

Física 2 – Ciências Moleculares

Caetano R. Miranda **AULA 10 – 18/03/2024**

crmiranda@usp.br



sampa



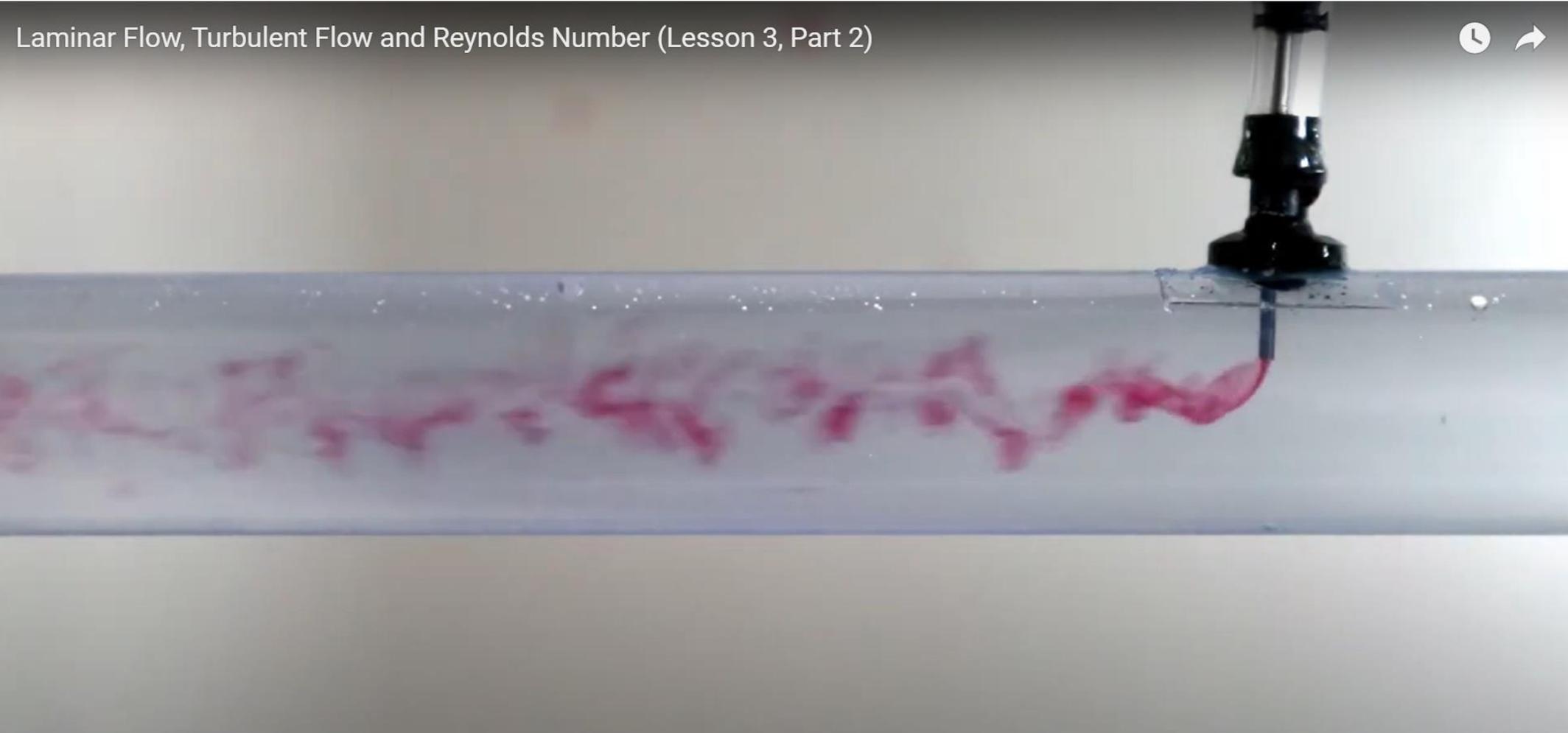
Cronograma - revisado

| DATA | aula nº | Segundas (16:00h - 18:00h) - Sala Turma 33 | DATA | aula nº | Quartas (14:00h - 16:00h) - Sala Turma 33 | DATA | aula nº | Quintas (14:00h - 16:00h) - Novo Milenio | |
|-------|---------|---|-------|---------|---|-------|---------|--|----------------|
| 26/02 | 1 | Apresentação do Curso | 28/02 | 2 | Projetos | 29/02 | 3 | DEMO 1 - Pressão | |
| 04/03 | 4 | Estática dos Fluidos | 06/03 | 5 | Estática dos Fluidos | 07/03 | 6 | DEMO 2 - Hidrodinamica | |
| 11/03 | 7 | Hidrodinâmica | 13/03 | 8 | Hidrodinâmica | 14/03 | 9 | DEMO 3 - Hidrodinamica II | |
| 18/03 | 10 | Hidrodinâmica | 20/03 | 11 | SEM AULA - FEBRACE | 21/03 | 12 | PROVA 1 | ENTREGA 1 (24) |
| 25/03 | | SEMANA SANTA | 27/03 | | | 28/03 | | | |
| 01/04 | 13 | DEMO 4 - Corda vibrante / Molas / Ondulatória | 03/04 | 14 | Oscilações I | 04/04 | 15 | Oscilações II | |
| 08/04 | 16 | Ondas | 10/04 | 17 | Ondas | 11/04 | 18 | DEMO 5 - Barulhinho bom | |
| 15/04 | 19 | Som | 17/04 | 20 | Som | 18/04 | 21 | DEMO 6 - Fenômenos Térmicos | |
| 22/04 | 22 | Temperatura | 24/04 | 23 | Temperatura | 25/04 | 24 | Primeira Lei | ENTREGA 2 (28) |
| 29/04 | 25 | Primeira Lei | 01/05 | 26 | Primeira Lei | 02/05 | 27 | PROVA 2 | |
| 06/05 | 28 | Correção - Prova | 08/05 | 29 | Projetos | 09/05 | 30 | DEMO 7 - Experimentos Gases | |
| 13/05 | 31 | Gases | 15/05 | 32 | Gases | 16/05 | 33 | DEMO 8 - Máquinas térmicas | |
| 20/05 | 34 | Segunda Lei | 22/05 | 35 | Segunda Lei | 23/05 | 36 | DEMO 9 - Cinética & Mecânica Estatística | |
| 27/05 | | SEMANA - CORPOS CHRISTI | 29/05 | | | 30/05 | | | ENTREGA 3 (02) |
| 03/06 | 37 | Cinética dos gases | 05/06 | 38 | Cinética dos gases | 06/06 | 39 | Mecânica Estatística | |
| 10/06 | 40 | Projetos | 12/06 | 41 | Projetos | 13/06 | 42 | Projetos | |
| 17/06 | 43 | PROJETOS - APRESENTAÇÃO | 19/06 | 44 | PROVA SUB | 20/06 | 45 | VISTA FINAL | |
| 24/06 | 46 | | 26/06 | 47 | | 27/06 | 48 | | |

Laminar Flow, Turbulent Flow and Reynolds Number (Lesson 3, Part 2)

0:22 / 17:49 • Introduction >

Laminar Flow, Turbulent Flow and Reynolds Number (Lesson 3, Part 2)



Lesson 3, Part 2:
Laminar Flow, Turbulent Flow, and Reynolds Number

0:29 / 17:49 • Introduction >

SE

HD

Sumário

- Um fluido ideal é um fluido incompressível (ou seja, aquele cuja densidade não varia) e sem nenhum atrito interno (chamado de viscosidade).
- A trajetória de uma partícula individual durante o escoamento de um fluido denomina-se linha de escoamento ou linha de fluxo.
- Quando a configuração global do escoamento de um fluido não varia com o tempo, ele se chama escoamento estacionário ou escoamento permanente.
- Uma linha de corrente é uma curva cuja tangente em cada ponto dá a direção e o sentido da velocidade no respectivo ponto.

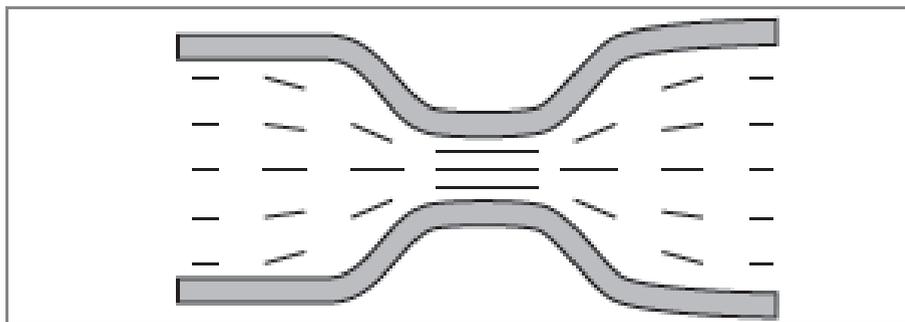


Figura 2.1 Traços de corante.

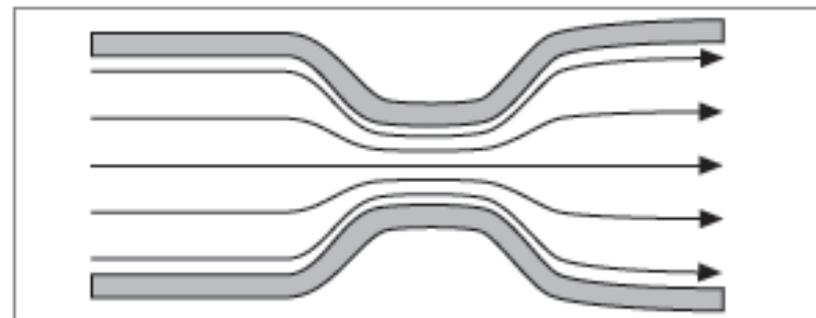


Figura 2.2 Linhas de corrente.

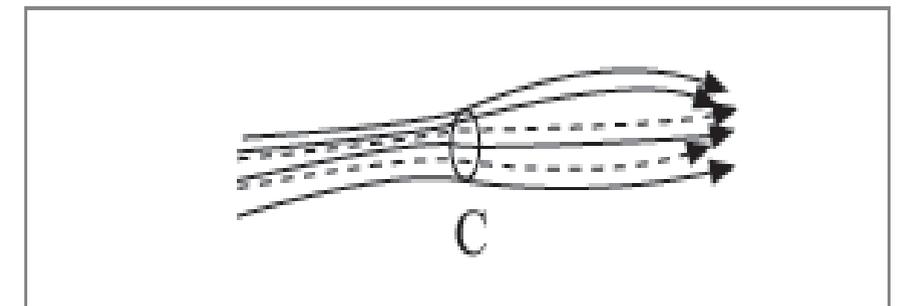


Figura 2.3 Tubo de corrente.

Equação de Bernoulli

- Ela afirma que o trabalho realizado pelo fluido das vizinhanças sobre uma unidade de volume de fluido é igual à soma das variações das energias cinética e potencial ocorridas na unidade de volume durante o escoamento.

$$(P_1 - P_2) dV = \frac{1}{2} \rho dV (v_2^2 - v_1^2) + \rho dV g (y_2 - y_1)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1)$$

Interpretação em termos das pressões

- O primeiro termo do membro direito é a diferença de pressão associada à variação da velocidade do fluido.
- O segundo termo do membro direito é a diferença de pressão adicional associada ao peso e produzida pela diferença de altura entre as duas extremidades.

