

## NOÇÕES DE HIDRODINÂMICA

**Objeto de estudo:** A Hidrodinâmica estuda os fluidos (gases e líquidos) em movimento.

### 1- Escoamento de fluidos (regras para um fluido ideal):

**Regra 1:** Fluido não seja viscoso. A **viscosidade** é um tipo de atrito interno ao fluido que dificulta o deslizamento de uma parte dele sobre a outra, provocando perda de energia mecânica, que é transformada em energia térmica.

**Regra 2:** O movimento seja irrotacional. Não tem movimento de rotação.

**Regra 3:** Que o fluido seja incompressível. A densidade não varie ao longo do percurso nem em relação ao tempo de modo geral (no caso dos líquidos).

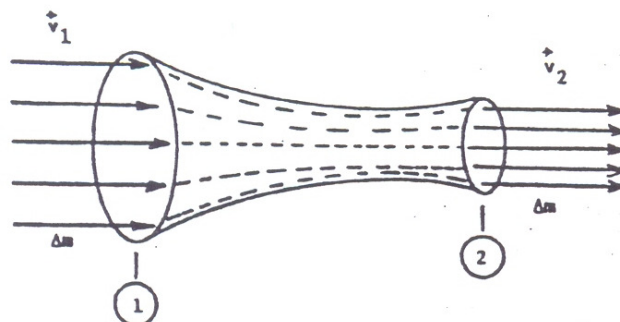
**Regra 4:** Que o movimento seja estacionário (ou permanente). Isso significa que a velocidade vetorial do fluido em um ponto qualquer não variará com o tempo.

**Obs.:** Num movimento não estacionário (ou turbulento), a velocidade em um ponto qualquer não é a mesma para todas as partículas que passam por esse ponto, e cada partícula que passar por esse ponto poderá seguir uma trajetória diferente.

### 2- A EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Considere um tubo como o da figura, em que um fluido qualquer (líquido ou gás) se desloca no chamado regime estacionário, ou seja, tem a seguinte propriedade:

A quantidade de fluido que entra por 1 é a mesma que sai por 2. O fluxo mássico  $\Delta m / \Delta t$  é constante.



$A_1$  = área do tubo em 1

$A_2$  = área do tubo em 2

Neste caso:  $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

a . v = const.

Equação da continuidade

Observações:

1) O produto  $A \cdot v$  é chamado vazão e sua unidade no M.K.S. é  $m^3/s$ .

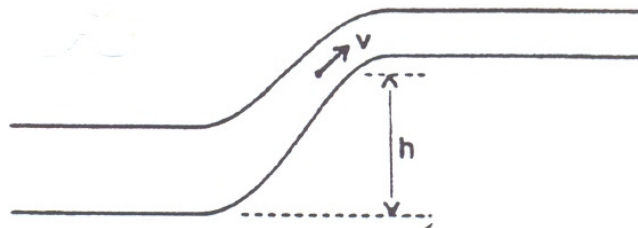
$$Z = \frac{\text{vol}}{\Delta t} = A \cdot V = \text{constante}$$

Esta relação mostra que, para um líquido, **a velocidade de escoamento é inversamente proporcional à área da secção transversal do tubo e, portanto, quando o tubo** sofre um estrangulamento, a velocidade do líquido aumenta para que a vazão permaneça constante.

### 3- EQUAÇÃO DE BERNOULLI

É a equação da conservação da energia do fluido expressa em termos de pressão.

Em 1738, após ter publicado vários trabalhos, em diversas áreas da ciência, Bernoulli (1700-1782) lançou o Tratado de hidrodinâmica. Nesse livro, além da grande contribuição para o desenvolvimento da teoria cinética dos gases, ele apresenta um dos princípios básicos da Mecânica dos Fluidos, hoje conhecido como o teorema (ou a equação) de Bernoulli, que apresentamos na figura abaixo.

