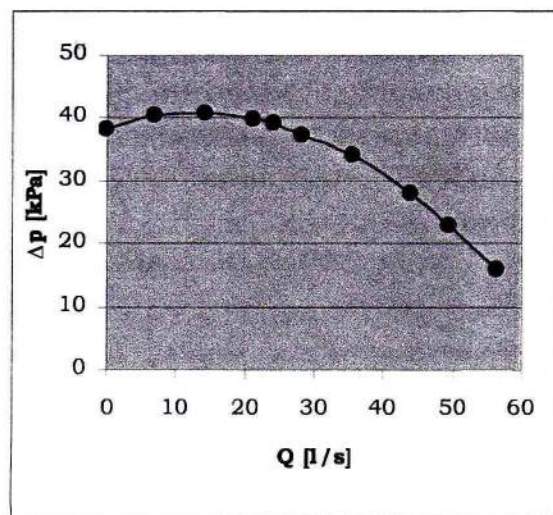
4. (6 v) - Um equipamento industrial (B) consome água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $p_{\text{sat}}=2340 \text{ Pa}$) à razão de $360 \text{ m}^3/\text{h}$. A tubagem tem 100 mm de diâmetro.

- Calcule a pressão do ar, p_1 .
- Caracterize convenientemente a força necessária para manter fixo o joelho superior.
- Supondo que a pressão relativa p_1 é de $1,3 \text{ MPa}$, qual o diâmetro da tubagem que permitiria duplicar o caudal que vai para B?



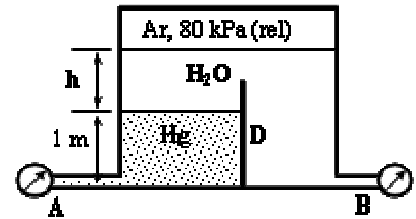
5. (4 v) - A elevação de pressão, Δp , produzida por uma bomba centrífuga pode ser assumida como uma função do diâmetro do impulsor, D , da velocidade de rotação, ω , da massa volúmica do fluido que a atravessa, ρ , e do caudal volúmico escoado, Q . Uma bomba modelo, com um impulsor de 20 cm de diâmetro, foi testada em laboratório, com água, rodando a uma velocidade $\omega=40\pi \text{ rad/s}$, tendo-se obtido o gráfico representado na figura.

- Qual a elevação de pressão que poderá esperar-se de uma bomba geometricamente semelhante, cujo impulsor tem 30 cm de diâmetro, se ela girar a $60\pi \text{ rad/s}$, para um caudal de água de 162 l/s ?
- Comente a afirmação: "O facto de a situação que se pretende analisar em a) envolver um caudal fora da gama de caudais ensaiados faz com que a solução esteja afectada de um erro que só poderia ser completamente eliminado ensaiando o modelo com caudais muito superiores".



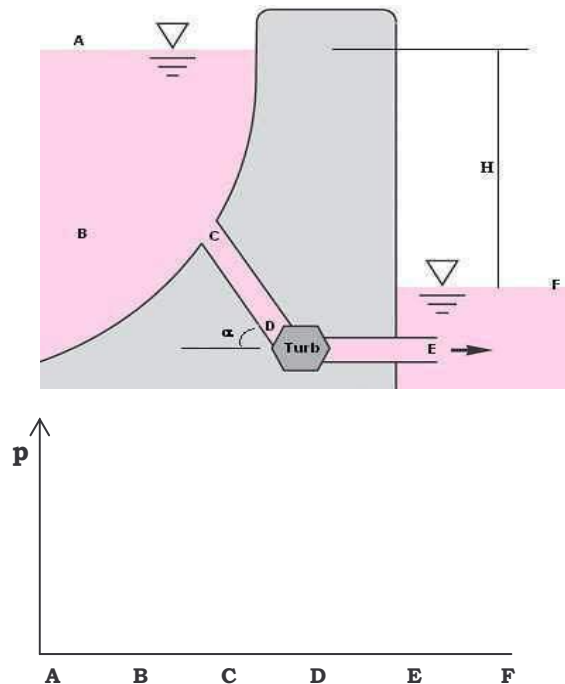
1. (4v) Considere o reservatório representado na figura. Se o manómetro **A** indica uma pressão absoluta de 350 kPa, determine, considerando que a densidade do mercúrio, Hg, é de 13,6:

- a) O valor de **h** e a leitura do manómetro **B**.
- b) A resultante das forças hidrostáticas sobre a divisória **D** (considere **h**=3 m e 0,4 m para a dimensão da divisória na direcção perpendicular ao plano da figura).



2. (7v) O sistema hídrico ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) representado na figura opera em regime permanente entre duas albufeiras. Admite-se que a totalidade das ‘perdas’ de energia podem ser expressas por $e_p = 3g\dot{V}^2 [\text{J/kg}]$.

- a) Determine a potência da turbina para $H=30 \text{ m}$ e $\dot{V} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$.
- b) Determine o caudal que maximiza a potência da turbina neste aproveitamento. Justifique a existência desta quantidade.
- c) Admitindo o escoamento ideal, esboce a evolução da pressão estática utilizando o conjunto de pontos A→F.
- d) Supondo flexíveis as ligações da turbina à conduta, determine a componente horizontal da força necessária para manter a turbina fixa. Qual a principal causa dessa força?



Dados: $\dot{V} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$; $p_D=264 \text{ kPa}$ (rel); $p_E=10 \text{ kPa}$ (rel); área da secção da conduta= $0,5 \text{ m}^2$; $\alpha=37^\circ$.

3. (4 v) Um escoamento incompressível apresenta o seguinte campo de velocidades:

$$\vec{V} = Cx\vec{i} + Cy\vec{j} - 2Cz\vec{k} \quad \wedge \quad C = \text{const.}$$

- Verifique se este campo satisfaz a lei de conservação da massa.
- Determine a aceleração no ponto (1,1,1) para $C=1 \text{ s}^{-1}$.
- Se $\vec{g} = -g\vec{k}$ e $p(0,0,0)=P_0$, determine a pressão no ponto (1,1,0) para $C=1 \text{ s}^{-1}$.

4. (5 v) Pretende-se estudar o funcionamento da hélice de um navio, em particular os efeitos de superfície, num modelo à escala 1:10, sendo os ensaios também conduzidos em água salgada. Em particular, é necessário prever qual o binário necessário para accionar a hélice.

- Se a velocidade de rotação da hélice for de 600 rpm, qual deverá ser a velocidade de rotação do modelo?
- Qual deverá ser o binário necessário para accionar a hélice do navio numa dada situação, sabendo que em condições de semelhança dinâmica foram medidos no modelo 1,2 N.m?
(Se não resolveu a) tome 1900 rpm como a velocidade de rotação da hélice do modelo)
- Que diferenças existiriam na formulação do problema caso se tratasse de um submarino, destinado, fundamentalmente, a navegar em profundidade?

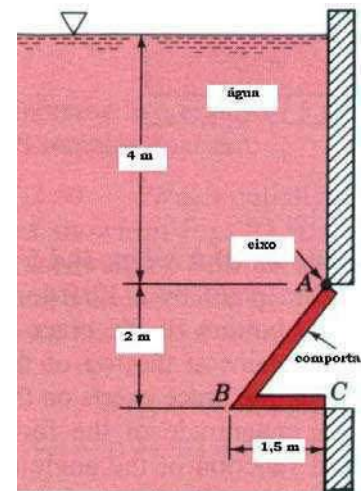
1. (4 v) Uma comporta (ABC) com a forma mostrada na figura, susceptível de rodar em torno do eixo A, tem 2,5 m de largura (normal ao plano representado) e funciona num reservatório que contém água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$).

a) Determine o valor da componente horizontal da resultante das forças de pressão exercidas sobre a comporta.

b) Caracterize a força mínima a aplicar em C para manter a comporta em equilíbrio.

c) Comente a afirmação seguinte:

“Se em vez de água se tratasse de um fluido com uma densidade superior, o centro das pressões exercidas sobre a face inclinada da comporta estaria mais próximo da superfície livre do líquido”.



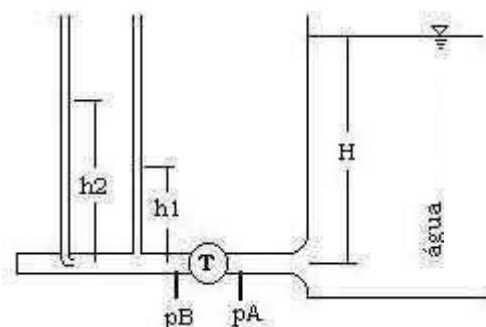
2 (7 v) – A turbina T, intercalada numa tubagem com uma secção transversal de $0,1 \text{ m}^2$, conforme mostra a figura, desenvolve uma potência de 75 kW para um caudal de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Admitindo tratar-se de um escoamento ideal, com a saída da tubagem a descarregar livremente para a atmosfera, calcule:

a) As alturas h_1 e h_2 .

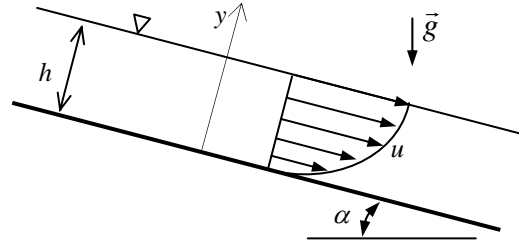
b) O desnível H e a diferença de pressões $\Delta p=p_A-p_B$.

c) A componente horizontal da força de ligação entre a conduta e o reservatório.



3. (4 v) O escoamento laminar de um líquido viscoso forma um filme de espessura uniforme (h), ao longo de um plano inclinado (ângulo de inclinação α) e apresenta o seguinte campo de velocidades:

$$\vec{V} = Cy(2h - y)\vec{i} \quad \wedge \quad C = \text{const.}$$



Justificando convenientemente as hipóteses assumidas,

- Determine a razão entre as velocidades média e máxima.
- Mostre que este campo satisfaz a lei de conservação da massa.
- Determine a constante C em função das propriedades do fluido (ρ , μ) e do ângulo α .

4 (5 v) – Pretende-se estudar, num túnel de vento que permite obter velocidades da ordem de grandeza dos 40 m/s, um modelo à escala 1:50 de uma turbina eólica cujas pás têm 20 m de comprimento, com a potência nominal de 1100 kW, atingida para uma velocidade de vento de 54 km/h e uma velocidade de rotação de 30 r.p.m..

(Propriedades do ar: $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$, $\nu=1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

- Diga quais as regras que deveriam ser respeitadas para que a simulação produzisse resultados transponíveis para o caso real, comentando eventuais dificuldades na sua concretização e sugerindo formas de as ultrapassar.
- Admita que os efeitos da viscosidade não são relevantes para a gama de números de Reynolds que caracteriza os fenómenos aqui em causa.

Para simular a velocidade a que roda o protótipo, qual a velocidade angular que deverá animar o modelo?

Qual a potência que pode esperar-se do modelo nestas condições de ensaio?

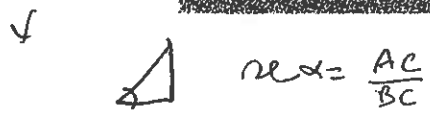
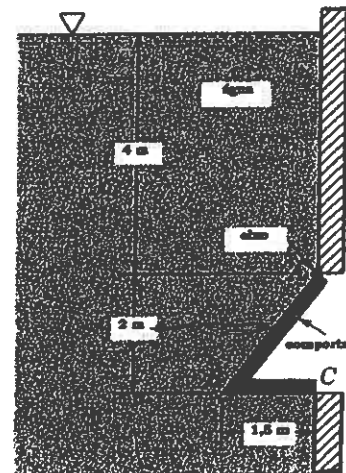
Comente os resultados que obteve, referindo eventuais implicações destas condições de ensaio em outros aspectos importantes do escoamento.