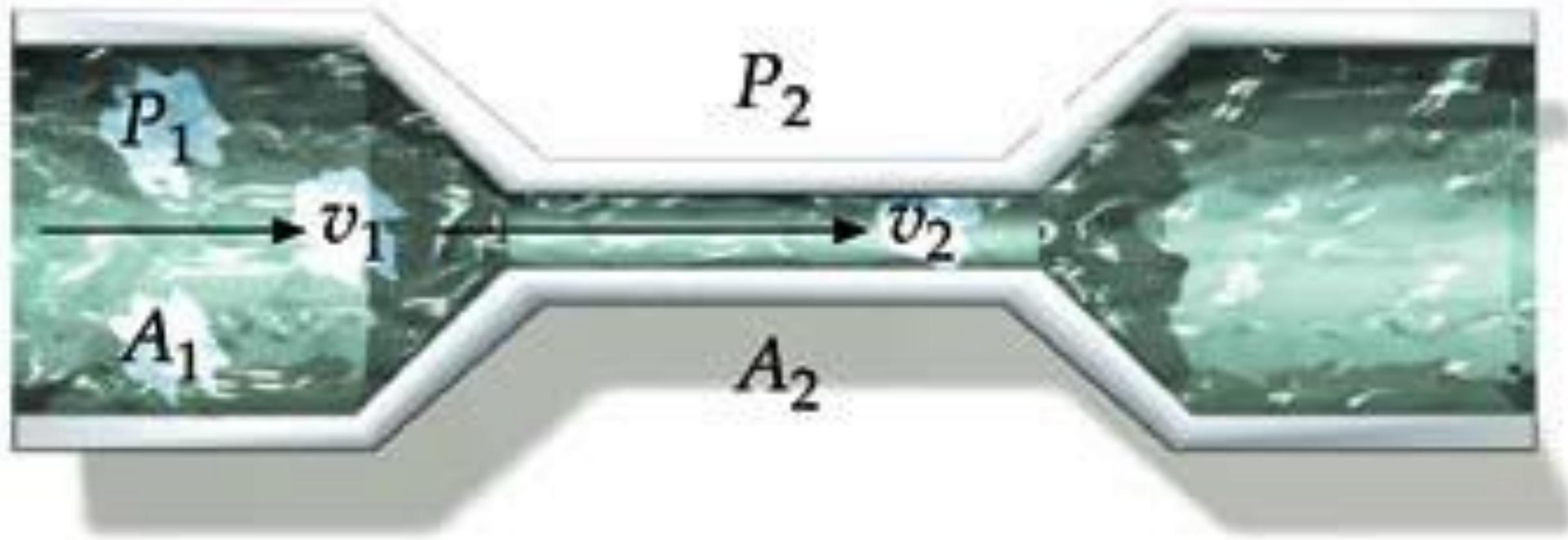
$$(P_1 - P_2) dV = \frac{1}{2} \rho dV (v_2^2 - v_1^2) + \rho dV g (y_2 - y_1)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1)$$

- Também podemos expressar a equação de modo mais conveniente, usando a seguinte forma:

$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Aplicações da Equação de Bernoulli



$v_1 > v_2$ ou $v_1 < v_2$?

$P_1 > P_2$ ou $P_1 < P_2$??

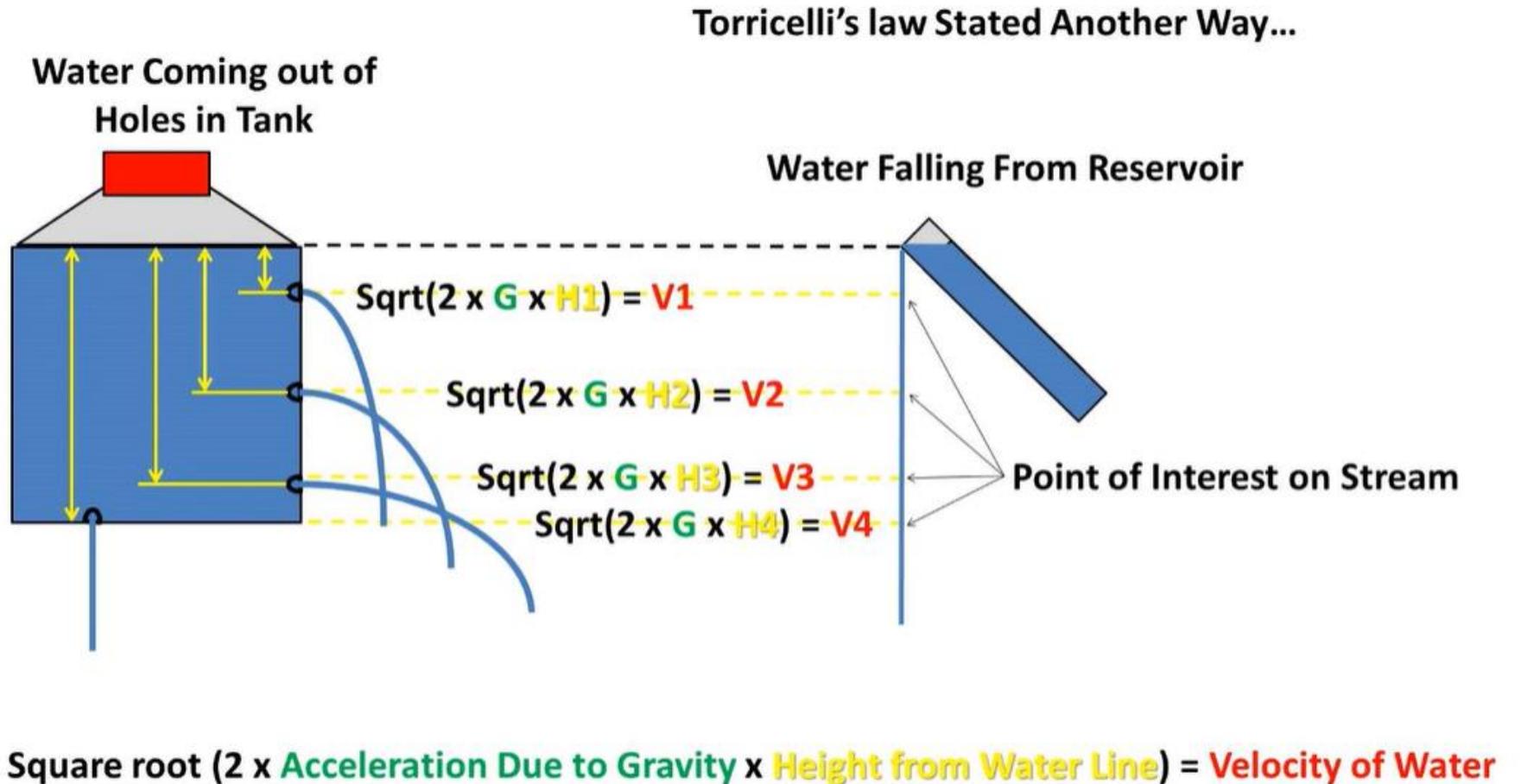
Equação de Torricelli

Mas a questão que chamamos atenção é que estudando o movimento da água, Torricelli tenta determinar a velocidade de saída de um jato d'água jorrando de um pequeno orifício do recipiente. Nos seus experimentos, verificou que se o jato fosse direcionado para cima, ele alcançaria uma altura menor que o nível do líquido no recipiente. Isso acontecia, segundo ele, devido às resistências ao movimento. Sem elas, o jato alcançaria a mesma altura. Portanto, em Parizotto [7] dessa hipótese, ele deduz o teorema que leva seu nome: a “velocidade de efluxo de um jato é igual a que uma única gota do líquido teria de pudesse cair livremente no vácuo do nível acima do líquido em relação ao orifício do efluxo”.

$$v = v_i + a \cdot t$$

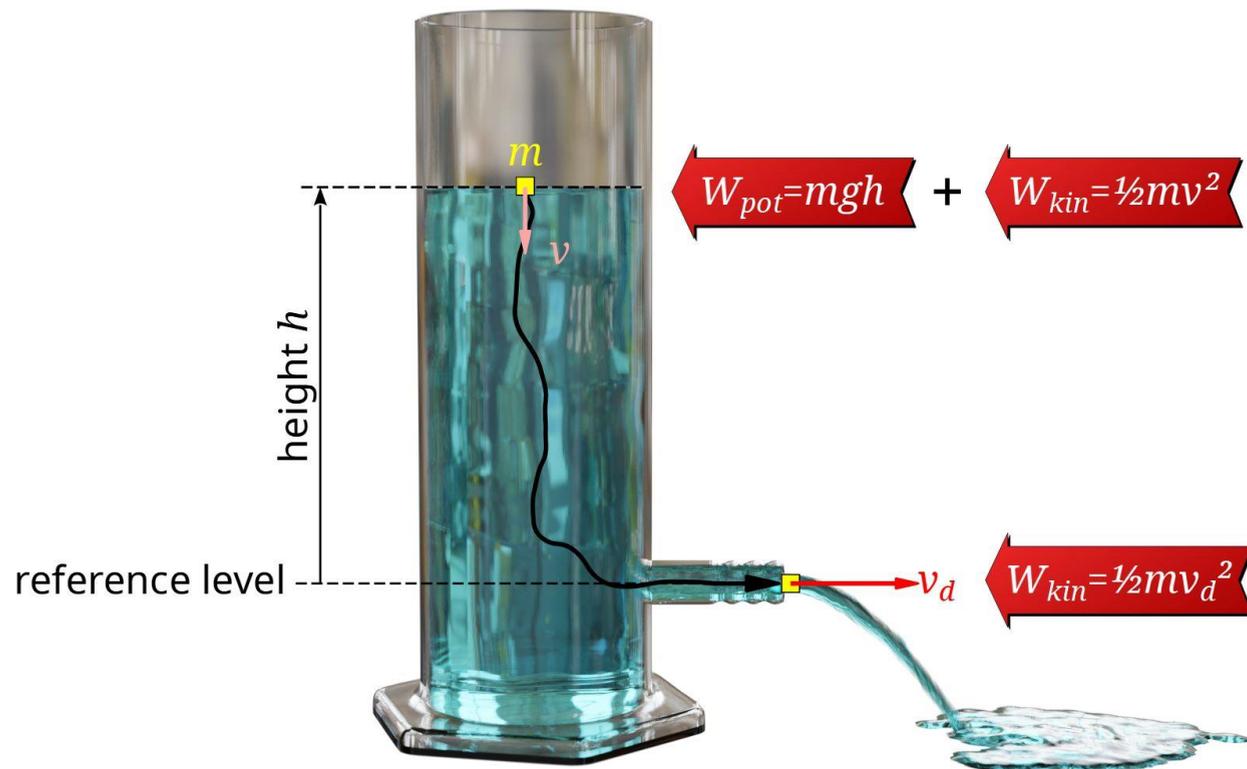
$$\Delta s = v_i \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$v^2 = v_i^2 + 2a\Delta s$$



Equação de Torricelli

$$P_a + \frac{1}{2} \rho v_a^2 + \rho g h_a = P_b + \frac{1}{2} \rho v_b^2 + \rho g h_b$$