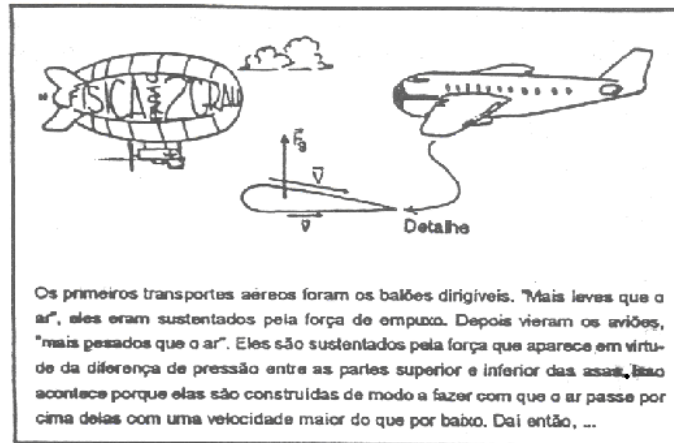


$$p + \mu gH + \frac{\mu V^2}{2} = \text{constante}$$

Particularmente, focalizaremos nossa atenção numa consequência importante do teorema:

Nas regiões em que a velocidade de um fluido é relativamente alta a pressão é relativamente baixa e vice-versa.

O exemplo mais importante da relação entre velocidade e pressão num fluido talvez esteja no fato de que ela permite o vôo do “mais pesado que o ar”.

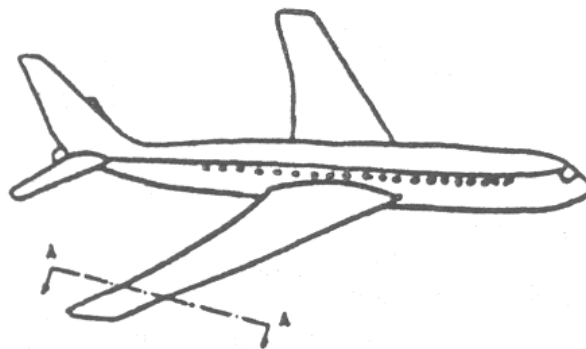


#### 4 – VISCOSIDADE

É uma forma de atrito que se manifesta entre 2 porções do fluido que se movimentam com velocidades diferentes.

#### 5- EMPUXO DINÂMICO (FORÇA DE SUSTENTAÇÃO)

É a força que um fluido exerce sobre um objeto que se movimenta em seu interior, como, por exemplo, a força exercida pelo ar na asa de um avião ou o aerofólio dos carros de F-1.



Corte transversal A-A da asa do avião

O ângulo de ataque faz com que o ar seja desviado para baixo e, pela 3ª Lei de Newton, a reação a esta força é aplicada pelo ar na asa de baixo para cima **Empuxo Dinâmico**.

Veja que as linhas de corrente são mais próximas na parte superior da asa, indicando que  $v_1 > v_2 \Rightarrow p_2 > p_1$ , confirmando que a resultante das forças aplicadas pelo fluido na asa é dirigida para cima.

**Nota:** Exemplos de fluidos reais.

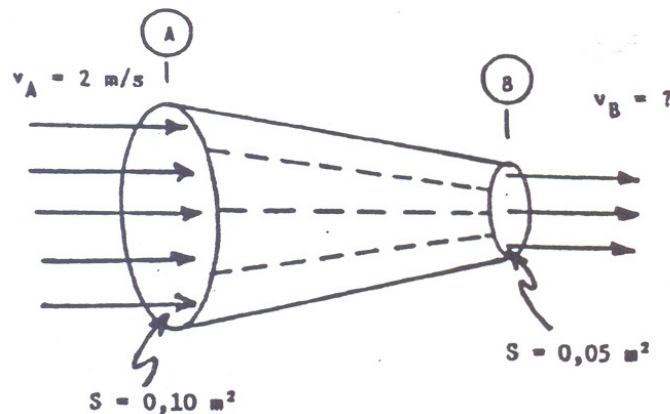
Um fluido **ideal** tem viscosidade nula. Porém, os fluidos **reais** têm viscosidade, e isso acarreta alguns efeitos interessantes.

Os animais que vivem em tocas precisam construí-las de modo que o ar circule por elas, evitando que eles sufoquem (ver exercício número 8).