- Verifica-se, na prática, que para valores do número de Reynolds acima dos 10^6 (referido ao comprimento da pá), os efeitos da viscosidade no escoamento em torno da pá são quase independentes daquele parâmetro.

Com o modelo a girar a 4000 r.p.m. e a velocidade do túnel a 40 m/s, estará garantida essa independência?

1. (4 v) Uma comporta (ABC) com a forma mostrada na figura, susceptível de rodar em torno do eixo A, tem 2,5 m de largura (normal ao plano representado) e funciona num reservatório que contém água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$).

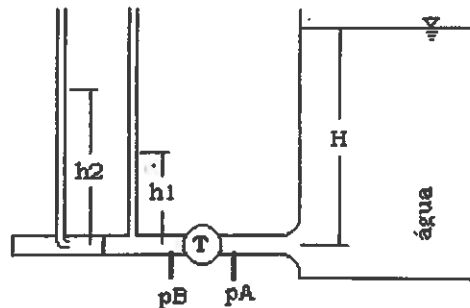
- a) Determine o valor da componente horizontal da resultante das forças de pressão exercidas sobre a comporta.
- b) Caracterize a força mínima a aplicar em C para manter a comporta em equilíbrio.
- c) Comente a afirmação seguinte:
"Se em vez de água se tratasse de um fluido com uma densidade superior, o centro das pressões exercidas sobre a face inclinada da comporta estaria mais próximo da superfície livre do líquido".



2 (7 v) - A turbina T, intercalada numa tubagem com uma secção transversal de $0,1 \text{ m}^2$, conforme mostra a figura, desenvolve uma potência de 75 kW para um caudal de água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Admitindo tratar-se de um escoamento ideal, com a saída da tubagem a descarregar livremente para a atmosfera, calcule:

- a) As alturas h_1 e h_2 .
- b) O desnível H e a diferença de pressões $\Delta p = p_A - p_B$.
- c) A componente horizontal da força de ligação entre a conduta e o reservatório.

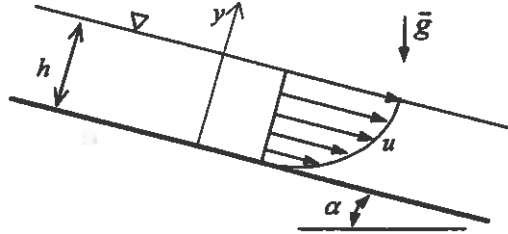


$$p_A - p_B = \rho g h_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} - \rho g h_1 - \rho \frac{v_1^2}{2} \quad (*)$$

$$\Rightarrow p_A - p_B = \rho g (h_2 - h_1) - (H)$$

3. (4 v) O escoamento laminar de um líquido viscoso forma um filme de espessura uniforme (h), ao longo de um plano inclinado (ângulo de inclinação α) e apresenta o seguinte campo de velocidades:

$$\vec{V} = Cy(2h - y)\vec{i} \quad \wedge \quad C = \text{const.}$$



Justificando convenientemente as hipóteses assumidas,

- Determine a razão entre as velocidades média e máxima.
- Mostre que este campo satisfaz a lei de conservação da massa.
- Determine a constante C em função das propriedades do fluido (ρ , μ) e do ângulo α .

4 (5 v) – Pretende-se estudar, num túnel de vento que permite obter velocidades da ordem de grandeza dos 40 m/s, um modelo à escala 1:50 de uma turbina eólica cujas pás têm 20 m de comprimento, com a potência nominal de 1100 kW, atingida para uma velocidade de vento de 54 km/h e uma velocidade de rotação de 30 r.p.m..

(Propriedades do ar: $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

- Diga quais as regras que deveriam ser respeitadas para que a simulação produzisse resultados transponíveis para o caso real, comentando eventuais dificuldades na sua concretização e sugerindo formas de as ultrapassar.
- Admita que os efeitos da viscosidade não são relevantes para a gama de números de Reynolds que caracteriza os fenómenos aqui em causa.

Para simular a velocidade a que roda o protótipo, qual a velocidade angular que deverá animar o modelo?

Qual a potência que pode esperar-se do modelo nestas condições de ensaio?

Comente os resultados que obteve, referindo eventuais implicações destas condições de ensaio em outros aspectos importantes do escoamento.

- Verifica-se, na prática, que para valores do número de Reynolds acima dos 10^6 (referido ao comprimento da pá), os efeitos da viscosidade no escoamento em torno da pá são quase independentes daquele parâmetro.

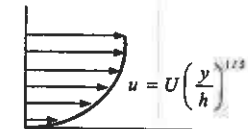
Com o modelo a girar a 4000 r.p.m. e a velocidade do túnel a 40 m/s, estará garantida essa independência?

97	$\frac{x}{D_f} = \phi\left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{\gamma_f D_f}{\rho U^2}\right)$	
98	a) $\frac{D^4 \Delta P}{\rho \dot{V}^2} = \phi\left(\frac{D^3 n}{\dot{V}}, \frac{\rho \dot{V}}{D \mu}\right)$	
99	a) $\frac{\dot{V}}{\sqrt{d^3 g}} = \phi\left(\frac{P_{int}}{\rho g d}, \frac{\sqrt{d^3 g}}{v}, \frac{d}{H}\right)$	
100	a) $\frac{f D}{U} = \phi\left(\frac{\rho U D}{\mu}, \frac{H}{D}\right)$, b) 29.6 Hz	
101	a) $\frac{P_{ot}}{\rho U^3 D^2} = \phi\left(\frac{D \Omega}{U}, \frac{\rho U D}{\mu}\right)$	
102	a) $\frac{\Delta P}{\rho U^2} = \phi\left(\frac{\rho U D}{\mu}\right)$	
103	a) $\frac{Mg}{\rho U^2 D^2} = \phi\left(\frac{\rho U D}{\mu}\right)$, b) $(Mg)_m = (Mg)_p$	
104	a) $\frac{\dot{m}}{D \mu} = \phi\left(\frac{H}{D}, \frac{D^3 \rho^2 g}{\mu^2}\right)$, b) 1:5.17	
105	$\frac{V_{AL}}{V_{\infty}} = 0.33$	
106	a) $\frac{l}{h} = \phi\left(\frac{H}{h}, \frac{\rho V h}{\mu}\right)$, b) $h_m = 0.005$ m, $V_m = 1.67$ m/s	
107		
108		
109	1.24 h	
110	125.9 m/s, 16.3 bar	
111	162 N.m	
112	b) 326.9 Pa	
113	a) $\frac{h}{d} = \phi\left(\frac{\sigma}{\gamma d^2}, \theta\right)$, b) 1,5 cm	



1. (3 v) - Um escoamento em canal aberto obedece à seguinte lei de distribuição de velocidades:

$$\bar{v} = U \left(\frac{y}{h}\right)^{1/3} \quad \bar{i} \quad (0 < y \leq h)$$



onde U é a velocidade na superfície livre, y a distância ao fundo do canal e h a profundidade.

- a) Determine a velocidade média do escoamento, apresentando o resultado como uma fracção de U .
- b) Recorrendo à lei de Newton da viscosidade, mostre que a lei de distribuição de velocidades sugerida não é adequada para descrever a variação da velocidade do escoamento na vizinhança da parede (fundo do canal).

2. (4 v) - Um veículo com um comprimento característico de 2 m e uma área característica de 2 m² foi testado num túnel de vento ($p = p_{atm} = 100$ kPa; $T = 20$ °C; $\mu = 1,825 \times 10^{-5}$ Pa.s), tendo-se obtido os seguintes resultados da força aerodinâmica em função da velocidade:

V [km/h]	40	80	120
F [N]	50	195	425

- a) Recorrendo aos conceitos de análise dimensional e semelhança, avalie a força aerodinâmica a que o mesmo veículo está sujeito quando se desloca a 130 km/h a uma altitude de 1900 m ($p_{atm} = 80$ kPa; $T = 0$ °C).

Justifique convenientemente os passos fundamentais do seu raciocínio.

Despreze a variação da viscosidade do ar com a pressão. $R_{ar} = 287$ J/kg.K.

- b) Comente a afirmação: 'A transposição dos resultados laboratoriais para o caso real não é, neste caso, totalmente legítima, por obrigar a uma situação de extrapolação, uma vez que a velocidade, no caso real, está fora da gama das velocidades testadas.'

Dados: $\dot{V} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$; $p_D = 264 \text{ kPa}$ (rel); $p_E = 10 \text{ kPa}$ (rel); área da secção da conduta = $0,5 \text{ m}^2$; $\alpha = 37^\circ$.

3. (4 v) Um escoamento incompressível apresenta o seguinte campo de velocidades:

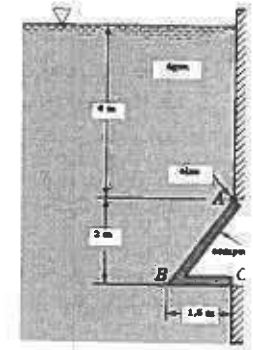
$$\vec{V} = Cx\vec{i} + Cy\vec{j} - 2Cz\vec{k} \quad \wedge \quad C = \text{const.}$$

- Verifique se este campo satisfaz a lei de conservação da massa.
- Determine a aceleração no ponto (1,1,1) para $C = 1 \text{ s}^{-1}$.
- Se $\vec{g} = -g\vec{k}$ e $p(0,0,0) = P_0$, determine a pressão no ponto (1,1,0) para $C = 1 \text{ s}^{-1}$.

4. (5 v) Pretende-se estudar o funcionamento da hélice de um navio, em particular os efeitos de superfície, num modelo à escala 1:10, sendo os ensaios também conduzidos em água salgada. Em particular, é necessário prever qual o binário necessário para accionar a hélice.

- Se a velocidade de rotação da hélice for de 600 rpm, qual deverá ser a velocidade de rotação do modelo?
- Qual deverá ser o binário necessário para accionar a hélice do navio numa dada situação, sabendo que em condições de semelhança dinâmica foram medidos no modelo 1,2 N.m?
(Se não resolveu a) tome 1900 rpm como a velocidade de rotação da hélice do modelo)
- Que diferenças existiriam na formulação do problema caso se tratasse de um submarino, destinado, fundamentalmente, a navegar em profundidade?

1. (4 v) Uma comporta (ABC) com a forma mostrada na figura, susceptível de rodar em torno do eixo A, tem 2,5 m de largura (normal ao plano representado) e funciona num reservatório que contém água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$).

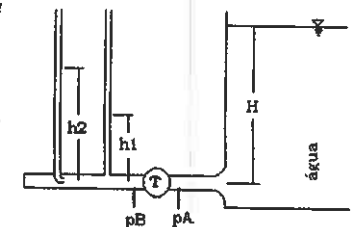


- Determine o valor da componente horizontal da resultante das forças de pressão exercidas sobre a comporta.
- Caracterize a força mínima a aplicar em C para manter a comporta em equilíbrio.
- Comente a afirmação seguinte:
"Se em vez de água se tratasse de um fluido com uma densidade superior, o centro das pressões exercidas sobre a face inclinada da comporta estaria mais próximo da superfície livre do líquido".