$$P_{atm} + pgh = P_{bottom\ of\ tank} + 1/2 \rho v^2$$

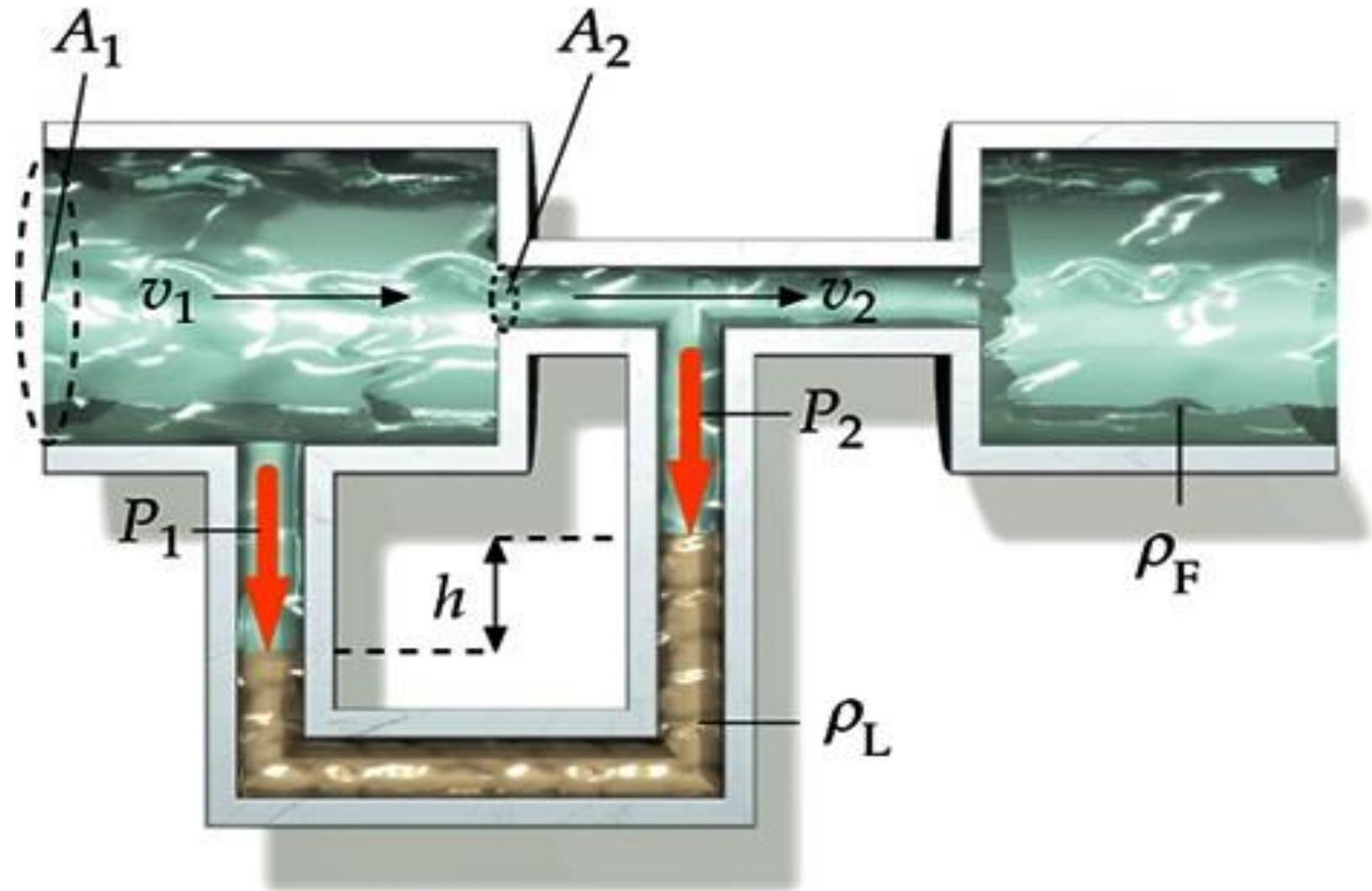
Se você fizer um pequeno furo no tanque, a água que sai do tanque deve ter uma pressão

$$P_{atm}$$

$$P_{atm} + pgh = P_{atm} + 1/2 \rho v^2 \Rightarrow pgh = 1/2 \rho v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

Aplicações da Equação de Bernoulli

MEDIDOR VENTURI

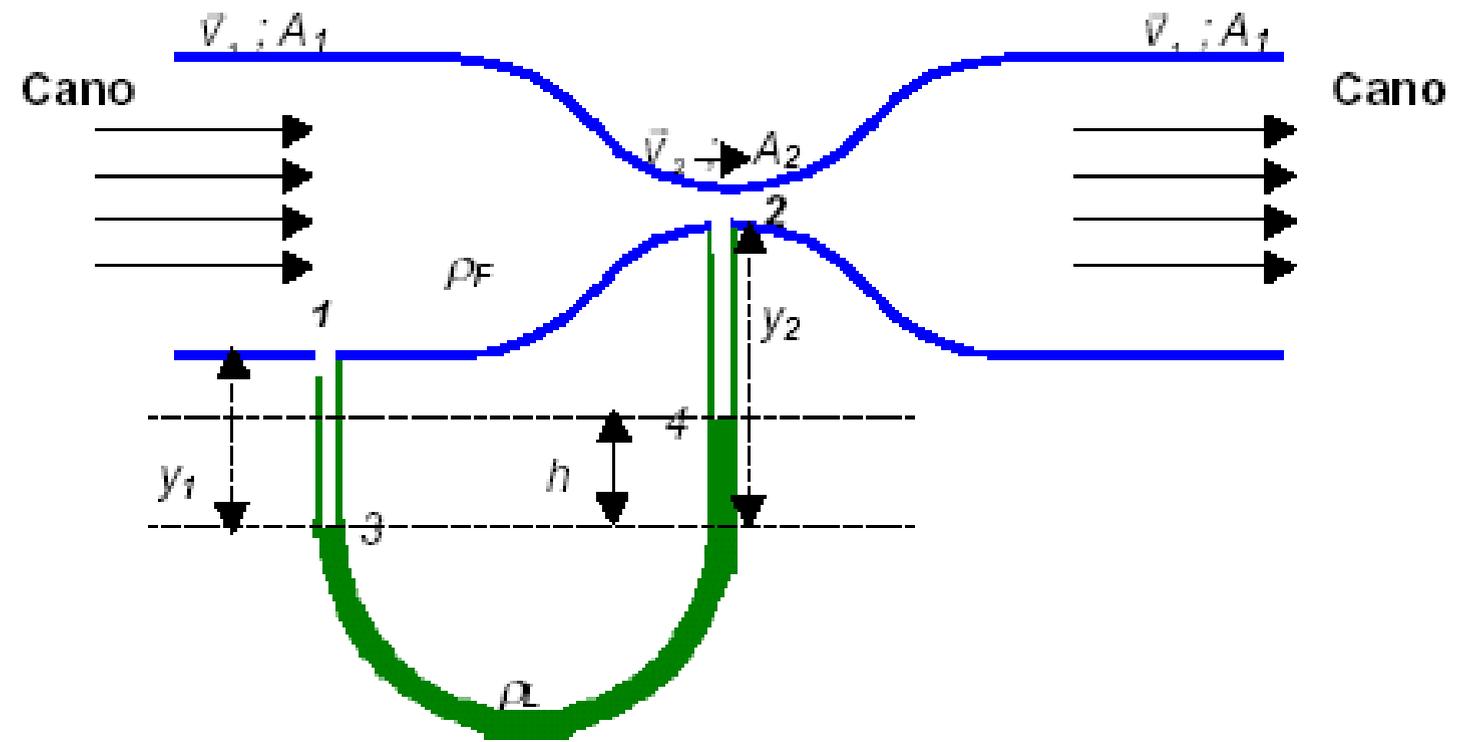
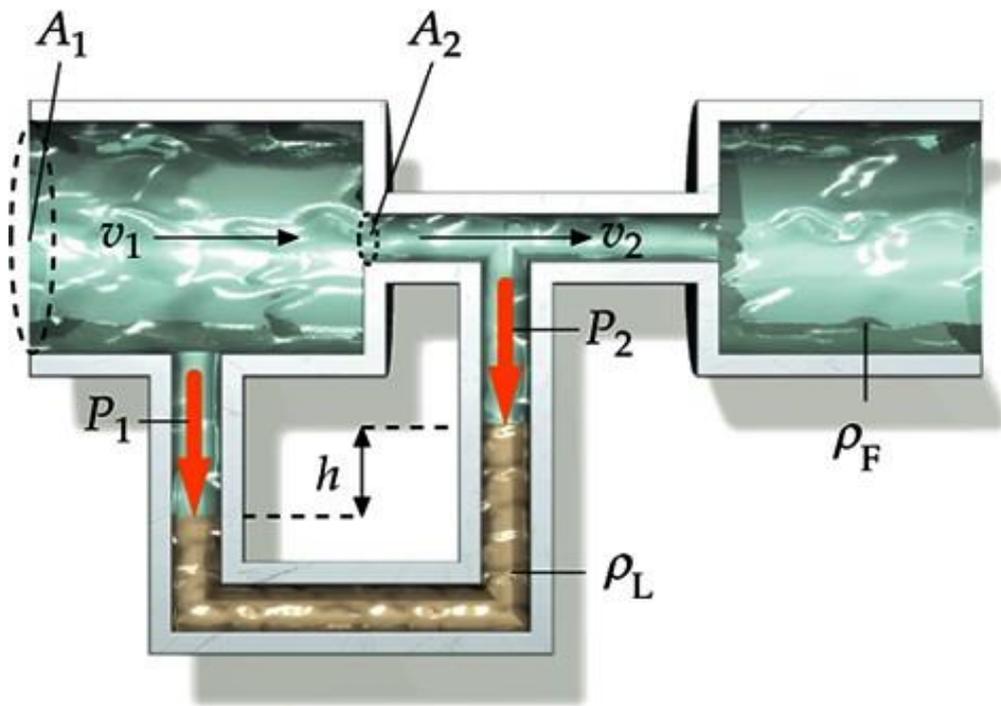


Venturi

A área A da seção transversal da entrada e da saída são iguais a área da seção transversal do cano.

Entre a entrada e a saída, o fluido passa por uma região estreita de área a .

Um manômetro que contém um líquido de densidade ρ_L conecta a parte mais larga à parte mais estreita.



O medidor de Venturi é usado para medir a velocidade de escoamento de um fluido de densidade ρ_F em um cano.