Outro efeito interessante é no futebol. Ao sair do pé do jogador a bola adquire uma trajetória curva (trajetória horizontal a bola atinge a barreira), ela adquire movimento de rotação e translação. Esse efeito pode ser obtido também em jogos de tênis, beisebol e golfe, sendo chamado de **efeito Magnus**, pois foi explicado pela primeira vez pelo físico alemão Heinrich Gustav Magnus (1802-1870).

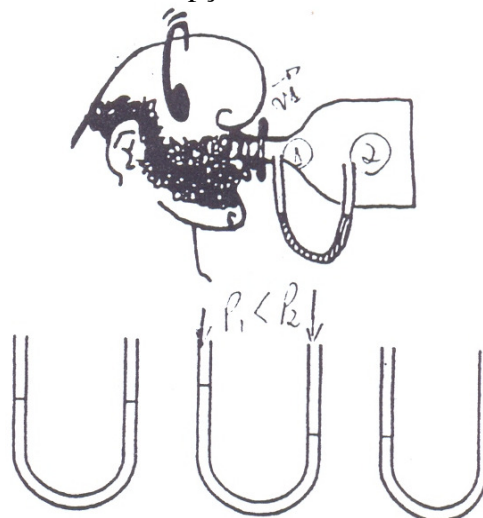
## ATIVIDADES

1. Calcular a velocidade do fluido no ponto. B da tubulação:



2. Por que ao colocar o dedo na ponta de uma mangueira, obstruindo parcialmente a passagem da água, sua velocidade aumenta?

3. O dispositivo da figura (você pode construí-lo facilmente e realizar experiência) consiste numa garrafa de plástico sem fundo, à qual adaptamos um tubo flexível fino e transparente, contendo água até um certo nível. Quando Marcelo soprar com força pelo gargalo, a água no tubo ficará como na opção:



A

B

C

## EXERCÍCIOS-TAREFA

1. (UNAMA-AM) – Uma piscina, cujas dimensões são 18m x 10m x 2m, está vazia. O tempo necessário para enchê-la é 10h, através de um conduto de seção  $A = 25\text{cm}^2$ . A velocidade da água, admitida constante, ao sair do conduto, terá módulo igual a:

a) 1 m/s

d) 4 m/s

b) 2 km/s

e) 5 km/s

c) 3 cm/s

2. (UFR-RJ) – Um jardineiro dispõe de mangueiras de dois tipos, porém com a mesma vazão. Na primeira, a água sai com velocidade de módulo  $v$  e, na segunda, sai com velocidade de módulo  $2v$ . A primeira mangueira apresenta:

- a) a metade da área transversal da segunda-feira
- b) o dobro da área transversal da segunda
- c) um quarto da área transversal da segunda
- d) o quádruplo da área transversal da segunda
- e) dois quintos da área transversal da segunda

3. Em uma pessoa normal, o sangue bombeado pelo coração sai pela artéria aorta com velocidade escalar média de 30 cm/s. A área da seção transversal dessa artéria mede, aproximadamente, 3,0 cm<sup>2</sup>.

Com base nesses dados:

- a) Calcule a vazão volumétrica do sangue que sai do coração, em cm<sup>3</sup>/s.
- b) Quanto tempo é necessário para circular 5,4 litros de sangue pelo coração?
- c) Sabe-se que a velocidade escalar do sangue em um vaso capilar típico é 0,05 cm/s. Qual a soma das áreas das seções transversais (em cm<sup>2</sup>) de todos os vasos capilares, por onde se distribui o sangue que sai da aorta?

4. Analise as proposições que seguem e classifique-as como verdadeira (V) ou falsa (F).

I. Considere uma janela interna fechada e um vento forte externo. A pressão interna é maior do que a externa e a força devido a diferença de pressão pode quebrar a janela de dentro para fora.

II. Com um vento muito forte, telhados planos são arrancados em virtude da diferença entre a pressão interna e externa do ar. A diferença de pressão provoca uma força dirigida para cima.