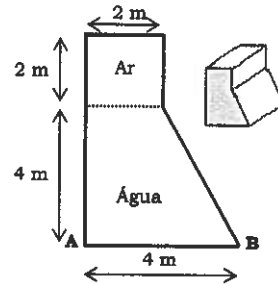
2 (7 v) – A turbina T, intercalada numa tubagem com uma secção transversal de $0,1 \text{ m}^2$, conforme mostra a figura, desenvolve uma potência de 75 kW para um caudal de água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Admitindo tratar-se de um escoamento ideal, com a saída da tubagem a descarregar livremente para a atmosfera, calcule:

- As alturas h_1 e h_2 .
- O desnível H e a diferença de pressões $\Delta p = p_A - p_B$.
- A componente horizontal da força de ligação entre a conduta e o reservatório.

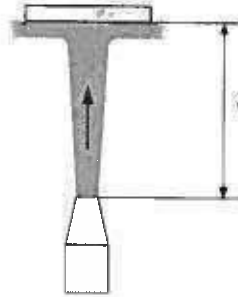


3. (4 v) - A figura representa uma das paredes verticais de um tanque fechado contendo ar a uma pressão relativa de 40 kPa e água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$). A dimensão do tanque na direcção normal ao plano da figura é de 4 m.



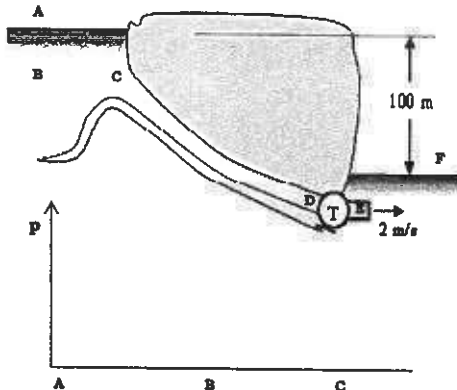
- a) Determine a resultante das forças exercidas pelos fluidos na parede do tanque.
- b) Determine o momento resultante das forças calculadas em a) em relação ao eixo AB.

4. (4 v) - Um jacto de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$), vertical, sai de uma agulheta com um diâmetro de 20 mm, à velocidade de 10 m/s. Consegue assim manter suspensa a uma altura h acima da saída uma placa com uma massa de 1,5 kg, conforme indicado na figura.



- a) Comente a seguinte afirmação: "A secção do jacto tem forçosamente de variar com a altura pois o caudal também varia".
- b) Calcule a distância vertical h .

5. (5 v) O sistema hídrico ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) representado na figura opera em regime permanente entre duas albufeiras, efectuando-se a descarga da turbina com uma velocidade de 2 m/s.



- a) Determine a potência da turbina para um caudal de $20 \text{ m}^3/\text{s}$.
- b) Que vantagens e/ou inconvenientes haverá se a descarga se efectuar ao nível da superfície livre da segunda albufeira? Justifique a resposta.
- c) Esboce a evolução da pressão estática ao longo do escoamento (pontos A a F).

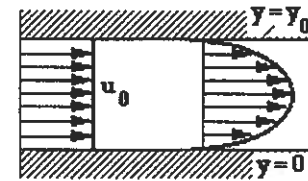


1. (4 v) - Um escoamento laminar num canal formado por duas placas planas paralelas de grandes dimensões apresenta, à entrada, uma distribuição de velocidades uniforme, $u_0=4 \text{ cm/s}$, evoluindo para um perfil parabólico do tipo

$$u(y) = k y (y_0 - y)$$

onde k é uma constante.

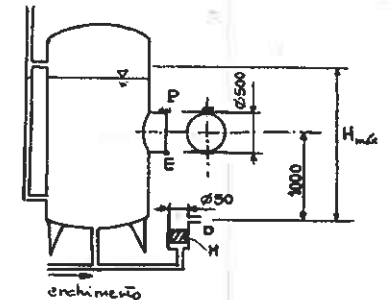
Sabendo que o fluido em causa é glicerina ($\rho=1250 \text{ kg/m}^3$; $\mu=1,5 \text{ kg/m/s}$), e que o afastamento entre as placas é de 1 cm, calcule:



- a) As velocidades média e máxima.
- b) Admitindo para k o valor de $2500 \text{ m}^{-1}\text{s}^{-1}$, calcule a força de arrastamento, por unidade de área, induzida pelo escoamento nas placas na zona de perfil de velocidades perfeitamente desenvolvido.

c) Diga de que forma varia a pressão, caso entenda que varia, desde uma secção a 1 metro da entrada do canal (escoamento já perfeitamente desenvolvido) até outra a 2 metros da entrada. Justifique convenientemente a sua resposta.

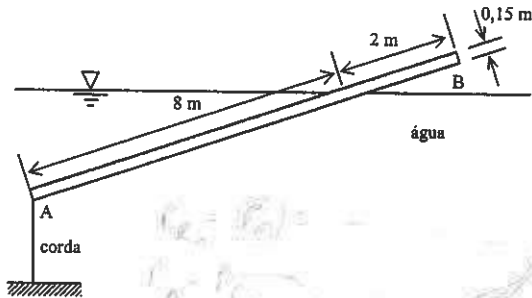
2. (4 v) - A figura representa um reservatório de combustível líquido ($\rho=680 \text{ kg/m}^3$), provido de um limitador de nível constituído por uma massa cilíndrica M , susceptível de se elevar por acção da pressão, abrindo a passagem do líquido para um tubo de descarga D.



- a) Calcule o valor da massa M para garantir um nível máximo de enchimento $H_{m\acute{a}x}=2 \text{ m}$.
- b) Se a tampa circular puder rodar em torno do eixo E, qual o esforço a que estará sujeito o parafuso de fixação P, na situação de enchimento máximo?

b) Qual o valor da queda de pressão por unidade de comprimento num tubo de diâmetro igual a 3 mm, para um caudal de 100 ml/s?

3. (5 v) - Uma viga de madeira com 10 m de comprimento, 0,35 m de largura (normal ao plano da figura) e 0,15 m de espessura, está parcialmente mergulhada num reservatório de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) e segura ao fundo através de uma corda numa das suas extremidades, conforme mostra a figura



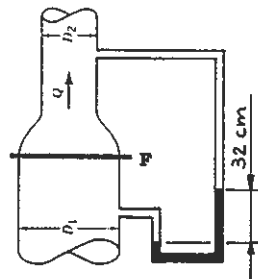
- b) Determine a massa volúmica da madeira.
b) Determine a força exercida sobre a corda.

4 (7 v) - Água a 54°C ($p_v=15000 \text{ Pa}$; $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) escoá-se na vertical, de baixo para cima, através de um Venturi onde a conduta contrai de um diâmetro $D_1=100 \text{ mm}$ para $D_2=50 \text{ mm}$.

O caudal que se escoá é avaliado por meio de um manómetro de mercúrio ($d=13,6$), conforme se mostra na figura.

Admita que se trata de um escoamento ideal e que $p_{atm}=100 \text{ kPa}$.

- a) Qual o caudal que se escoá na situação figurada?
b) Sendo a pressão na secção maior 110 kPa (abs.), qual o máximo valor de caudal que poderia escoar-se sem se verificar a ocorrência de cavitação?



Para um escoamento real chegar-se-ia a um valor inferior ou superior para esse caudal? Justifique.

- c) Admitindo que a montante e a jusante do Venturi existem ligações flexíveis com o resto da tubagem e que se mantém a pressão na secção maior $p_1=110 \text{ kPa}$, calcule o esforço a que estão sujeitos os parafusos da flange F se o caudal escoado for de 25 l/s ($p_2=34 \text{ kPa}$).

Nota: Para efeitos dos cálculos nas alíneas b) e c) despreze a variação de energia potencial na passagem de uma secção para a outra.



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

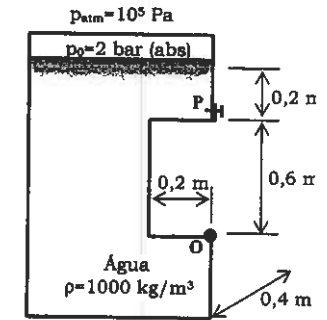
LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA
3º ANO

MECÂNICA DOS FLUIDOS I

Recurso - 8 de Fevereiro de 2007

1. (5 v) - A figura representa, em corte, parte de um reservatório. A comporta rígida OP, articulada em O e ligada por parafusos em P, tem 0,4 m de largura (direcção normal ao plano da figura).

- a) Esboce o diagrama das pressões relativas no lado interior da comporta.
b) Determine a solicitação a que estão sujeitos os parafusos em P para compensar a acção das forças hidrostáticas exercidas sobre a comporta.



- c) Diga como resolveria a mesma questão se o fluido no depósito fosse água salgada e a salinidade aumentasse com a profundidade.

2. (5 v) - Uma bomba centrífuga para água tem um desempenho traduzido num caudal de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e uma elevação de pressão de 400 kPa entre a entrada e a saída, com o rotor girando a 750 rpm. Os testes para o seu aperfeiçoamento (aumento da elevação de pressão) são efectuados num modelo laboratorial em escala reduzida, também com água, sendo o caudal de ensaio 300 l/s.

- a) Liste as variáveis que intervêm neste escoamento e encontre os correspondentes grupos adimensionais, recorrendo ao teorema dos PI de Buckingham.

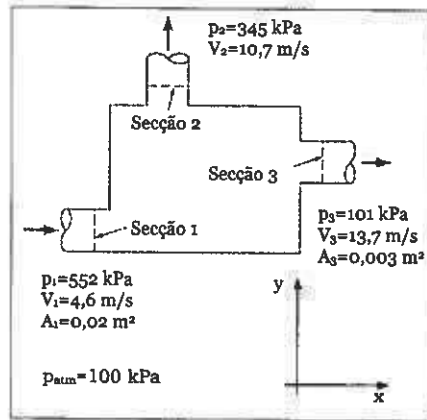
Sabendo que as condições do ensaio asseguram a semelhança dinâmica dos dois escoamentos, qual o factor de escala que foi utilizado na construção do modelo e a que velocidade de rotação deve o mesmo rodar?

- b) Qual a elevação de pressão que a bomba modelo produz no ensaio laboratorial?

3. (6 v) – Um líquido entra numa máquina pela secção 1 e sai pelas secções 2 e 3,

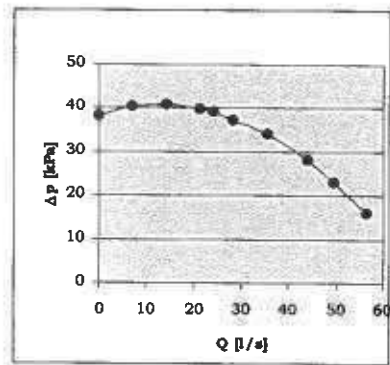
conforme mostra a figura. A massa volúmica do fluido é de 1000 kg/m^3 e as pressões indicadas são absolutas. Todas as entradas e saídas estão no mesmo plano horizontal, e o escoamento pode ser considerado ideal e adiabático.

- a) Calcule a potência que a máquina deve trocar com o exterior para que o escoamento se produza nas condições indicadas.
- b) Qual a força, intensidade e sentido, que é necessário aplicar na direcção yy para manter fixo o dispositivo?



4. (4 v) – A elevação de pressão, Δp , produzida por uma bomba centrífuga pode ser assumida como uma função do diâmetro do impulsor, D , da velocidade de rotação, ω , da massa volúmica do fluido que a atravessa, ρ , e do caudal volúmico escoado, Q . Uma bomba modelo, com um impulsor de 20 cm de diâmetro, foi testada em laboratório, com água, rodando a uma velocidade $\omega = 40\pi \text{ rad/s}$, tendo-se obtido o gráfico representado na figura.