Venturi

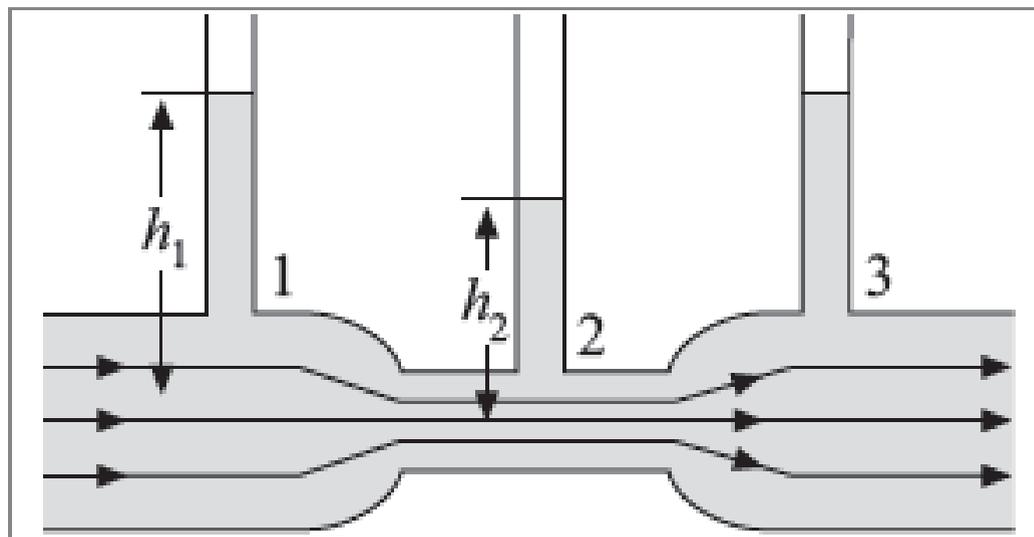
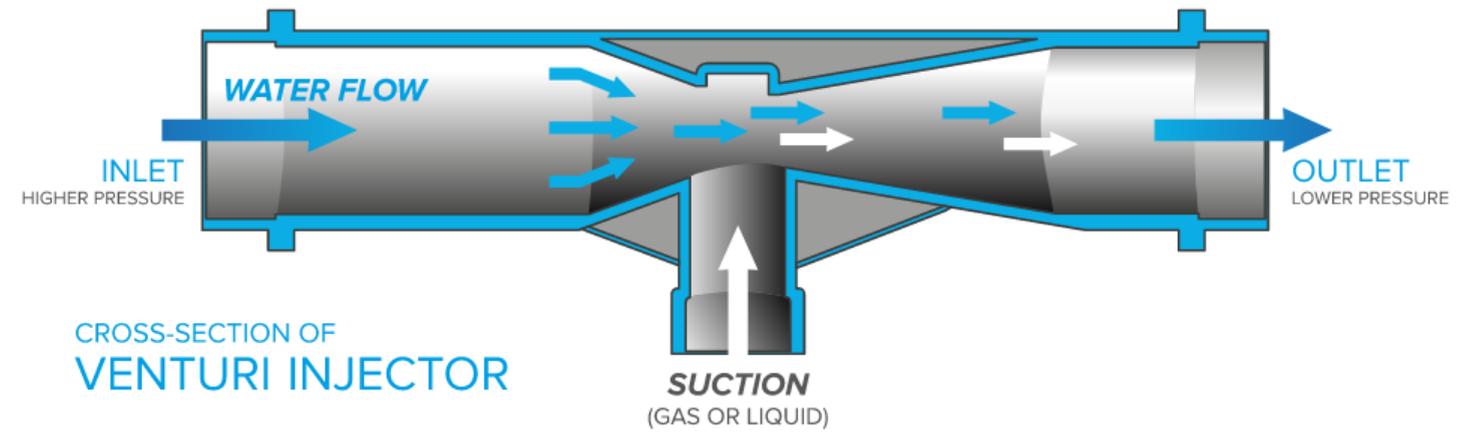
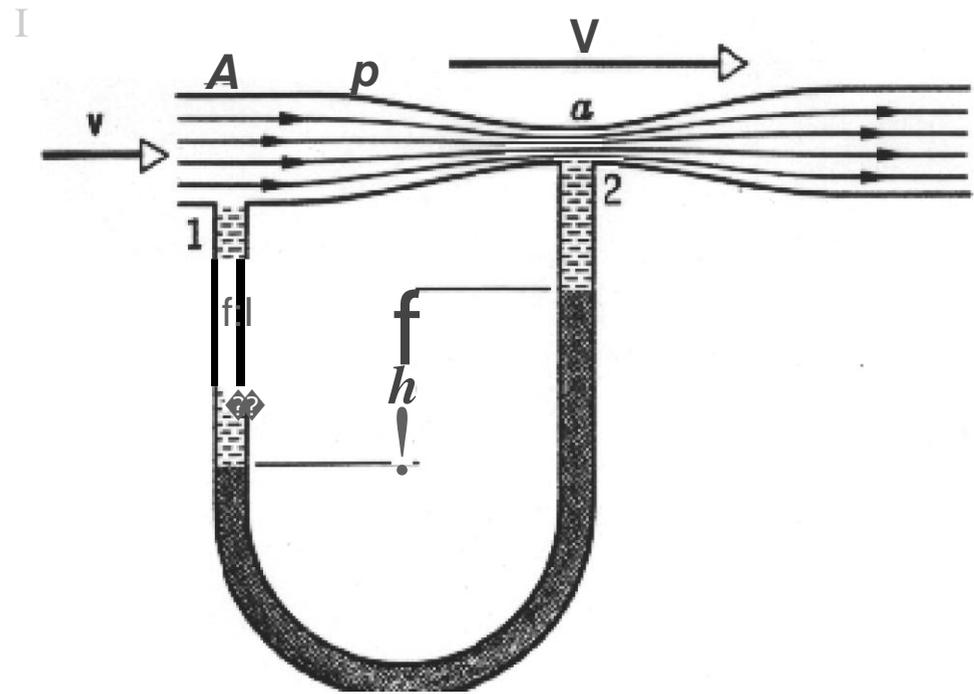
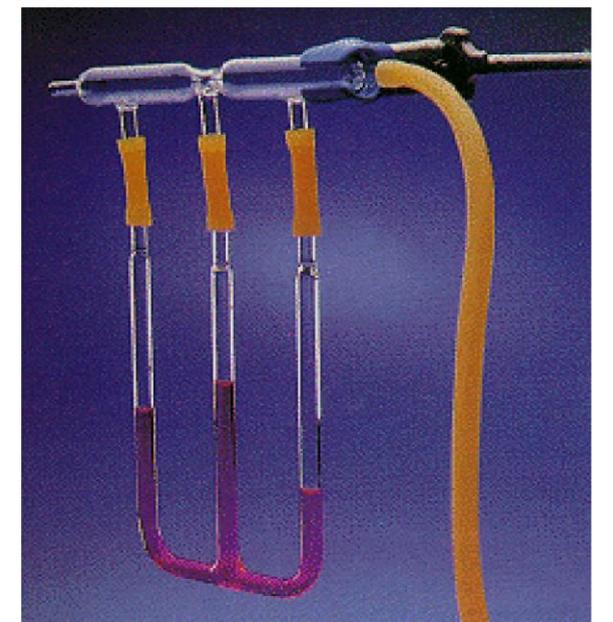


Figura 2.12 Fenômeno de Venturi.

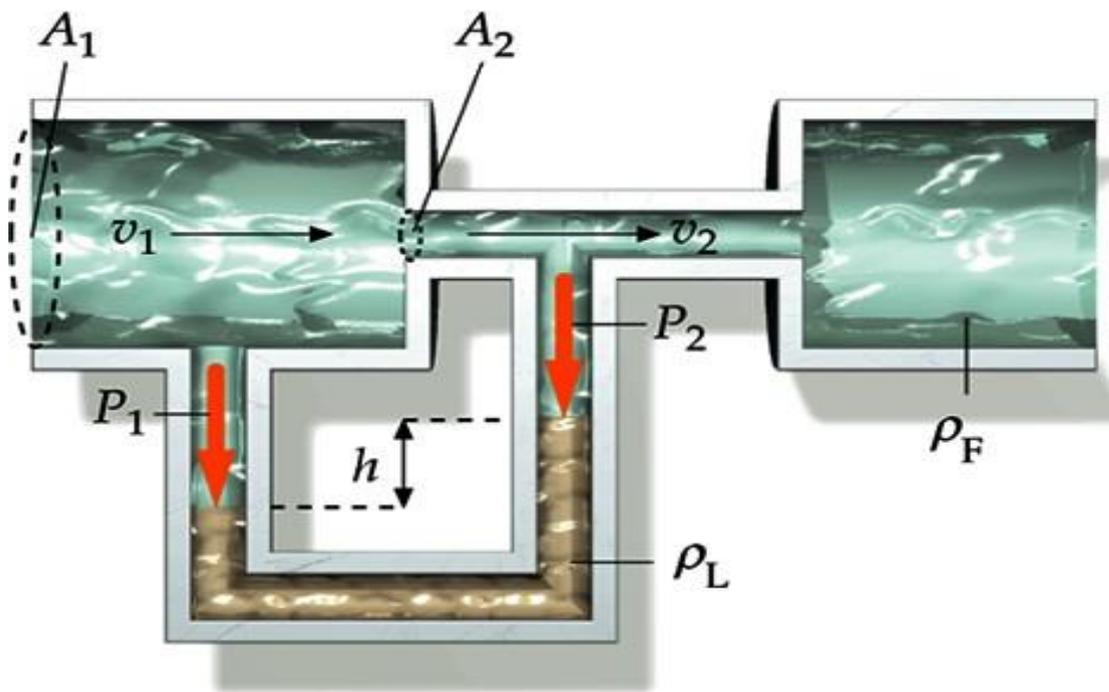


Venturi

Aplicando a equação nas regiões 1 e 2, temos:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho_F v_1^2 + \rho_F g (y_1 - h) = p_2 + \frac{1}{2} \rho_F v_2^2 + \rho_F g (y_2 - h)$$

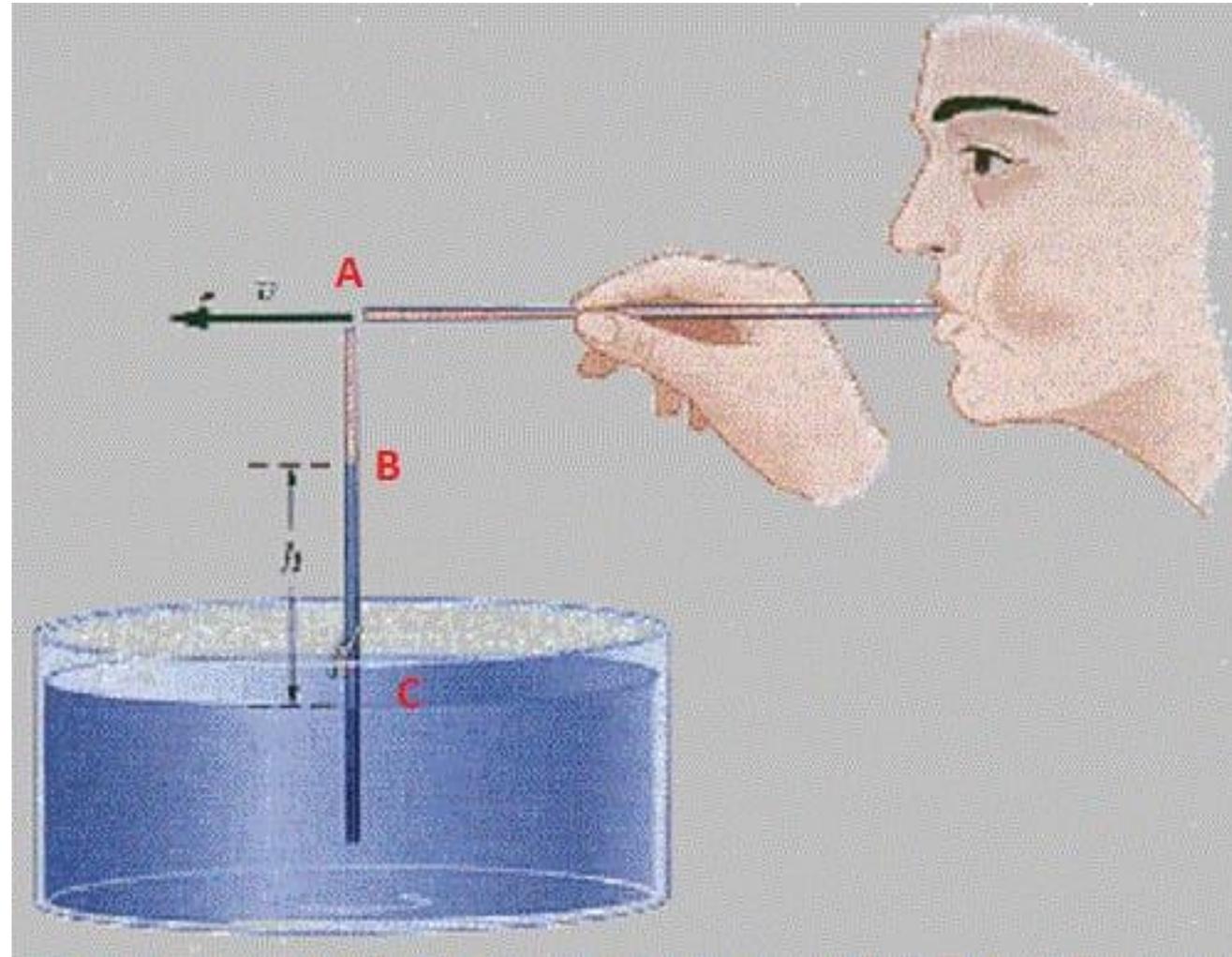
Referência da Energia Potencial gravitacional: ponto mais alto do líquido dentro do manômetro.