III. A asa de um avião é projetada de forma que o ar percorre uma distância maior na parte superior da asa a velocidade do ar é maior, a pressão é menor e por isso existe uma força dirigida para cima responsável pela sustentação do avião.

IV. Dois barcos a remo, que se movem paralelamente e no mesmo sentido, são atraídos um para o outro. Esse fenômeno pode ser explicado pelo princípio de Bernoulli.

5. Um tanque contém água até uma altura H. Considere um pequeno orifício na sua parede lateral, a uma profundidade H abaixo da superfície da água.

A água emerge do orifício com uma velocidade horizontal de módulo V e percorre uma distância horizontal D até atingir o solo. Despreze o efeito do ar e admita que o nível da água no tanque desce com velocidade muito pequena, praticamente nula. A aceleração da gravidade tem módulo igual a g:

Calcule:

- a) o valor de V em função de g, H e h.
- b) o valor de D em função de H e h.

6. O ar de um furacão sopra sobre o telhado de uma casa com velocidade de módulo igual a 108 km/h. A densidade do ar vale 1,2 kg/m<sup>3</sup>. A diferença entre a pressão do lado interno e do lado externo do telhado vale:

- a) zero
- b) 500Pa
- c) 520Pa
- d) 540Pa
- e) 560Pa

7. O ar escoia na parte superior da asa de um avião com velocidade de módulo V<sub>1</sub> e na parte de baixo da asa com velocidade de módulo V<sub>2</sub>. A área da seção reta da asa vale A. Sendo  $\mu$  a densidade do ar, calcule a intensidade da força de sustentação do avião.

8. (UnB)- Considere as seguintes afirmações.

- Animais como coelhos e toupeiras constroem suas tocas com mais de uma abertura, cada abertura localizada a uma altura diferente, conforme ilustrado na figura I abaixo.
- Nas proximidades do solo, o módulo da velocidade do vento aumenta com a altitude, conforme ilustra a figura II a seguir.

O princípio de Bernoulli estabelece que a pressão que o ar em movimento exerce sobre superfícies ao longo das quais ele escoar varia com a velocidade de escoamento. Assim, na situação ilustrada na figura I, devido à velocidade do ar, as pressões  $P_1$  e  $P_2$  e as velocidades  $V_1$  e  $V_2$  nas aberturas 1 e 2, respectivamente, são relacionadas de forma aproximadamente pela equação

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad \text{em que } \rho \text{ é a densidade do ar, supostamente constante.}$$

A análise dessa equação permite afirmar que, em regiões onde a velocidade do ar é alta, a pressão é baixa, e, onde a velocidade é baixa, a pressão é alta.

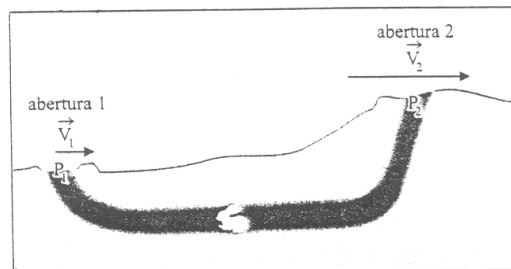


Figura I.

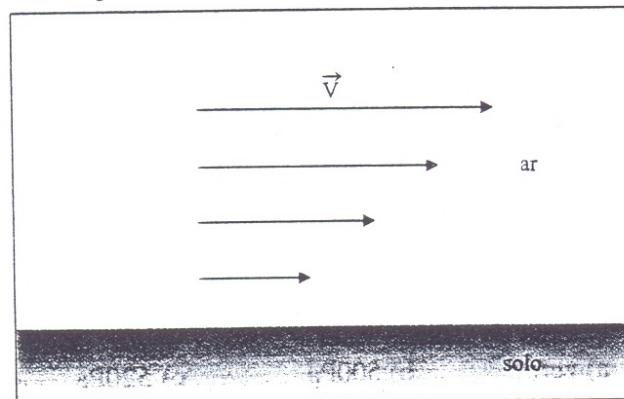


Figura II.