- a) Qual a elevação de pressão que poderá esperar-se de uma bomba geometricamente semelhante, cujo impulsor tem 30 cm de diâmetro, se ela girar a $60\pi \text{ rad/s}$, para um caudal de água de 162 l/s ?
- b) Comente a afirmação: "O facto de a situação que se pretende analisar em a) envolver um caudal fora da gama de caudais ensaiados faz com que a solução esteja afectada de um erro que só poderia ser completamente eliminado ensaiando o modelo com caudais muito superiores".



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

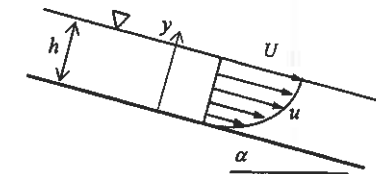
LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA
3º ANO

MECÂNICA DOS FLUIDOS I

Recurso – 6 de Fevereiro de 2006

1. (4 v) – Uma camada fina de glicerina ($\rho = 1260 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 1,49 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), de espessura uniforme $h = 1 \text{ cm}$, escoar-se ao longo de uma superfície plana inclinada (ângulo $\alpha = 20^\circ$), em regime permanente.

A variação da velocidade com a distância à parede, y , é traduzida pela equação que se indica abaixo, onde U é a velocidade na superfície livre.



$$\frac{u}{U} = \frac{2y}{h} - \left(\frac{y}{h}\right)^2 \quad [0 \leq y \leq h]$$

Considere o escoamento como sendo monodimensional.

- a) Determine a relação entre a velocidade média e a velocidade U .
- b) Qual o valor da velocidade na superfície livre?

2. (4 v) – Em escoamento laminar a queda de pressão por unidade de comprimento (ΔP) num escoamento de sangue ao longo de um tubo horizontal, de pequeno diâmetro, é função do caudal (Q), do diâmetro (D) e da viscosidade (μ).

A tabela mostra os valores obtidos numa série de testes experimentais em que $\mu = 0,004 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$, o diâmetro do tubo era de 2 mm e o comprimento $l = 300 \text{ mm}$.

Q (m ³ /s)	ΔP (N/m ²)
$3,6 \times 10^{-6}$	$1,100 \times 10^4$
$4,9 \times 10^{-6}$	$1,497 \times 10^4$
$6,3 \times 10^{-6}$	$1,925 \times 10^4$
$7,9 \times 10^{-6}$	$2,414 \times 10^4$
$9,8 \times 10^{-6}$	$2,994 \times 10^4$

- a) Encontre uma relação adimensional que traduza as relações de forças intervenientes neste problema.

3. (3 v) - O escoamento, incompressível e permanente, de um fluido newtoniano de propriedades μ e ρ tem, nos três eixos coordenados, as componentes de velocidade

$$u = ay - b(cy - y^2) \quad v = w = 0 \quad (zz \text{ vertical})$$

onde a , b e c são constantes.

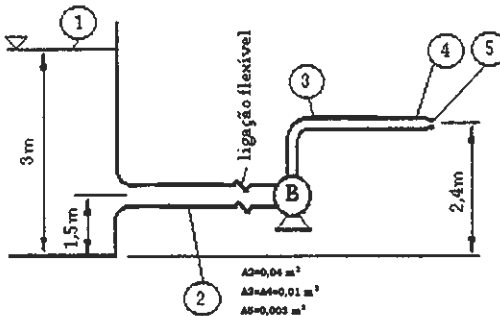
- a) Encontre uma expressão para o gradiente de pressões na direcção xx .
 b) Qual a combinação das constantes a , b e c , caso exista, que conduziria a uma tensão de corte τ_{xy} nula para $y=0$, ponto onde a velocidade é nula?

4. (5 v) - A bomba representada esquematicamente na figura assegura um caudal de $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$), lançando, à saída (ponto 5), um jacto para a atmosfera. Admita tratar-se de um escoamento ideal.

- a) Determine a potência da bomba, assumindo que ela é 100 % eficiente.
 b) Caracterize a força que a bomba exerce sobre o seu suporte, em resultado do escoamento, desprezando o peso da água.

- c) Comente a afirmação seguinte:

“Mesmo que os diâmetros da conduta antes e depois da bomba fossem iguais, a velocidade em 3 seria sempre superior à velocidade em 2, devido à aceleração que a bomba impõe ao escoamento”.



5. (4 v) - A queda de pressão do escoamento num tubo de 25 mm de diâmetro interno, destinado ao transporte de gasolina ($\rho=680 \text{ kg/m}^3$; $\mu=3 \times 10^{-4} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$), a uma velocidade de 30 cm/s, vai ser estudada num teste laboratorial utilizando o mesmo tubo, mas com um escoamento de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu=10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$).

- a) Qual a velocidade de escoamento que deverá ser utilizada no ensaio, e porquê?
 b) Utilizando a velocidade de escoamento apropriada, foi medida no ensaio uma queda de pressão de 80 Pa/m.

Qual a queda de pressão, por unidade de comprimento do tubo, esperada no escoamento de gasolina?

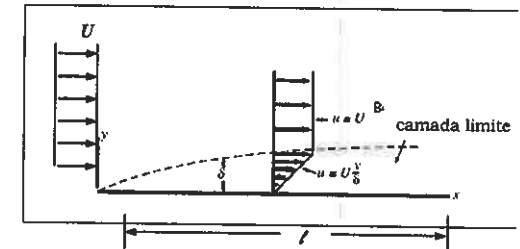
- c) O que entende por dois escoamentos dinamicamente semelhantes, e como pode assegurar-se essa condição?



1. (5 v) – O escoamento de um fluido viscoso sobre uma placa plana dá origem à formação de uma camada fina, próxima da placa, onde a velocidade u varia desde zero, na fronteira sólida, até próximo da velocidade não perturbada, U .

A esta camada chama-se “camada limite” e a sua espessura, δ , aumenta com a distância ao longo da placa. Suponha, numa abordagem simplificada, que:

$$u = U \left(\frac{y}{\delta} \right) \quad \text{e} \quad \delta = 3,5 \sqrt{\nu x / U}$$



onde ν é a viscosidade cinemática do fluido cuja massa volúmica é ρ .

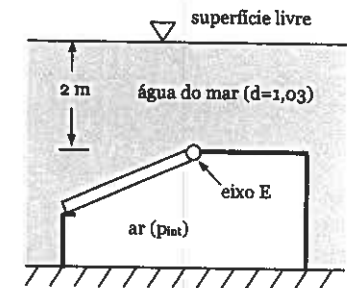
- a) Calcule o valor da tensão de corte junto à parede num ponto a 5 m do início da placa, se a velocidade não perturbada, U , for de 10 m/s para um fluido de propriedades $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$ e $\nu=1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

- b) Encontre uma expressão para a força de arrasto que se desenvolveria sobre a placa, cuja largura (dimensão normal ao plano da figura) é b , ao longo de um comprimento l .

2. (5 v) – A câmara mostrada esquematicamente na figura está fixa ao fundo do oceano. Uma tampa circular, com 2 m de diâmetro, inclinada de 30° relativamente à horizontal e articulada num ponto E, impede que o ar saia para o exterior.

- a) Determine a pressão mínima necessária no interior da câmara para abrir a tampa (sentido dos ponteiros do relógio), desprezando o seu peso próprio.

- b) Diga em que aspectos diferiria o procedimento para encontrar a solução deste problema se, em vez de ar, o fluido encerrado na câmara fosse um líquido de densidade inferior à da água.

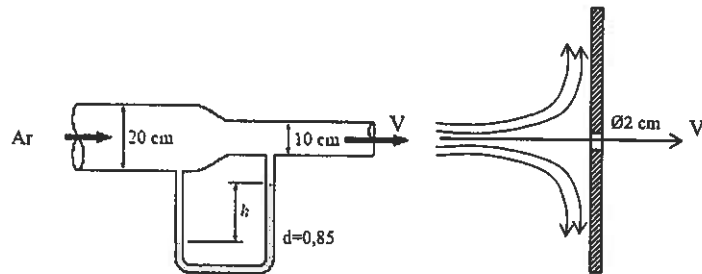


(Se não resolveu a alínea anterior, considere o factor de escala 1:4 e a velocidade de rotação do modelo 12000 rpm).

c) Qual a relação entre as potências absorvidas pela bomba e pelo seu modelo?

Comente este resultado e os das alíneas precedentes, e diga se lhe parece mais conveniente a utilização de outro fluido de ensaio, por exemplo um óleo com densidade semelhante à da água e viscosidade 10 vezes superior.

3. (7 v) - Ar ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$) escoa-se através de uma conduta, saindo para a atmosfera em forma de jacto e incidindo depois numa placa perfurada, conforme indicado na figura. Assuma tratar-se de um escoamento ideal.



- Mostre que o arranjo conduta/manómetro proporciona uma forma de medição do caudal em escoamento e determine o seu valor quando o desnível, h , observado no manómetro é de 44 mm.
- Supondo que o ar é proveniente da atmosfera, qual deverá ser a potência de um ventilador para que a velocidade do jacto na saída seja de 25 m/s?
- Para a mesma velocidade do jacto, determine a componente horizontal da força necessária para manter fixa a placa perfurada.

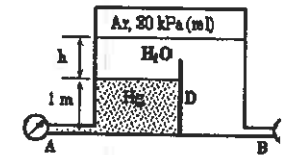
4. (3 v) - Considere o campo de velocidades do escoamento de um fluido incompressível,

$$u = ay, \quad v = bx, \quad w = 0$$

num sistema de coordenadas cartesianas.

Encontre uma expressão para o campo de pressões deste escoamento.

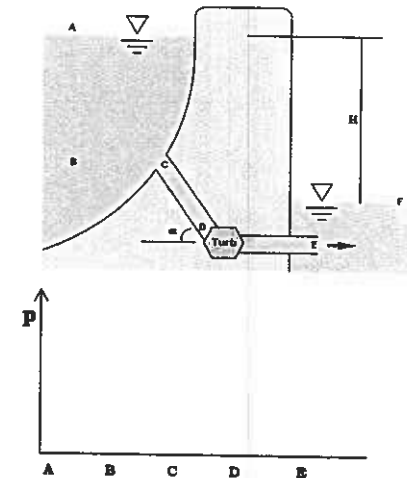
1. (4v) Considere o reservatório representado na figura. Se o manómetro A indica uma pressão absoluta de 350 kPa, determine, considerando que a densidade do mercúrio, Hg, é de 13,6:



- O valor de h e a leitura do manómetro B.
- A resultante das forças hidrostáticas sobre a divisória D (considere $h=3 \text{ m}$ e $0,4 \text{ m}$ para a dimensão da divisória na direcção perpendicular ao plano da figura).

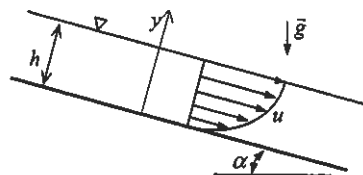
2. (7v) O sistema hídrico ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) representado na figura opera em regime permanente entre duas albufeiras. Admite-se que a totalidade das 'perdas' de energia podem ser expressas por $e_p = 3g\dot{V}^2 \text{ [J/kg]}$.

- Determine a potência da turbina para $H=30 \text{ m}$ e $\dot{V} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Determine o caudal que maximiza a potência da turbina neste aproveitamento. Justifique a existência desta quantidade.
- Admitindo o escoamento ideal, esboce a evolução da pressão estática utilizando o conjunto de pontos A→F.
- Supondo flexíveis as ligações da turbina à conduta, determine a componente horizontal da força necessária para manter a turbina fixa. Qual a principal causa dessa força?