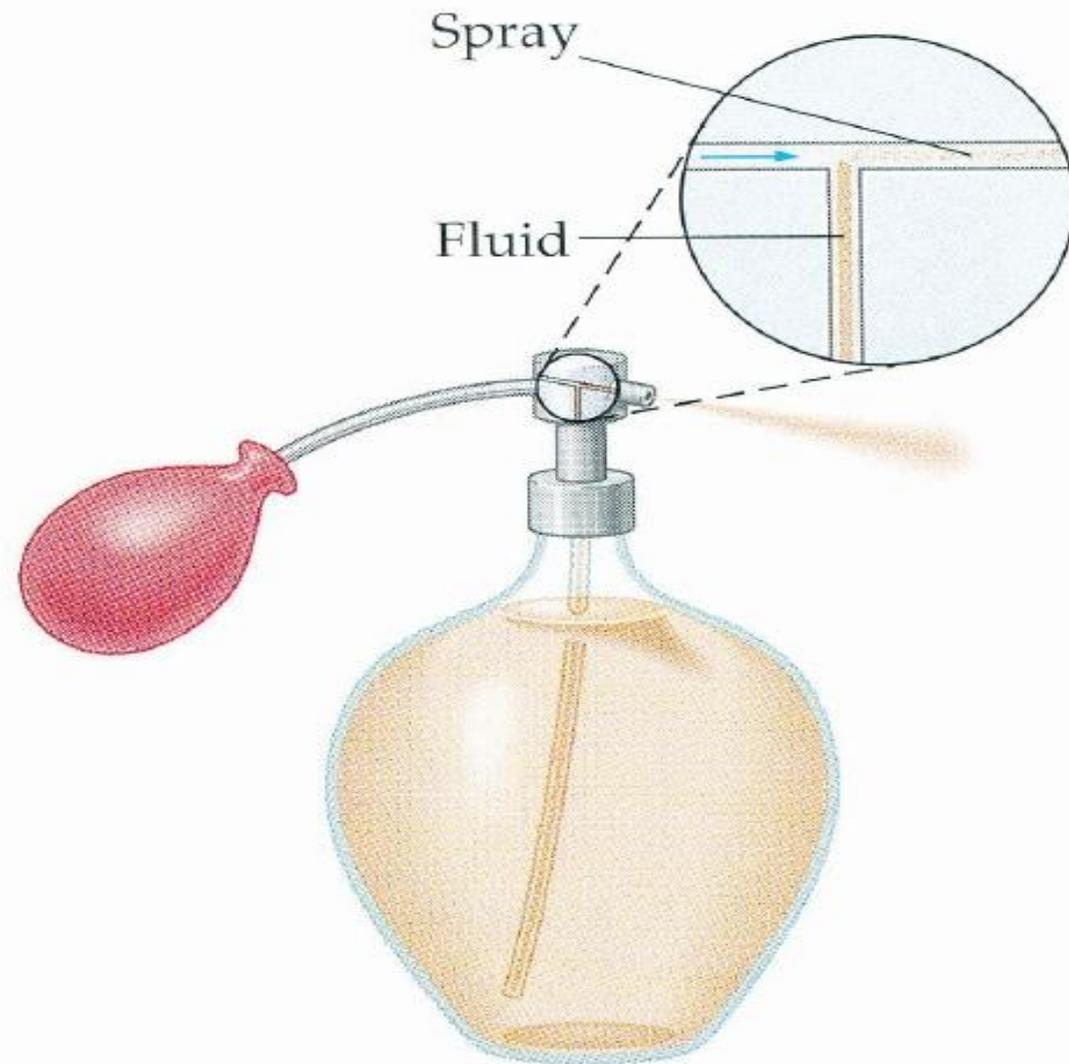
$$p_1 + \frac{1}{2} \rho_F v_1^2 + \rho_F g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho_F v_2^2 + \rho_F g y_2$$
$$(p_1 + \rho_F g y_1) - (p_2 + \rho_F g y_2) = \frac{1}{2} \rho_F v_2^2 - \frac{1}{2} \rho_F v_1^2$$

$$v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2 (P_1 - P_2)}{\rho_F (A_1^2 - A_2^2)}}$$

Canudo de Bernoulli

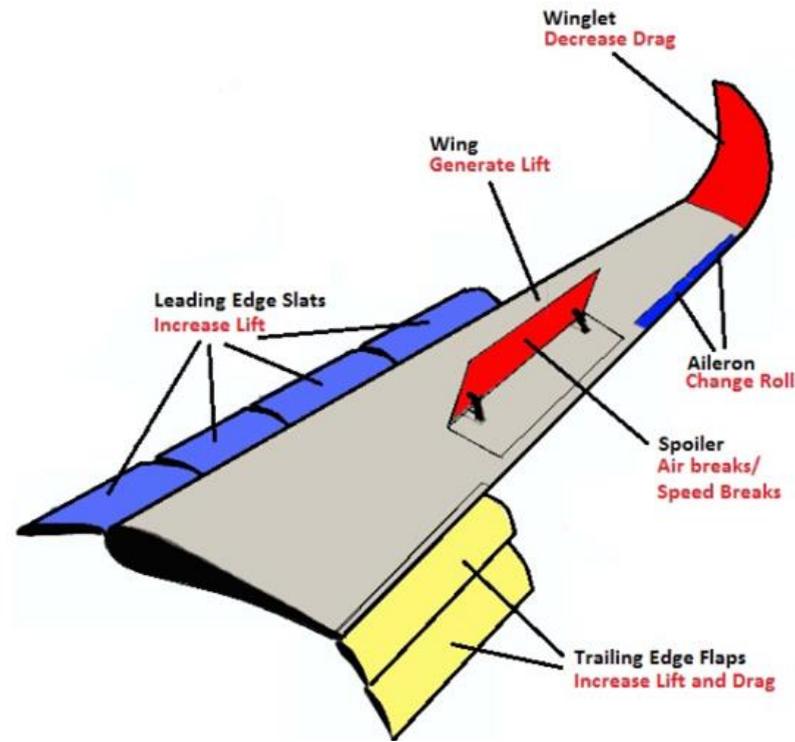
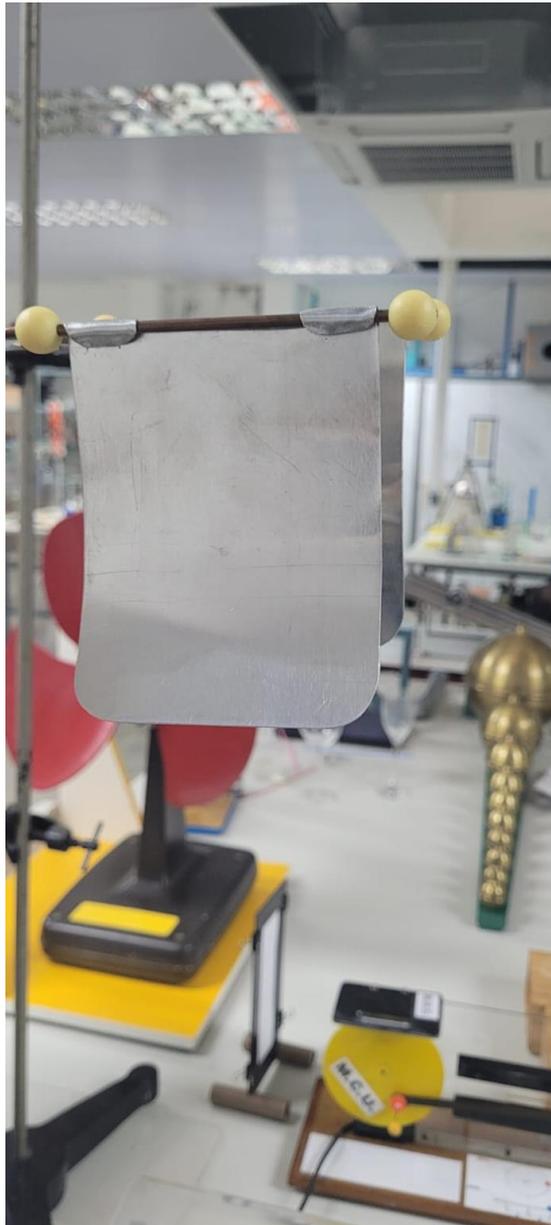


Atomizador



- Um atomizador é um dispositivo que retém ou arrasta gotículas de líquido em um gás que flui.
 - Funcionamento: princípio de Bernoulli.
 - Um bulbo de compressão ou bomba é usado para criar um jato de ar sobre um tubo aberto mergulhado em um líquido.
 - Pelo princípio de Bernoulli, o fluxo de ar de alta velocidade cria baixa pressão na extremidade aberta do tubo. Isso faz com que o líquido suba no tubo.
 - O líquido é então disperso em uma fina pulverização de gotículas.
 - Este tipo de sistema é usado em frascos de perfume, pulverizadores de tinta, sprays para insetos e perfumes e carburadores de automóveis.
-

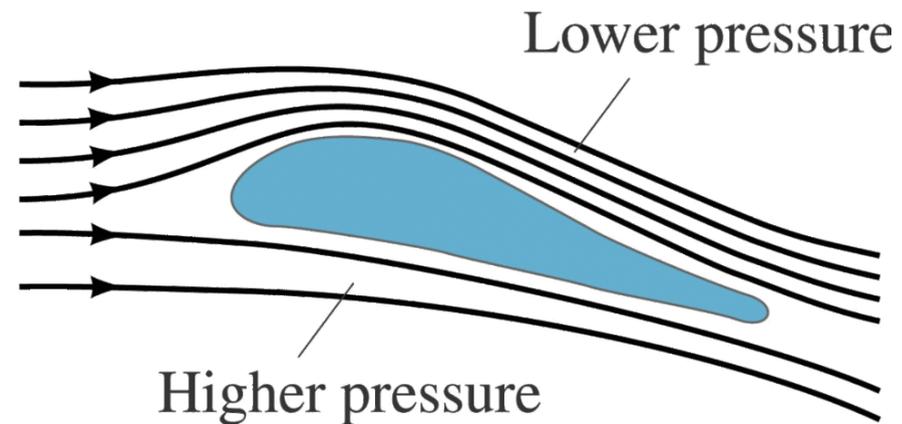
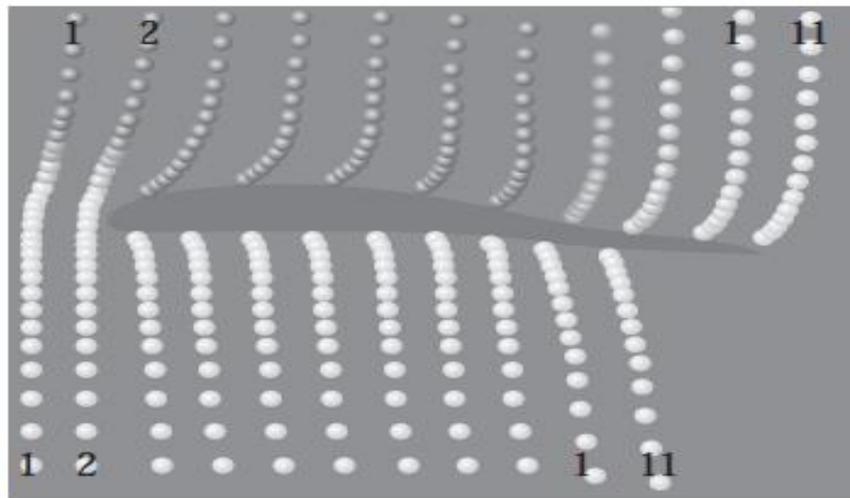
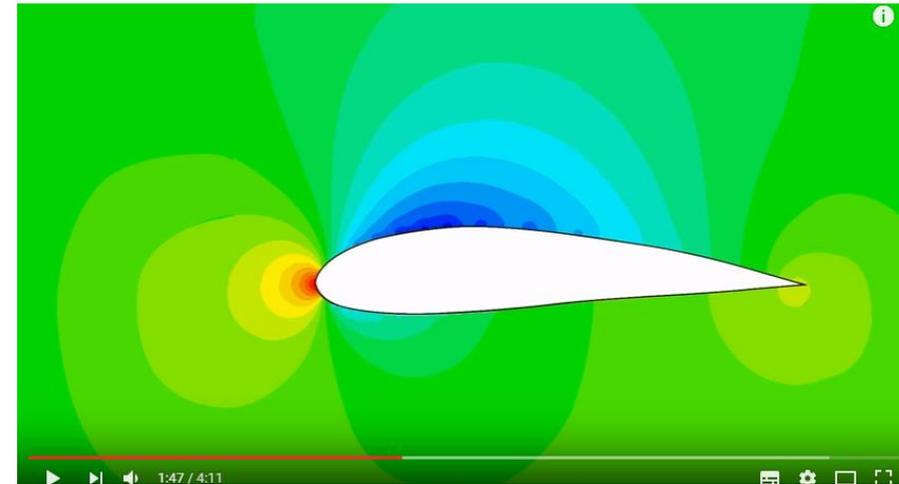
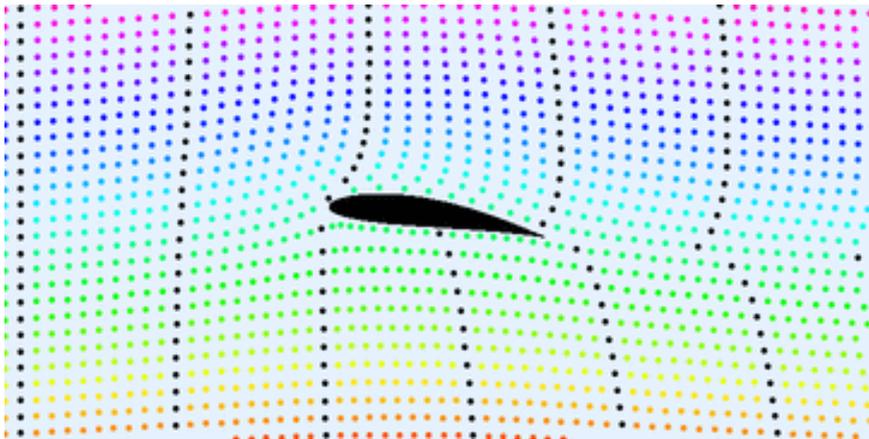
Bernoulli e o Avião



Porque a placa é curvada?
Como esse experimento explica o funcionamento da asa do avião? E do aerofólio do carro?
A asa em formato de anel traz alguma vantagem?
O que aconteceria se a placa fosse reta ?