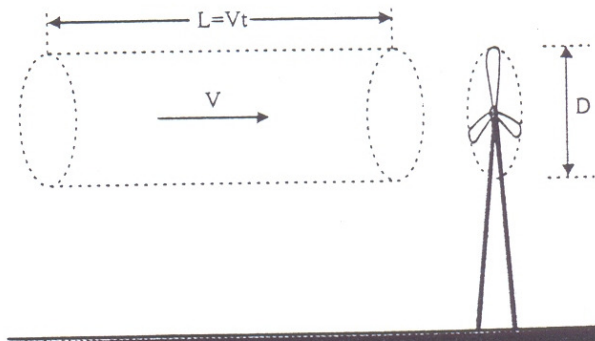
Com base nas afirmações anteriores, julgue os itens a seguir:

- 1) Uma toca com duas aberturas no mesmo nível terá melhor ventilação que apresenta na figura I, sob as mesmas condições de vento.
- 2) Se um arbusto crescer nas proximidades da abertura 1, de forma a dificultar a passagem do vento, sem bloquear a abertura, então a ventilação na toca será melhorada.
- 3)  $\Delta P = P_1 - P_2$  é diretamente proporcional à diferença dos módulos das velocidades  $V_2$  e  $V_1$ .
- 4) A circulação de ar no interior da toca mostrada na figura I ocorre da abertura 1 para a abertura 2.

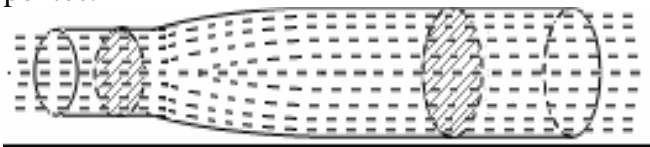
9. (UNICAMP) – Um cata-vento utiliza a energia cinética do vento para acionar um gerador elétrico. Para determinar essa energia cinética deve-se calcular a massa de ar contida em um cilindro de diâmetro  $D$  e comprimento  $L$ , deslocando-se com a velocidade do vento  $V$  e passando pelo cata-vento em  $t$  segundos. Veja a figura abaixo. A densidade do ar é  $1,2\text{kg/m}^3$ ,  $D = 4,0\text{m}$  e  $V = 10\text{m/s}$ . Aproxime  $\pi \sim 3$ .

a) determine a vazão da massa de ar em  $\text{kg/s}$  que passa pelo cata-vento.

b) admitindo-se que este cata-vento converte 25% da energia cinética do vento em energia elétrica, qual é a potência elétrica gerada?



10. Um fluido incompressível, de densidade uniforme  $\rho$ , escoava através de um duto como mostra a figura abaixo. Se as seções do duto nos pontos **1** e **2** são  $A_1$  e  $A_2$ , respectivamente, determine a relação entre as velocidades de escoamento  $v_1$  e  $v_2$  nestes pontos.



- A)  $V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$  (**correta**)
- B)  $V_2 \cdot A_1 = V_1 \cdot A_2$
- C)  $V_1 = V_2$
- D)  $V_1 = \rho \cdot V_2$
- E)  $V_2 = \rho \cdot V_1$

11. Líquidos e gases fazem parte da vida e do cotidiano; o funcionamento dos pulmões e do coração, envolvendo o movimento de ar e de sangue pelas artérias e veias, obedecem às mesmas leis que regem a distribuição de água e de gás pelas tubulações nas cidades. As equações de continuidade e de Bernoulli descrevem adequadamente o comportamento dos fluidos ideais, nos quais a viscosidade é muito baixa. A respeito desse assunto, assinale a opção correta.

A Um médico mede a pressão sanguínea de uma pessoa adaptando a braçadeira do manômetro em torno do braço do paciente. Se ele o fizesse em torno da panturrilha do paciente em pé, o resultado obtido em relação a essa pressão seria o mesmo.

xB Se uma mangueira de diâmetro conhecido fosse usada para encher um balde de volume determinado, então, medindo-se o tempo para encher o balde, seria possível determinar a velocidade com que a água se desloca através da mangueira.