3. (4 v) O escoamento laminar de um líquido viscoso forma um filme de espessura uniforme (h), ao longo de um plano inclinado (ângulo de inclinação α) e apresenta o seguinte campo de velocidades:

$$\vec{V} = Cy(2h - y)\vec{i} \quad \wedge \quad C = \text{const.}$$



Justificando convenientemente as hipóteses assumidas,

- Determine a razão entre as velocidades média e máxima.
- Mostre que este campo satisfaz a lei de conservação da massa.
- Determine a constante C em função das propriedades do fluido (ρ , μ) e do ângulo α .

4 (5 v) – Pretende-se estudar, num túnel de vento que permite obter velocidades da ordem de grandeza dos 40 m/s, um modelo à escala 1:50 de uma turbina eólica cujas pás têm 20 m de comprimento, com a potência nominal de 1100 kW, atingida para uma velocidade de vento de 54 km/h e uma velocidade de rotação de 30 r.p.m..

(Propriedades do ar: $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)

- Diga quais as regras que deveriam ser respeitadas para que a simulação produzisse resultados transponíveis para o caso real, comentando eventuais dificuldades na sua concretização e sugerindo formas de as ultrapassar.
- Admita que os efeitos da viscosidade não são relevantes para a gama de números de Reynolds que caracteriza os fenómenos aqui em causa.
Para simular a velocidade a que roda o protótipo, qual a velocidade angular que deverá animar o modelo?
Qual a potência que pode esperar-se do modelo nestas condições de ensaio?
Comente os resultados que obteve, referindo eventuais implicações destas condições de ensaio em outros aspectos importantes do escoamento.
- Verifica-se, na prática, que para valores do número de Reynolds acima dos 10^6 (referido ao comprimento da pá), os efeitos da viscosidade no escoamento em torno da pá são quase independentes daquele parâmetro.
Com o modelo a girar a 4000 r.p.m. e a velocidade do túnel a 40 m/s, estará garantida essa independência?

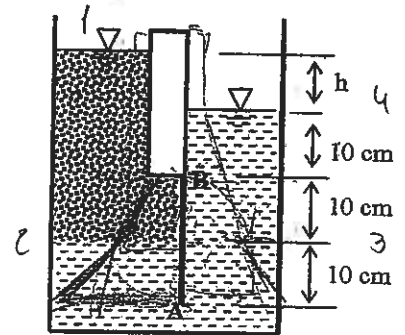
1 (2 v) - A componente na direcção y da velocidade de um escoamento incompressível e bidimensional é dada por:

$$v = x^2 + 2xy$$

Determine a componente na direcção x de forma a satisfazer a lei de conservação da massa.

2 (5 v) - O reservatório esquematizado na figura contém dois líquidos imiscíveis: água ($d=1$) e óleo ($d=0,8$). A placa rectangular AB tem de dimensões 20 cm \times 40 cm.

- Esboce o diagrama de pressões em torno da placa AB.
- Determine o desnível h .
- Para $h=10$ cm, determine o momento em relação a um eixo passando por B, perpendicular ao plano de figura, da força hidrostática exercida pelos líquidos na face esquerda da placa.

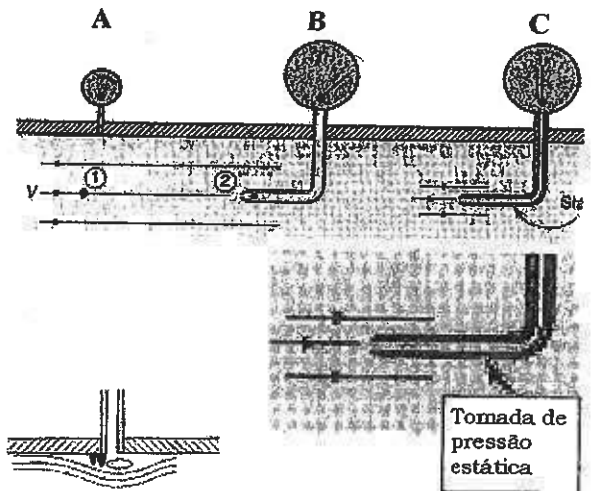


3 (4 v) - Considere o escoamento de ar ($\rho=1,2$ kg/m³; $\nu=10^{-5}$ m²/s; $a=340$ m/s) numa conduta de secção circular conforme mostra a figura.

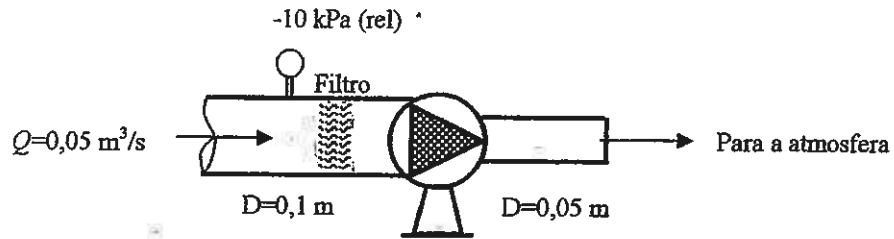
- Identifique quais as grandezas detectadas por cada um dos manómetros diferenciais A, B e C.
- Calcule a ordem de grandeza do número de Mach que caracteriza este escoamento se as leituras dos manómetros A e B forem de 16 mmH₂O e 24 mmH₂O, respectivamente.

Faça um comentário aos efeitos de compressibilidade esperados neste escoamento.

- Diga em que medida uma rebarba a montante do orifício que conduz ao manómetro A afecta a leitura deste.



4 (5 v) - Tenha em conta a instalação de transporte de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) esquematicamente representada na figura. A potência fornecida pela bomba ao escoamento é de 20 kW.



- Determine a potência associada à perda de energia mecânica introduzida pelo filtro.
- Supondo que o peso da bomba é de 1 kN e considerando que as forças de ligação se transmitem unicamente através do suporte, caracterize a força a que o mesmo está sujeito.

5 (4 v) - Um turbina eólica, projectada para uma potência nominal de 500 kW operando com ventos de 72 km/h ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\nu=10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$), para uma velocidade de rotação de 30 rpm, vai ser testada em laboratório num modelo à escala 1:40, cujo rotor tem 1 m de diâmetro.

Admita que a velocidade máxima que é possível produzir no túnel de vento é da mesma ordem de grandeza que a real, e que o valor mínimo do número de Reynolds, calculado com base no diâmetro do rotor, para garantir a correcta simulação da relação entre forças de inércia e de viscosidade é $Re_D=10^5$.

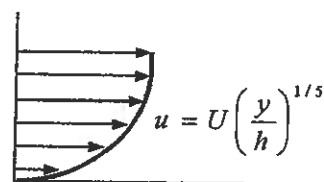
É legítimo realizar a simulação nestas condições?

Qual a velocidade angular a adoptar no ensaio e qual a potência que pode ser esperada do modelo?



1. (3 v) - Um escoamento em canal aberto obedece à seguinte lei de distribuição de velocidades:

$$\vec{v} = U \left(\frac{y}{h} \right)^{1/5} \vec{i} \quad [0 < y \leq h]$$



onde U é a velocidade na superfície livre, y a distância ao fundo do canal e h a profundidade.

- Determine a velocidade média do escoamento, apresentando o resultado como uma fracção de U .
- Recorrendo à lei de Newton da viscosidade, mostre que a lei de distribuição de velocidades sugerida não é adequada para descrever a variação da velocidade do escoamento na vizinhança da parede (fundo do canal).

2. (4 v) - Um veículo com um comprimento característico de 2 m e uma área característica de 2 m² foi testado num túnel de vento ($p = p_{\text{atm}} = 100$ kPa; $T = 20$ °C; $\mu = 1,825 \times 10^{-5}$ Pa.s), tendo-se obtido os seguintes resultados da força aerodinâmica em função da velocidade:

V [km/h]	40	80	120
F [N]	50	195	425

- Recorrendo aos conceitos de análise dimensional e semelhança, avalie a força aerodinâmica a que o mesmo veículo está sujeito quando se desloca a 130 km/h a uma altitude de 1900 m ($p_{\text{atm}} = 80$ kPa; $T = 0$ °C).

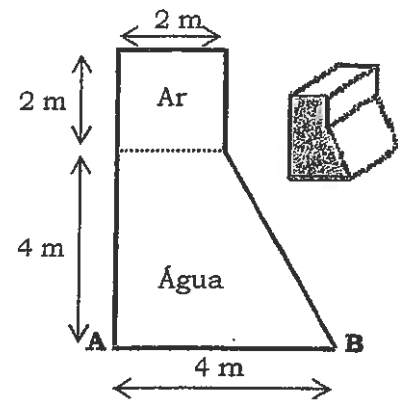
Justifique convenientemente os passos fundamentais do seu raciocínio.

Despreze a variação da viscosidade do ar com a pressão. $R_{\text{ar}} = 287$ J/kg/K.

- Comente a afirmação: 'A transposição dos resultados laboratoriais para o caso real não é, neste caso, totalmente legítima, por obrigar a uma situação de extrapolação, uma vez que a velocidade, no caso real, está fora da gama das velocidades testadas.'

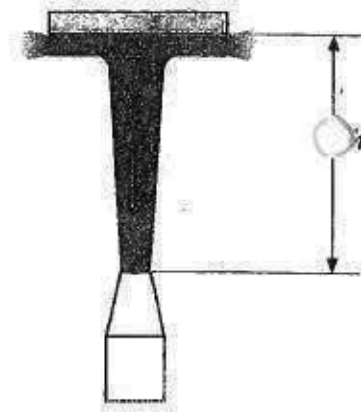
3. (4 v) - A figura representa uma das paredes verticais de um tanque fechado contendo ar a uma pressão relativa de 40 kPa e água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$). A dimensão do tanque na direcção normal ao plano da figura é de 4 m.

- Determine a resultante das forças exercidas pelos fluidos na parede do tanque.
- Determine o momento resultante das forças calculadas em a) em relação ao eixo AB.



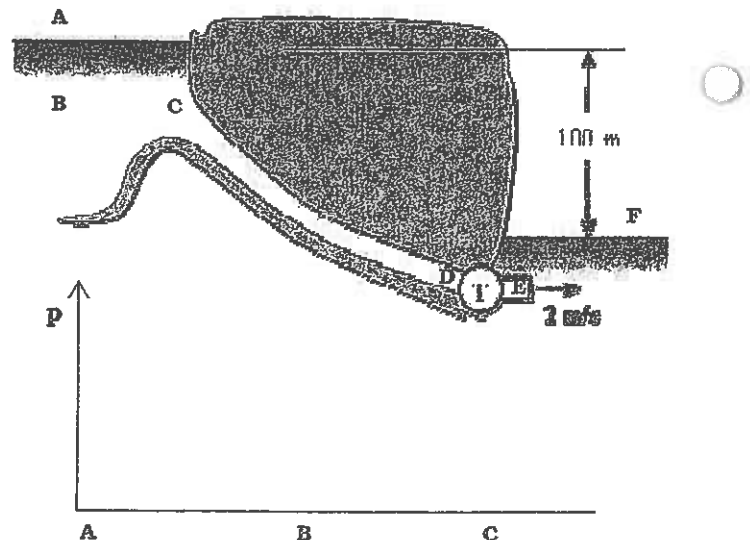
4. (4 v) - Um jacto de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$), vertical, sai de uma agulheta com um diâmetro de 20 mm, à velocidade de 10 m/s. Consegue assim manter suspensa a uma altura h acima da saída uma placa com uma massa de 1,5 kg, conforme indicado na figura.