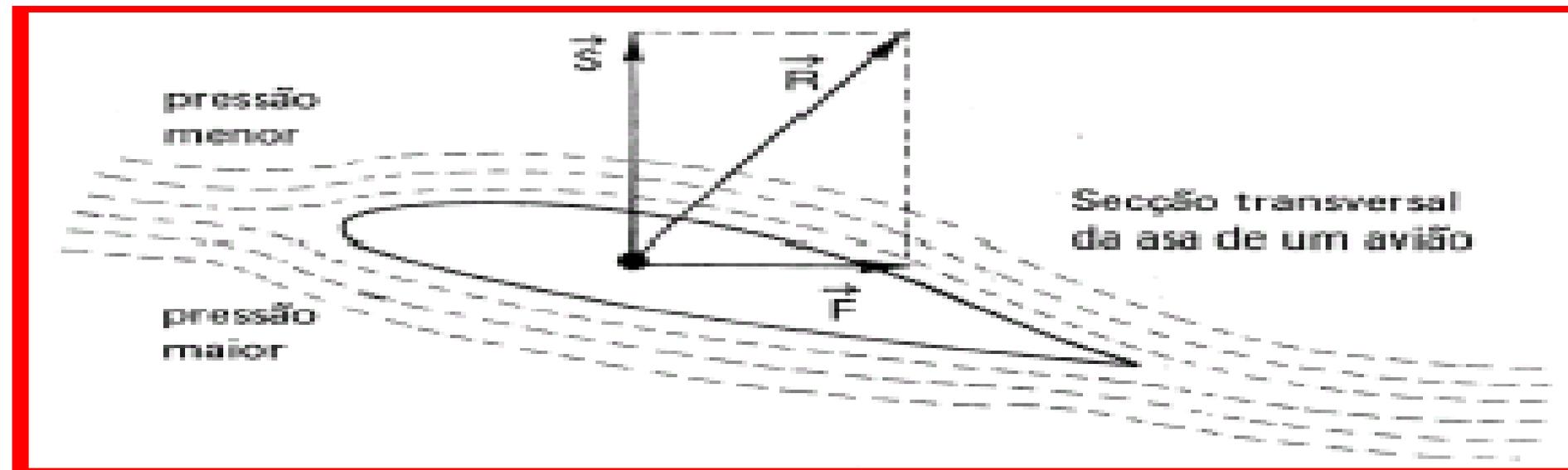
Voo avião

Ar é acelerado para parte superior diminuindo a pressão.



Sustentação do avião

- Quando um avião se desloca horizontalmente ou com uma pequena inclinação para cima, a velocidade do ar acima da asa é maior do que sua face inferior
- Pressão do ar é maior embaixo do que em cima da asa.
- Força de sustentação d baixo para cima, permitindo se manter no ar sem cair.



$R = S + F$ onde, R é a força resultante, S : força de sustentação e F =força de resistência

Voo

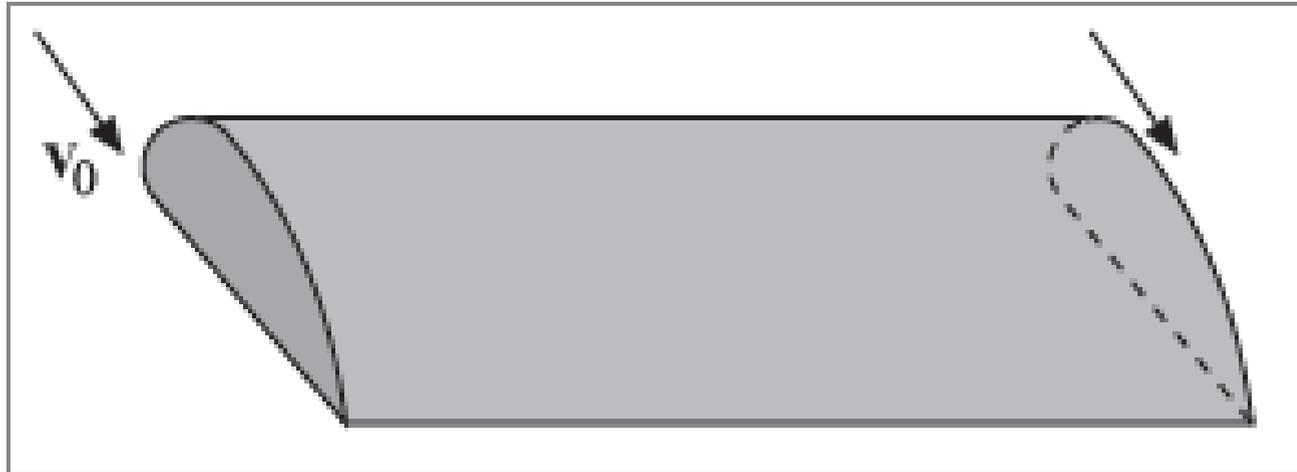


Figura 2.22 Aerofólio.

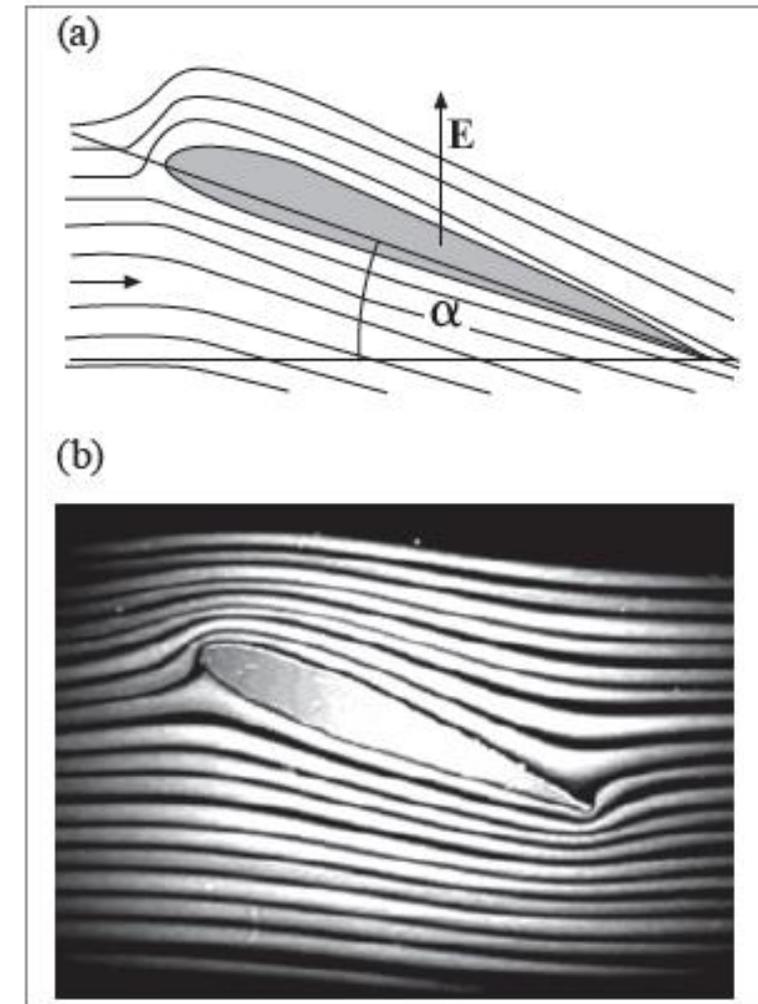
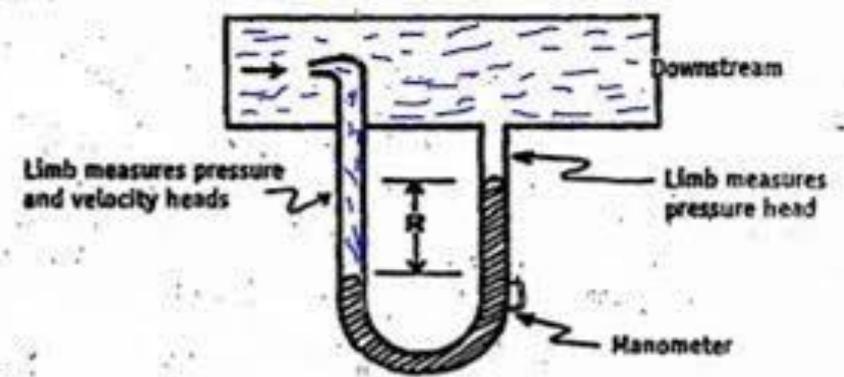
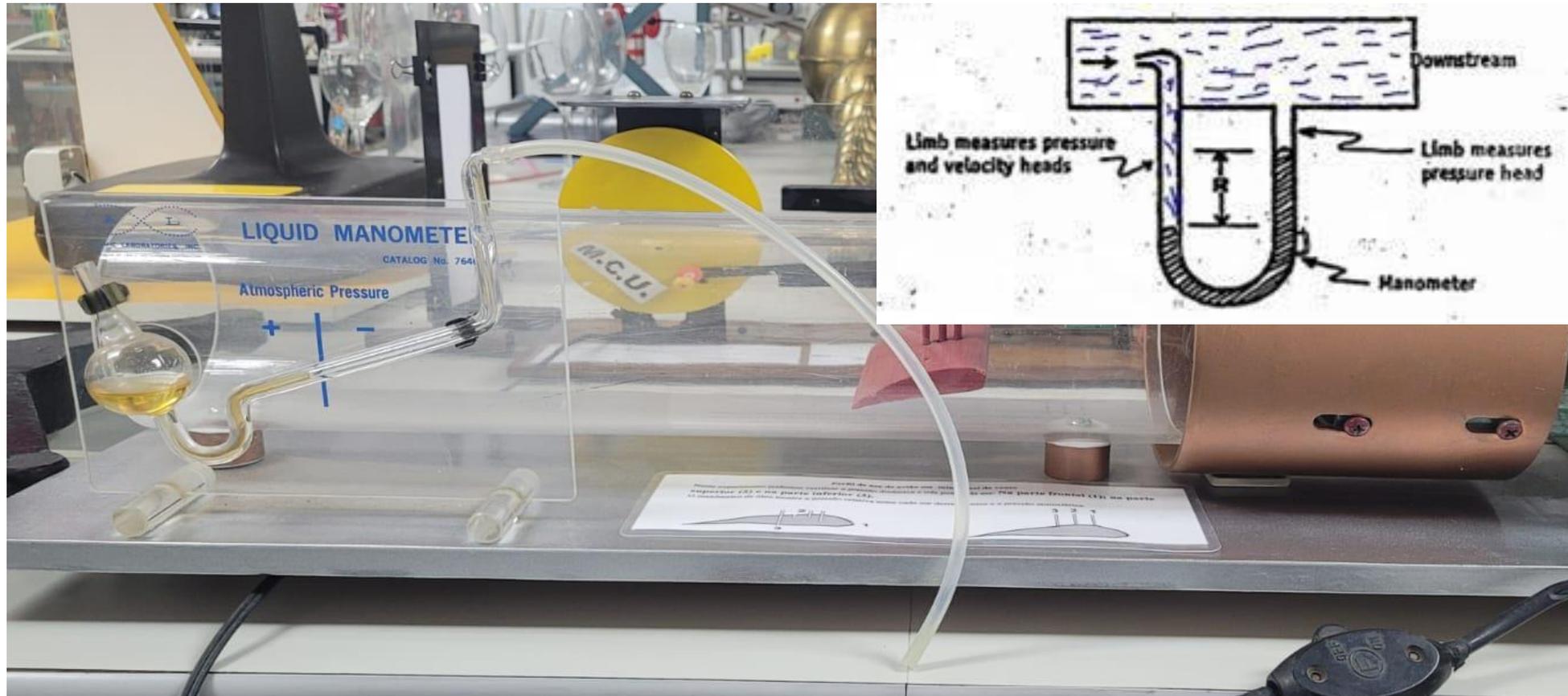


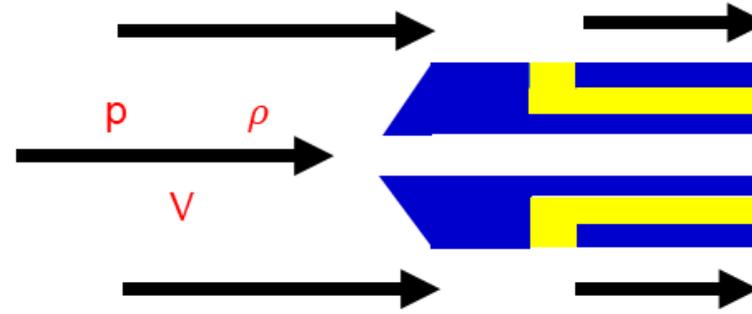
Figura 2.23 (a) Ângulo de ataque α e empuxo dinâmico E ; (b) Linhas de corrente.