C A pressão atmosférica varia no transcorrer do dia. Em dado instante do dia em que essa pressão esteja alta, um navio flutuará mais alto na água do que em um dia de pressão atmosférica baixa.

D Sabendo que a densidade do chumbo é maior que a do ferro e que ambos são bem mais densos que a água, então, é correto afirmar que quando se mergulham volumes

iguais de chumbo e de ferro na água, o empuxo sobre o chumbo será maior que o empuxo sobre o ferro.

12 - Observou-se que uma bailarina, com os braços abertos, executa um movimento que a colocou em movimento de rotação, em torno do eixo perpendicular ao chão e que passa pelo pé de apoio. Imediatamente após o início do movimento de rotação, ela aproximou os braços da sua cabeça, e com isso a velocidade angular da bailarina aumentou. Isto pode ser explicado por:

- a) Ressonância
- b) Conservação da energia
- c) Conservação do momento de inércia
- x) Conservação do momento angular
- e) Conservação do momento linear

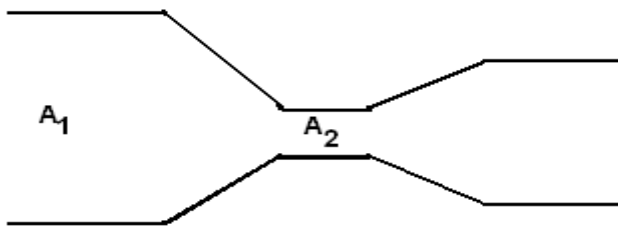
13 - O telhado de um galpão tem  $58 \text{ m}^2$  de área. Devido à ação do vento, a pressão imediatamente acima do telhado é  $0,95 \text{ atm}$ . A pressão no interior do galpão é  $1 \text{ atm}$ . Considerando que  $1 \text{ atm}$  seja aproximadamente igual a  $105 \text{ N}$ , qual a força, devido à diferença de pressão, que atua sobre o telhado?

- xa)  $2 \cdot 10^5 \text{ N}$
- b)  $200 \text{ N}$
- c)  $125 \text{ N}$
- d)  $12 \cdot 10^5 \text{ N}$
- e)  $125 \cdot 10^5 \text{ N}$

14. Os medidores de vazão que utilizam o princípio da diferença de pressão são:

- (A) Venturi, Coriolis e vórtice.
- (B) placa, Venturi e Coriolis.
- (C) Coriolis, vórtice e Pitot.
- x(D) Pitot, placa e Venturi.
- (E) vórtice, Pitot e placa.

15 - Imagine um fluido incompressível escoando sem dissipação de energia mecânica por entre um tubo de seção variável.



Admitindo um escoamento não turbulento, que ocorre com uma vazão constante, e sabendo que todas as partes do tubo estão numa mesma elevação e que o fluido sai da região  $A_1$  e entra numa região  $A_2$  mais estreita, é correto afirmar que, ao passar da região  $A_1$  para a região  $A_2$ , ocorre no fluido:

- a) aumento da pressão e aumento de velocidade.
- b) somente aumento da pressão.
- c) diminuição da pressão e diminuição da velocidade.
- \*d) diminuição da pressão e aumento da velocidade.
- e) somente diminuição da velocidade.



16. Assinale a opção que corresponde ao que acontece com a viscosidade do gás e do líquido, respectivamente, quando há aumento de temperatura à pressão constante.

- (A) aumenta e aumenta
- x(B) aumenta e diminui
- (C) diminui e aumenta
- (D) diminui e diminui

**GABARITO:** Exercícios-tarefa

1) D. 2) B. 3) a)  $Z = 90\text{cm}^3/\text{s}$ ; b)  $\Delta t = 60\text{s}$ ;

c)  $A = 1,8 \cdot 10^3\text{cm}^2$ ; 4) I(v), II(v), II(v), IV(v), V(v).5)  $v = \sqrt{2gh}$ , b)  $D = 2\sqrt{h(H-h)}$ , 6)

D. 7)  $dA(V_1 - V_2)/2$ . 8) 1(F), 2(V), 3(F), 4(V). 9) a) 144g/s, b) 1.8kW.