- Comente a seguinte afirmação:
"A secção do jacto tem forçosamente de variar com a altura pois o caudal também varia".
- Calcule a distância vertical h .



5. (5 v) O sistema hídrico ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) representado na figura opera em regime permanente entre duas albufeiras, efectuando-se a descarga da turbina com uma velocidade de 2 m/s.

- Determine a potência da turbina para um caudal de $20 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Que vantagens e/ou inconvenientes haverá se a descarga se efectuar ao nível da superfície livre da segunda albufeira? Justifique a resposta.
- Esboce a evolução da pressão estática ao longo do escoamento (pontos A a F).

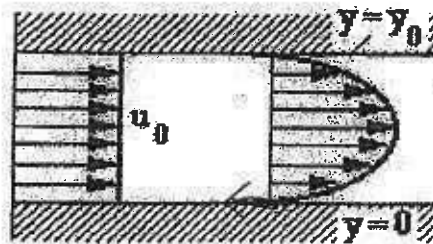


1. (4 v) - Um escoamento laminar num canal formado por duas placas planas paralelas de grandes dimensões apresenta, à entrada, uma distribuição de velocidades uniforme, $u_0=4$ cm/s, evoluindo para um perfil parabólico do tipo

$$u(y) = k y (y_0 - y)$$

onde k é uma constante.

Sabendo que o fluido em causa é glicerina ($\rho=1250$ kg/m³; $\mu=1,5$ kg/m/s), e que o afastamento entre as placas é de 1 cm, calcule:

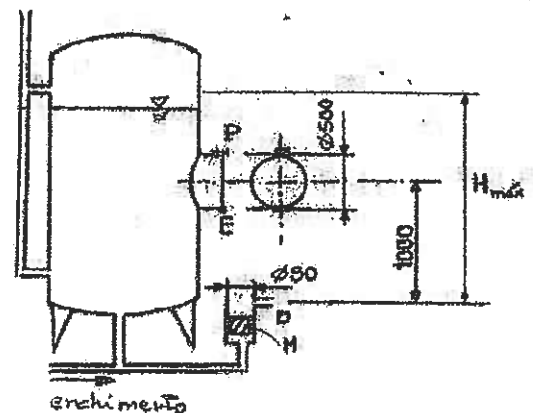


- a) As velocidades média e máxima.
b) Admitindo para k o valor de 2500 m⁻¹s⁻¹ calcule a força de arrastamento, por unidade de área, induzida pelo escoamento nas placas na zona de perfil de velocidades perfeitamente desenvolvido.

- c) Diga de que forma varia a pressão, caso entenda que varia, desde uma secção a 1 metro da entrada do canal (escoamento já perfeitamente desenvolvido) até outra a 2 metros da entrada. Justifique convenientemente a sua resposta.

2. (4 v) - A figura representa um reservatório de combustível líquido ($\rho=680$ kg/m³), provido de um limitador de nível constituído por uma massa cilíndrica M , susceptível de se elevar por acção da pressão, abrindo a passagem do líquido para um tubo de descarga D .

- a) Calcule o valor da massa M para garantir um nível máximo de enchimento $H_{m\acute{a}x}=2$ m.
b) Se a tampa circular puder rodar em torno do eixo E , qual o esforço a que estará sujeito o parafuso de fixação P , na situação de enchimento máximo?



Problemas de Mecânica dos Fluidos I - Ano lectivo 2006-2007

3. (3 v) - O escoamento, incompressível e permanente, de um fluido newtoniano de propriedades ρ e μ tem, nos três eixos coordenados, as componentes de velocidade

$$u = ay - b(cy - y^2) \quad v = w = 0 \quad (zz \text{ vertical})$$

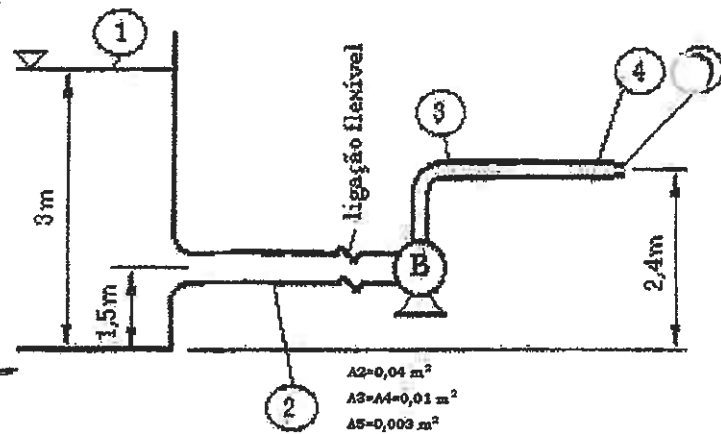
onde a, b e c são constantes.

- Encontre uma expressão para o gradiente de pressões na direcção xx.
- Qual a combinação das constantes a, b e c, caso exista, que conduziria a uma tensão de corte τ_{xy} nula para $y=0$, ponto onde a velocidade é nula?

4. (5 v) - A bomba representada esquematicamente na figura assegura um caudal de $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$), lançando, à saída (ponto 5), um jacto para a atmosfera. Admita tratar-se de um escoamento ideal.

- Determine a potência da bomba, assumindo que ela é 100 % eficiente.
- Caracterize a força que a bomba exerce sobre o seu suporte, em resultado do escoamento, desprezando o peso da água.
- Comente a afirmação seguinte:

“Mesmo que os diâmetros da conduta antes e depois da bomba fossem iguais, a velocidade em 3 seria sempre superior à velocidade em 2, devido à aceleração que a bomba impõe ao escoamento”.



5. (4 v) - A queda de pressão do escoamento num tubo de 25 mm de diâmetro interno, destinado ao transporte de gasolina ($\rho=680 \text{ kg/m}^3$; $\mu=3 \times 10^{-4} \text{ kg/m/s}$), uma velocidade de 30 cm/s, vai ser estudada num teste laboratorial utilizando o mesmo tubo, mas com um escoamento de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu=10^{-3} \text{ kg/m/s}$).

- Qual a velocidade de escoamento que deverá ser utilizada no ensaio, e porquê?
- Utilizando a velocidade de escoamento apropriada, foi medida no ensaio uma queda de pressão de 80 Pa/m.

Qual a queda de pressão, por unidade de comprimento do tubo, esperada no escoamento de gasolina?

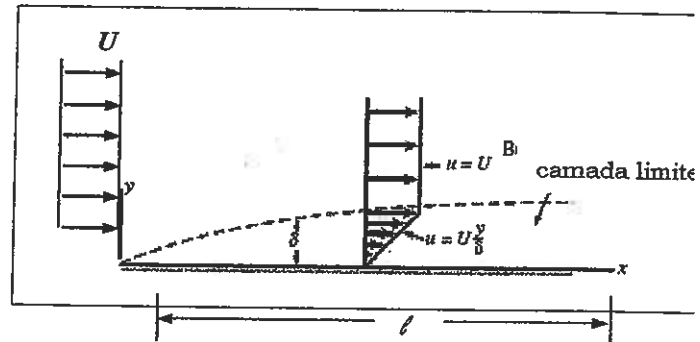
- O que entende por dois escoamentos dinamicamente semelhantes, e como pode assegurar-se essa condição?



1. (5 v) – O escoamento de um fluido viscoso sobre uma placa plana dá origem à formação de uma camada fina, próxima da placa, onde a velocidade u varia desde zero, na fronteira sólida, até próximo da velocidade não perturbada, U .

A esta camada chama-se “camada limite” e a sua espessura, δ , aumenta com a distância ao longo da placa. Suponha, numa abordagem simplificada, que:

$$u = U \left(\frac{y}{\delta} \right) \text{ e } \delta = 3,5 \sqrt{\nu x / U}$$

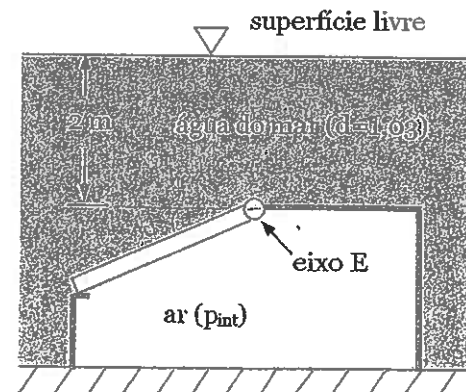


onde ν é a viscosidade cinemática do fluido cuja massa volúmica é ρ .

- Calcule o valor da tensão de corte junto à parede num ponto a 5 m do início da placa, se a velocidade não perturbada, U , for de 10 m/s para um fluido de propriedades $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ e $\nu = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Encontre uma expressão para a força de arrasto que se desenvolveria sobre a placa, cuja largura (dimensão normal ao plano da figura) é b , ao longo de um comprimento l .

2. (5 v) – A câmara mostrada esquematicamente na figura está fixa ao fundo do oceano. Uma tampa circular, com 2 m de diâmetro, inclinada de 30° relativamente à horizontal e articulada num ponto E, impede que o ar saia para o exterior.

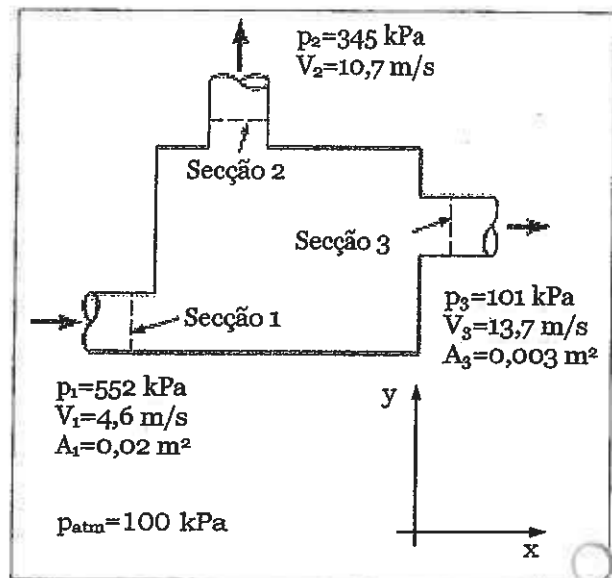
- Determine a pressão mínima necessária no interior da câmara para abrir a tampa (sentido dos ponteiros do relógio), desprezando o seu peso próprio.
- Diga em que aspectos diferiria o procedimento para encontrar a solução deste problema se, em vez de ar, o fluido encerrado na câmara fosse um líquido de densidade inferior à da água.



3. (6 v) – Um líquido entra numa máquina pela secção 1 e sai pelas secções 2 e 3,

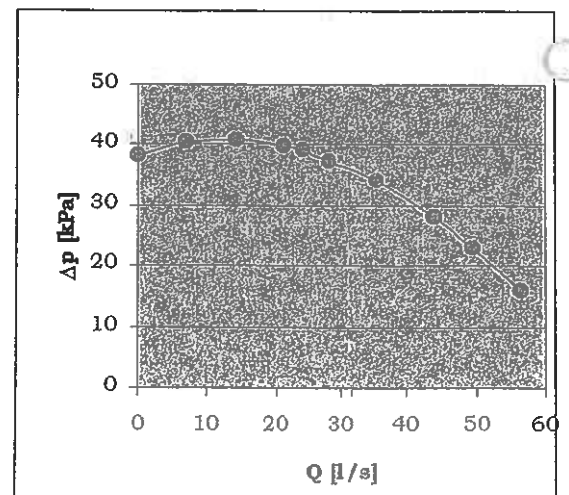
conforme mostra a figura. A massa volúmica do fluido é de 1000 kg/m^3 e as pressões indicadas são absolutas. Todas as entradas e saídas estão no mesmo plano horizontal, e o escoamento pode ser considerado ideal e adiabático.