Tubo de Pitot

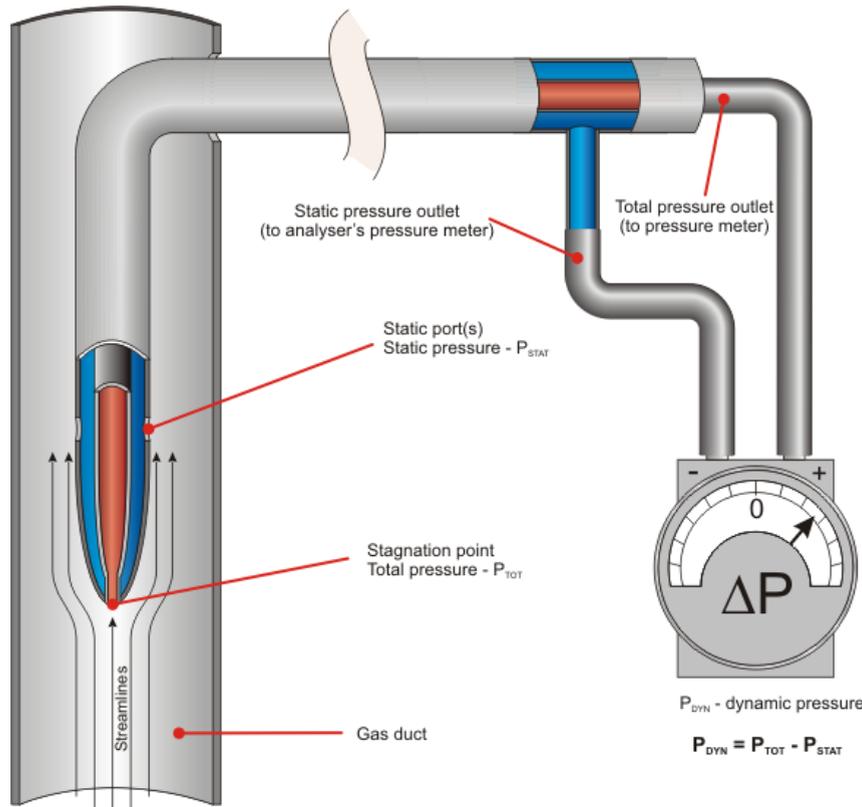


Como medir a velocidade de escoamento do fluido?
Como usar o tubo de Pitot como um aparelho de medida num avião?
Antes de iniciar o experimento. Onde a pressão é maior e menor que a atmosférica ?

Tubo de Pitot



$\rho = \text{Density}$
 $V = \text{Velocity}$
 $p = \text{Pressure}$



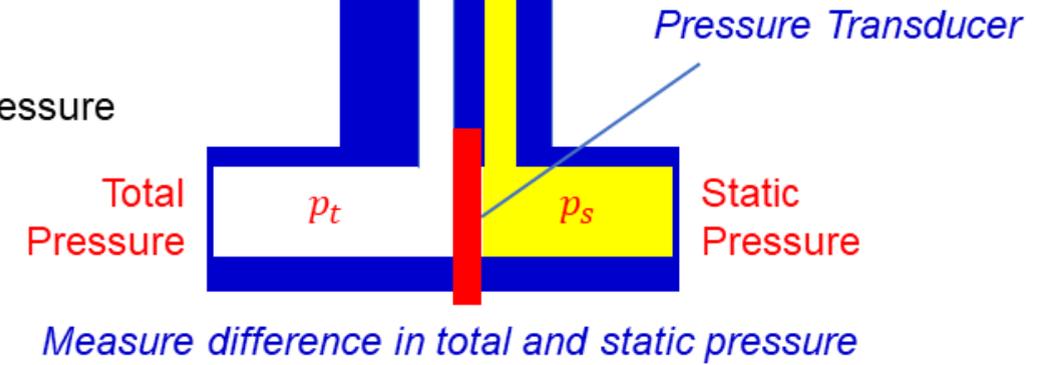
Bernoulli's Equation:

Static pressure + dynamic pressure = Total Pressure

$$\left(p_s + \rho \times \frac{V^2}{2} \right) = p_t$$

solve for velocity:

$$V^2 = \frac{2(p_t - p_s)}{\rho}$$



Efeito Magnus

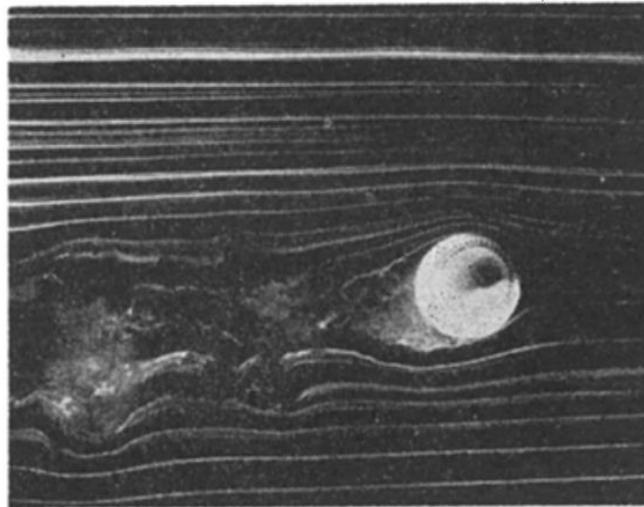
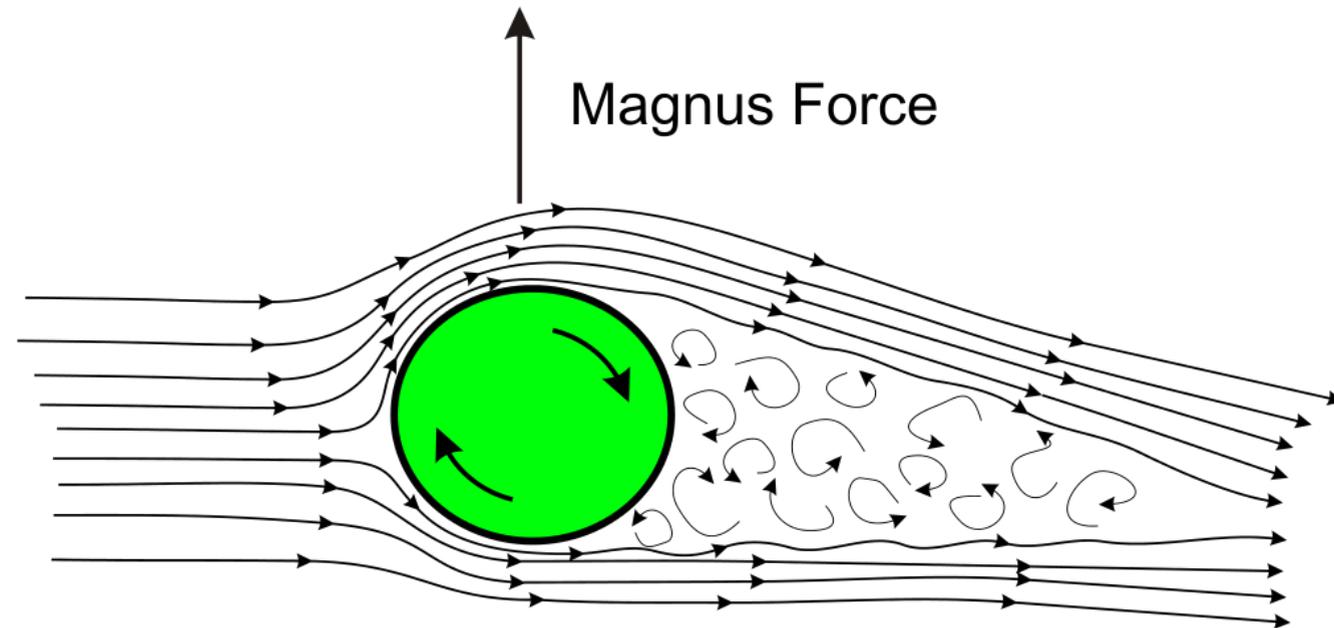


FIG. 1. Showing airflow past spinning ball in wind tunnel. Wind coming from right, 60 ft/sec. Spin 1000 rpm, counter-clockwise, about a horizontal axis at right angles to wind. Magnus force, upward. Courtesy of Professor F. N. M. Brown, University of Notre Dame.



Explicado pela equação de Bernoulli e terceira lei de Newton.

[Bola de Basquete com Backspin Voa de uma Represa \(youtube.com\)](https://www.youtube.com/watch?v=...)