- Calcule a potência que a máquina deve trocar com o exterior para que o escoamento se produza nas condições indicadas.
- Qual a força, intensidade e sentido, que é necessário aplicar na direcção yy para manter fixo o dispositivo?



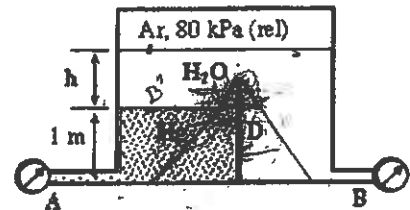
4. (4 v) – A elevação de pressão, Δp , produzida por uma bomba centrífuga pode ser assumida como uma função do diâmetro do impulsor, D , da velocidade de rotação, ω , da massa volúmica do fluido que a atravessa, ρ , e do caudal volúmico escoado, Q . Uma bomba modelo, com um impulsor de 20 cm de diâmetro, foi testada em laboratório, com água, rodando a uma velocidade $\omega=40\pi \text{ rad/s}$, tendo-se obtido o gráfico representado na figura.

- Qual a elevação de pressão que poderá esperar-se de uma bomba geometricamente semelhante, cujo impulsor tem 30 cm de diâmetro, se ela girar a $60\pi \text{ rad/s}$, para um caudal de água de 162 l/s ?
- Comente a afirmação: “O facto de a situação que se pretende analisar em a) envolver um caudal fora da gama de caudais ensaiados faz com que a solução esteja afectada de um erro que só poderia ser completamente eliminado ensaiando o modelo com caudais muito superiores”.



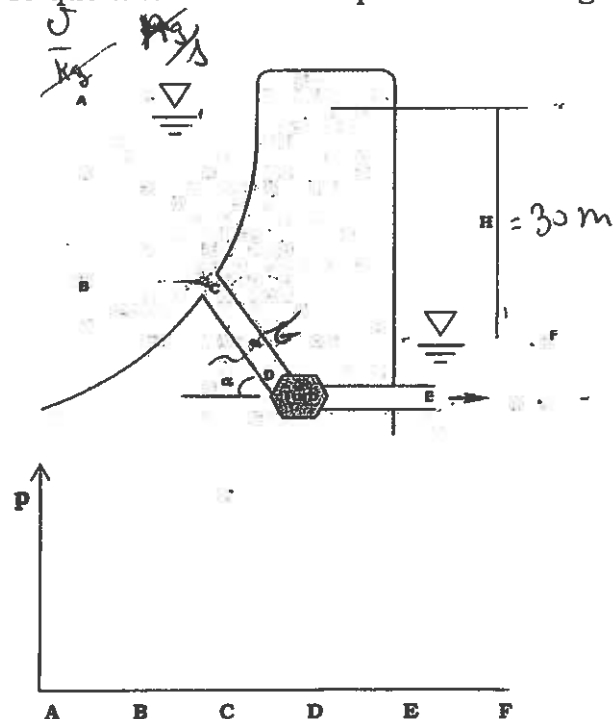
1. (4v)-Considere o reservatório representado na figura. Se o manómetro A indica uma pressão absoluta de 350 kPa, determine, considerando que a densidade do mercúrio, Hg , é de 13,6:

- O valor de h e a leitura do manómetro B.
- A resultante das forças hidrostáticas sobre a divisória D (considere $h=3$ m e 0,4 m para a dimensão da divisória na direcção perpendicular ao plano da figura).



2. (7v) O sistema hídrico ($\rho=1000$ kg/m³) representado na figura opera em regime permanente entre duas albufeiras. Admite-se que a totalidade das 'perdas' de energia podem ser expressas por $e_p = 3g\dot{V}^2$ [J/kg].

- Determine a potência da turbina para $H=30$ m e $\dot{V} = 1$ m³/s.
- Determine o caudal que maximiza a potência da turbina neste aproveitamento. Justifique a existência desta quantidade.
- Admitindo o escoamento ideal, esboce a evolução da pressão estática utilizando o conjunto de pontos A→F.
- Supondo flexíveis as ligações da turbina à conduta, determine a componente horizontal da força necessária para manter a turbina fixa. Qual a principal causa dessa força?



Dados: $\dot{V} = 1$ m³/s; $p_D = 264$ kPa (rel); $p_E = 10$ kPa (rel); área da secção da conduta = 0,5 m²; $\alpha = 37^\circ$.

3. (4 v) Um escoamento incompressível apresenta o seguinte campo de velocidades:

$$\vec{V} = Cx\vec{i} + Cy\vec{j} - 2Cz\vec{k} \quad \wedge \quad C = \text{const.}$$

- Verifique se este campo satisfaz a lei de conservação da massa.
- Determine a aceleração no ponto (1,1,1) para $C=1 \text{ s}^{-1}$.
- Se $\vec{g} = -g\vec{k}$ e $p(0,0,0)=P_0$, determine a pressão no ponto (1,1,0) para $C=1 \text{ s}^{-1}$.

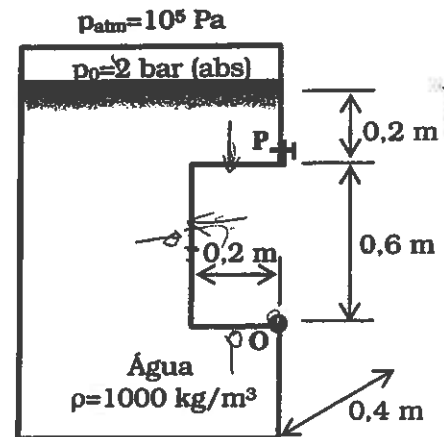
4. (5 v) Pretende-se estudar o funcionamento da hélice de um navio, em particular os efeitos de superfície, num modelo à escala 1:10, sendo os ensaios também conduzidos em água salgada. Em particular, é necessário prever qual o binário necessário para accionar a hélice.

- Se a velocidade de rotação da hélice for de 600 rpm, qual deverá ser a velocidade de rotação do modelo?
- Qual deverá ser o binário necessário para accionar a hélice do navio numa dada situação, sabendo que em condições de semelhança dinâmica foram medidos no modelo 1,2 N.m?
(Se não resolveu a) tome 1900 rpm como a velocidade de rotação da hélice do modelo)
- Que diferenças existiriam na formulação do problema caso se tratasse de um submarino, destinado, fundamentalmente, a navegar em profundidade?



1. (5 v) - A figura representa, em corte, parte de um reservatório. A comporta rígida OP, articulada em O e ligada por parafusos em P, tem 0,4 m de largura (direcção normal ao plano da figura).

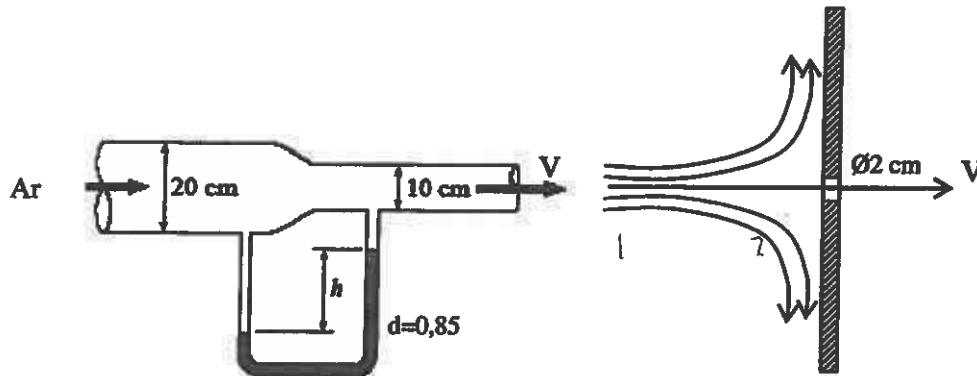
- a) Esboce o diagrama das pressões relativas no lado interior da comporta.
- b) Determine a solicitação a que estão sujeitos os parafusos em P para compensar a acção das forças hidrostáticas exercidas sobre a comporta.
- c) Diga como resolveria a mesma questão se o fluido no depósito fosse água salgada e a salinidade aumentasse com a profundidade.



2. (5 v) - Uma bomba centrífuga para água tem um desempenho traduzido num caudal de 1,5 m³/s e uma elevação de pressão de 400 kPa entre a entrada e a saída, com o rotor girando a 750 rpm. Os testes para o seu aperfeiçoamento (aumento da elevação de pressão) são efectuados num modelo laboratorial em escala reduzida, também com água, sendo o caudal de ensaio 300 l/s.

- a) Liste as variáveis que intervêm neste escoamento e encontre os correspondentes grupos adimensionais, recorrendo ao teorema dos PI de Buckingham. Sabendo que as condições do ensaio asseguram a semelhança dinâmica dos dois escoamentos, qual o factor de escala que foi utilizado na construção do modelo e a que velocidade de rotação deve o mesmo rodar?
- b) Qual a elevação de pressão que a bomba modelo produz no ensaio laboratorial? (Se não resolveu a alínea anterior, considere o factor de escala 1:4 e a velocidade de rotação do modelo 12000 rpm).
- c) Qual a relação entre as potências absorvidas pela bomba e pelo seu modelo? Comente este resultado e os das alíneas precedentes, e diga se lhe parece mais conveniente a utilização de outro fluido de ensaio, por exemplo um óleo com densidade semelhante à da água e viscosidade 10 vezes superior.

3. (7 v) - Ar ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$) escoá-se através de uma conduta, saindo para a atmosfera em forma de jacto e incidindo depois numa placa perfurada, conforme indicado na figura. Assuma tratar-se de um escoamento ideal.



- Mostre que o arranjo conduta/manómetro proporciona uma forma de medição do caudal em escoamento e determine o seu valor quando o desnível, h , observado no manómetro é de 44 mm.
- Supondo que o ar é proveniente da atmosfera, qual deverá ser a potência de um ventilador para que a velocidade do jacto na saída seja de 25 m/s?
- Para a mesma velocidade do jacto, determine a componente horizontal da força necessária para manter fixa a placa perfurada.

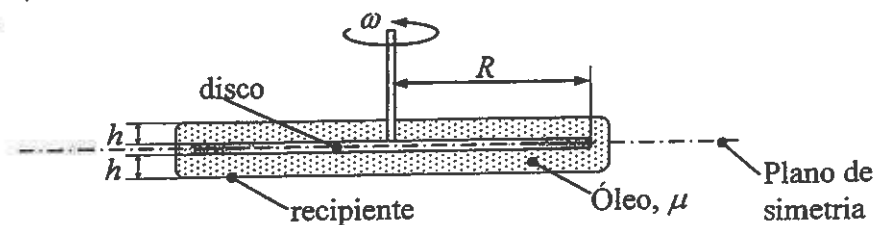
4. (3 v) - Considere o campo de velocidades do escoamento de um fluido incompressível,

$$u = ay, \quad v = bx, \quad w = 0$$

num sistema de coordenadas cartesianas.

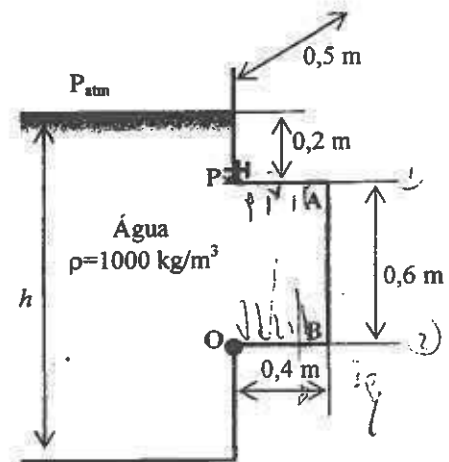
Encontre uma expressão para o campo de pressões deste escoamento.

1. (4 v) - A fim de amortecer oscilações, o ponteiro de um galvanómetro é fixo a um disco circular que roda no plano de simetria de um recipiente com óleo de viscosidade dinâmica μ (ver figura).



- Desprezando os efeitos de topo, deduza uma expressão para o binário amortecedor quando o ponteiro roda com uma velocidade angular ω .
- Se em vez de um ponteiro se tratasse de um dispositivo rodando continuamente, que evolução podia esperar-se para o binário resistente antes mencionado com o decurso do tempo de funcionamento?

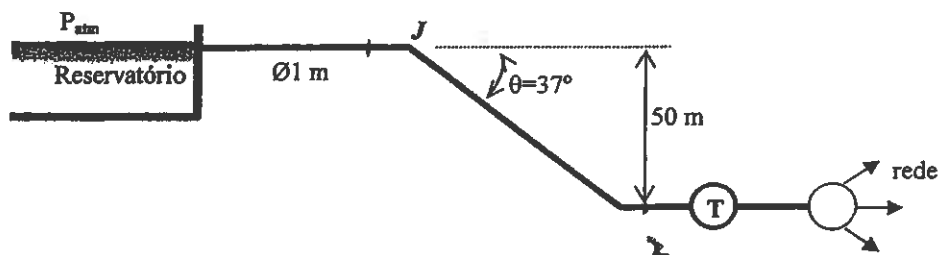
2. (5 v) - A figura representa, em corte, parte de um reservatório. A comporta rígida OBAP, articulada em O e ligada por parafusos em P, tem 0,5 m de largura (direcção normal ao plano da figura).



a) Mostre que a resultante das forças verticais exercidas pela água sobre a comporta, equivale ao peso da água contida no volume definido por (OBAPO).

- Determine a solicitação a que estão sujeitos os parafusos em P para compensar a acção das forças hidrostáticas exercidas sobre a comporta.
- Comente a afirmação: *Pelo que é dito em a), a resistência mecânica que deverá estar associada às paredes PA e OB nada tem a ver com a altura h da água no reservatório.*

3. (6 v) – Suponha um sistema de alimentação de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) a uma rede de distribuição, conforme representado esquematicamente na figura. A turbina ($\eta=90\%$) destina-se a aproveitar a energia disponível no escoamento, sem comprometer as condições na distribuição, nomeadamente a pressão de alimentação da rede, que não deve ser inferior a 400 kPa (relativa) para um caudal nominal de $4000 \text{ m}^3/\text{h}$.



- Sabendo-se que a energia mecânica do escoamento que é perdida devido ao atrito viscoso equivale a 10 vezes a energia cinética do escoamento ($10 \times v^2/2 \text{ J/kg}$, onde v é a velocidade média), avalie a potência no veio da turbina.
- Determine a força exterior a exercer para manter fixa a curva J .

4. (5 v) – Um navio foi projectado para ter um comprimento de 300 m, uma área molhada de 5000 m^2 e uma velocidade de cruzeiro de 45 km/h, navegando em águas marítimas ($\rho=1020 \text{ kg/m}^3$; $\nu=1,15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

$$L = 300 \text{ m}$$

$$A = 5000 \text{ m}^2$$

Para efectuar os estudos da resistência ao avanço (atrito viscoso e ondas de superfície) ensaia-se um modelo à escala 1:50, num canal de água doce ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\nu=1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

- Liste as diferentes variáveis que condicionam os fenómenos que se pretende estudar e encontre os grupos adimensionais característicos deste escoamento.
- Determine as dimensões do modelo a construir, comprimento e área molhada, e a velocidade que deverá ser empregue no canal para a realização dos ensaios.
- Acha que a utilização de água doce para a realização do ensaio é adequada? Sabendo que tanto os efeitos de superfície como os viscosos são importantes, poderá surgir alguma dificuldade pela realização do ensaio nestas condições?

$$F_r = L, A, v, \rho, \nu$$

$$\frac{A}{L}$$

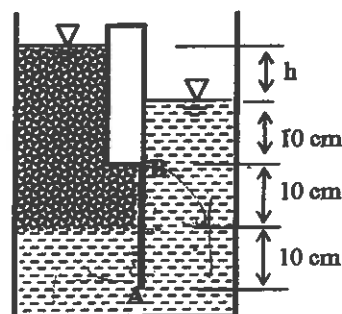
1 (2 v) - A componente na direcção y da velocidade de um escoamento incompressível e bidimensional é dada por:

$$v = x^2 + 2xy$$

Determine a componente na direcção x de forma a satisfazer a lei de conservação da massa.

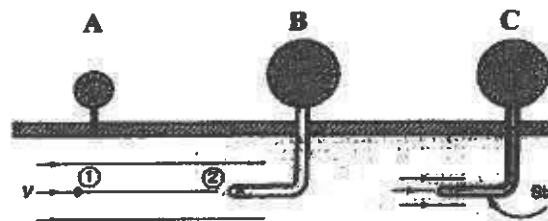
2 (5 v) - O reservatório esquematizado na figura contém dois líquidos imiscíveis: água ($d=1$) e óleo ($d=0,8$). A placa rectangular AB tem de dimensões 20 cm \times 40 cm.

- Esboce o diagrama de pressões em torno da placa AB.
- Determine o desnível h .
- Para $h=10$ cm, determine o momento em relação a um eixo passando por B, perpendicular ao plano de figura, da força hidrostática exercida pelos líquidos na face esquerda da placa.

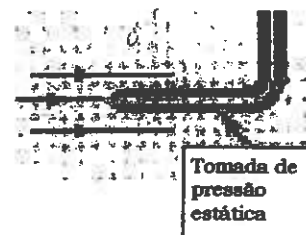


3 (4 v) - Considere o escoamento de ar ($\rho=1,2$ kg/m³; $\nu=10^{-5}$ m²/s; $a=340$ m/s) numa conduta de secção circular conforme mostra a figura.

- Identifique quais as grandezas detectadas por cada um dos manómetros diferenciais A, B e C.
- Calcule a ordem de grandeza do número de Mach que caracteriza este escoamento se as leituras dos manómetros A e B forem de 16 mmH₂O e 24 mmH₂O, respectivamente.

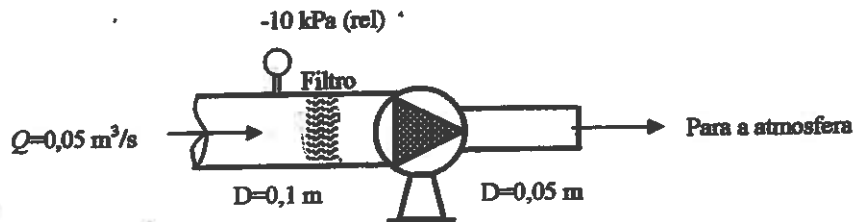


Faça um comentário aos efeitos de compressibilidade esperados neste escoamento.



- Diga em que medida uma rebarba a montante do orifício que conduz ao manómetro A afecta a leitura deste.

4 (5 v) – Tenha em conta a instalação de transporte de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) esquematicamente representada na figura. A potência fornecida pela bomba ao escoamento é de 20 kW.



- Determine a potência associada à perda de energia mecânica introduzida pelo filtro.
- Supondo que o peso da bomba é de 1 kN e considerando que as forças de ligação se transmitem unicamente através do suporte, caracterize a força a que o mesmo está sujeito.

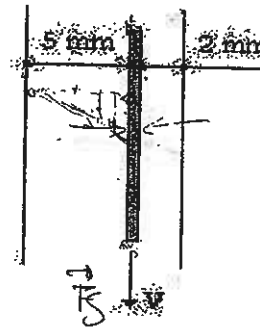
5 (4 v) – Um turbina eólica, projectada para uma potência nominal de 500 kW operando com ventos de 72 km/h ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\nu=10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$), para uma velocidade de rotação de 30 rpm, vai ser testada em laboratório num modelo à escala 1:40, cujo rotor tem 1 m de diâmetro.

Admita que a velocidade máxima que é possível produzir no túnel de vento é da mesma ordem de grandeza que a real, e que o valor mínimo do número de Reynolds, calculado com base no diâmetro do rotor, para garantir a correcta simulação da relação entre forças de inércia e de viscosidade é $Re_D=10^5$.

É legítimo realizar a simulação nestas condições?

Qual a velocidade angular a adoptar no ensaio e qual a potência que pode ser esperada do modelo?

i) 1 (4 v) - Calcule a velocidade com que uma chapa de alumínio ($\rho=2800 \text{ kg/m}^3$) com a espessura de 1 mm cai, por acção exclusiva da gravidade, no seio de um óleo ($\rho=900 \text{ kg/m}^3$, $\mu=0,1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), conforme se mostra na figura. Admita tratar-se de um escoamento do tipo de Couette.



ii) Caso V fosse igual a 1 m/s, qual seria o caudal de óleo por unidade de comprimento normal ao plano da figura?

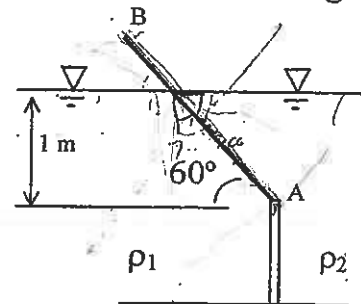
iii) Qual a distribuição de pressões que se verifica neste escoamento?

2 (2 v) - O campo de velocidades de um escoamento é dado por

$$\vec{V} = 3yz^2\vec{i} + xz\vec{j} + y\vec{k}$$

Determine o vector aceleração.

3 (4 v) - A comporta rectangular AB está em equilíbrio, tem uma massa de 50 kg e é susceptível de rodar livremente em torno do ponto A. O comprimento AB é de 1,5 m e a dimensão na perpendicular ao plano da figura é de 1 m.



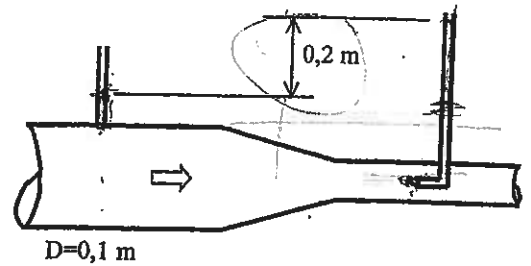
a) Esboce o diagrama de pressões em torno da comporta.

b) Sabendo que $\rho_1=1000 \text{ kg/m}^3$, determine ρ_2 .

4 (4 v) – A figura representa parte de uma instalação de transporte de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$).

Os tubos manométricos têm a abertura superior em contacto com a atmosfera e o desnível entre os meniscos é de 0,2 m.

- Determine o caudal em circulação.
- Comente a afirmação: “A pressão estática no tubo de maior diâmetro é necessariamente superior à pressão atmosférica, o mesmo acontecendo no tubo de diâmetro menor.”



5 (6 v) – A figura representa uma instalação laboratorial destinada ao estudo experimental do impacto de jactos.

Para um caudal de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) de $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$, desprezando a altura h , determine:

- A potência de bombagem.
- O valor da massa do dispositivo deflector.
- Diga o que se alterava na forma de resolver a alínea anterior no caso de o jacto se produzir a uma distância vertical h de, por exemplo, 2 m do deflector.