Efeito Magnus

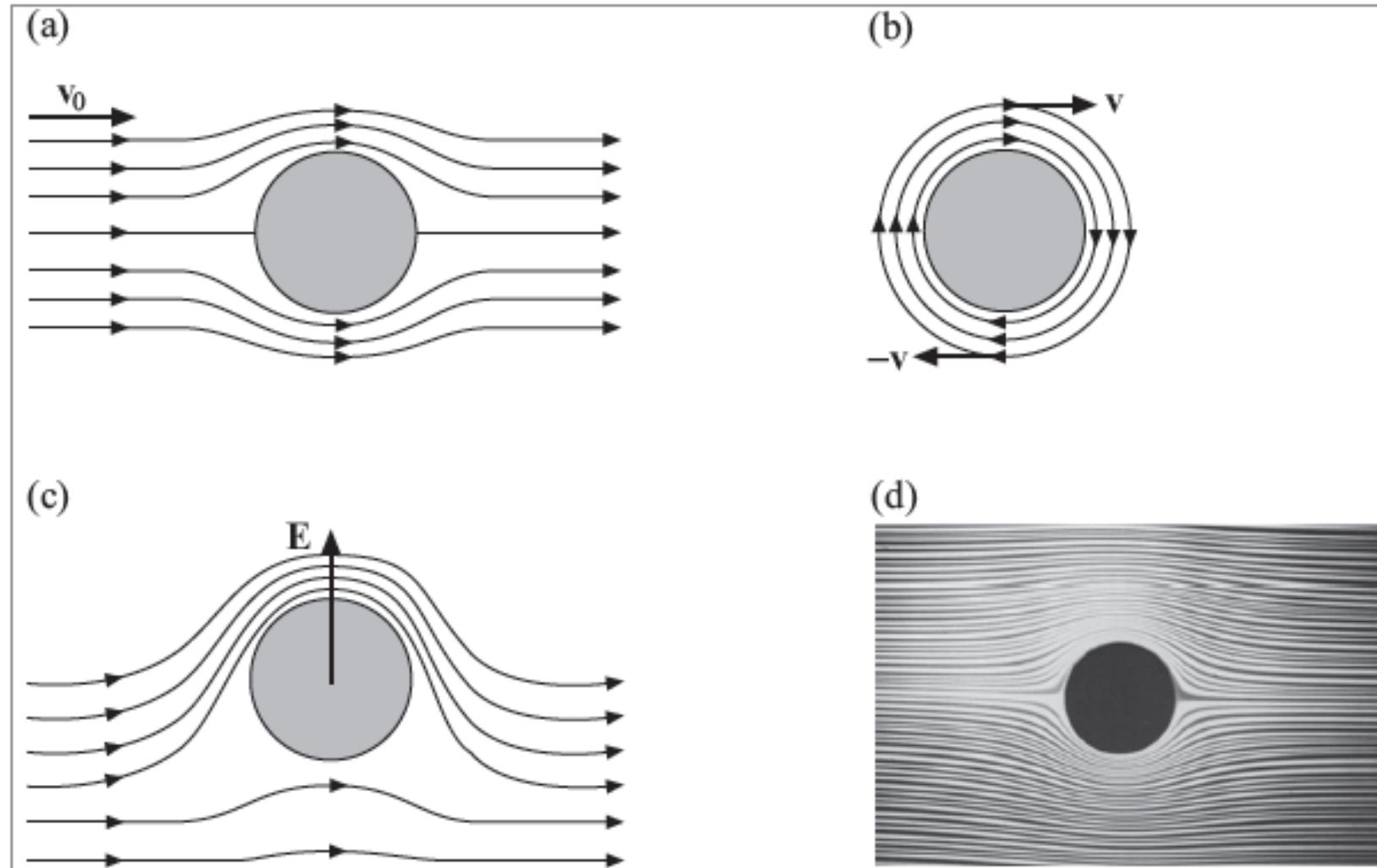


Figura 2.21 (a) (b) (c) Efeito Magnus; (d) escoamento laminar em torno de um cilindro. Fonte: O. G. Tietjens, *Applied Hydro and Aeromechanics*, McGraw-Hill, NY, 1934.

Viscosidade

- A viscosidade é o **atrito interno** em um fluido.
- As forças viscosas se opõem ao movimento de uma parte do fluido em relação a outra.
- A viscosidade é a razão pela qual você realiza um esforço para remar em uma canoa se deslocando em águas calmas, mas também é a razão pela qual você consegue remar.
- Os efeitos da viscosidade são importantes para o escoamento através de tubos, para o fluxo do sangue, para a lubrificação de diversas partes de máquinas e muitas outras situações.

Revisão da mecânica dos fluidos básica

Um conceito fundamental aqui é o momentum

A conservação da massa e do momento são fundamentais para a mecânica dos fluidos

Isso significa que a massa não é perdida ou criada no sistema em consideração.

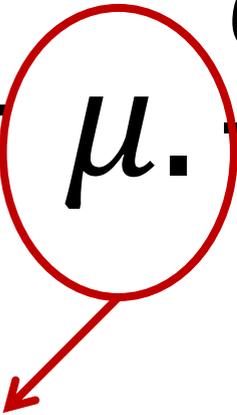
A segunda lei do movimento de Newton nos dá:

$$F = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Revisão da mecânica dos fluidos básica

Viscosidade: é uma medida da resistência ao fluxo

A lei do atrito de Newton relaciona a tensão de cisalhamento τ ao gradiente de velocidade em um fluido newtoniano.

$$\tau = \mu \cdot \frac{d\vec{u}}{dx}$$


O coeficiente de proporcionalidade é a viscosidade dinâmica

Revisão da mecânica dos fluidos básica

A viscosidade cinemática pode ser considerada como o coeficiente de difusão do momento, uma vez que

$$\tau = \mu \cdot \frac{d\vec{u}}{dx} = \mu \cdot \frac{\rho}{\rho} \cdot \frac{d\vec{u}}{dx}$$

$$\tau = \nu \cdot \frac{d\vec{p}}{dx}$$

A viscosidade cinemática (viscosidade din. pela densidade) – Análoga à Lei de difusão de Fick

Viscosidade

- A lava é um exemplo de escoamento de fluido viscoso.
- A viscosidade diminui com o aumento da temperatura: quanto mais quente a lava, mais facilmente ela esco.



Viscosidade

- O escoamento da água de uma torneira pode ser laminar ou turbulento:

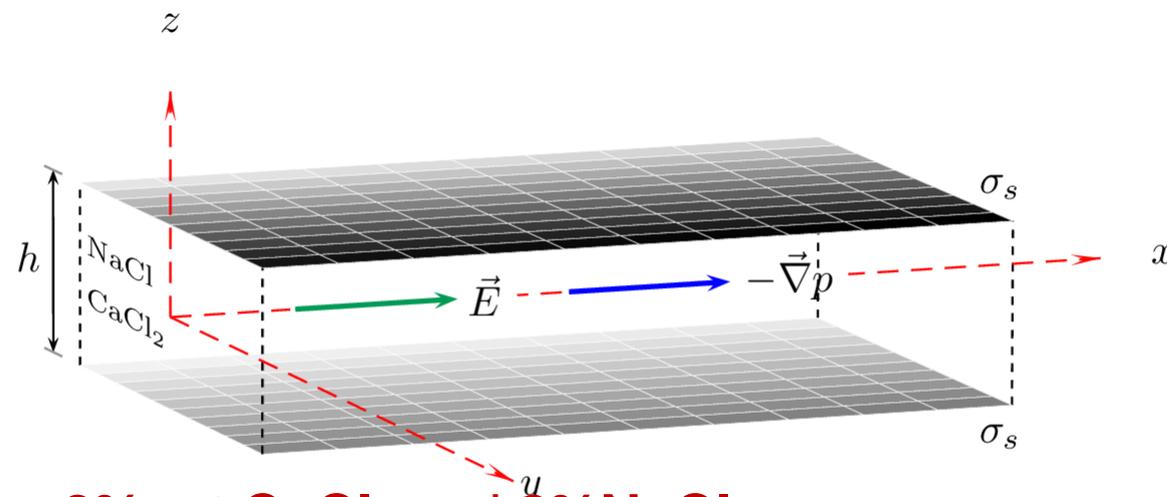
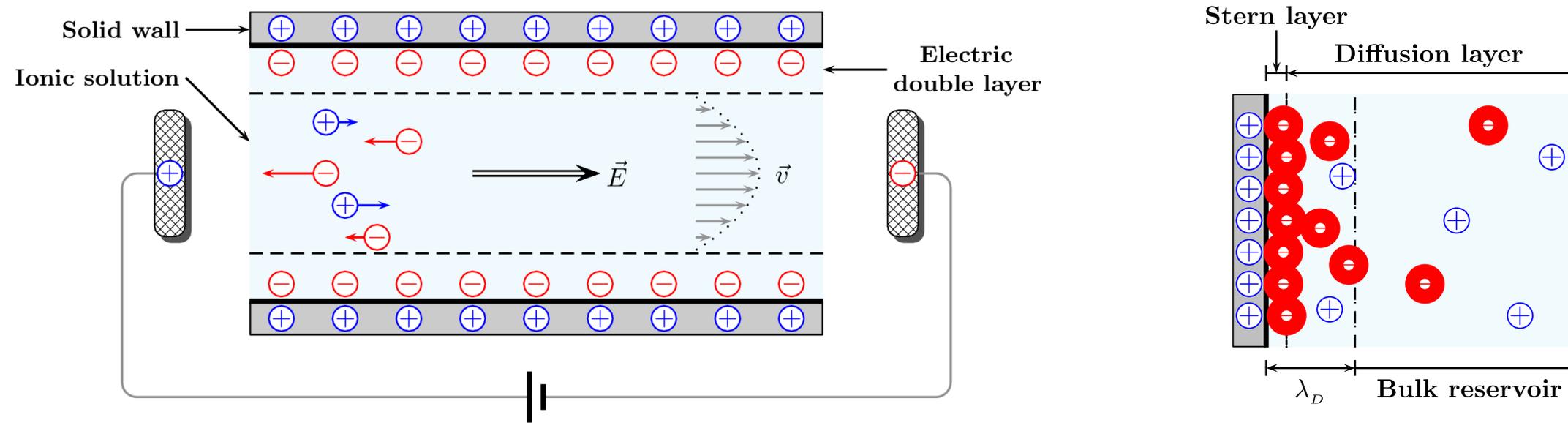
(a) Baixa velocidade:
fluxo laminar



(b) Alta velocidade:
fluxo turbulento



Electroosmosis

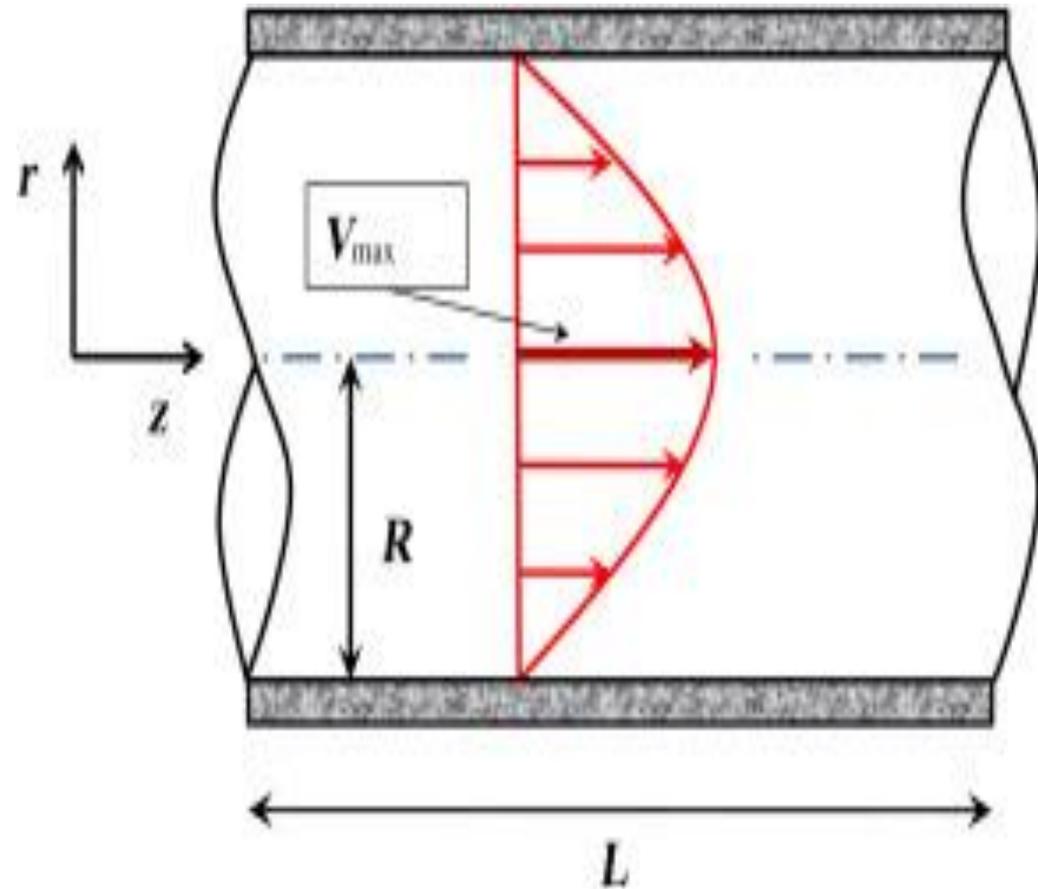
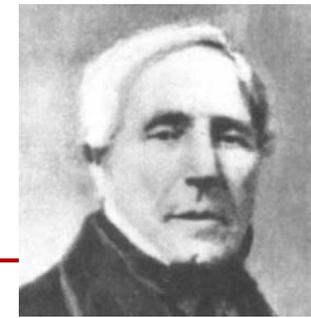


- **API brine: 2% wt CaCl_2 and 8% NaCl**
- **Clay: Montmorillonite**
- **Nanoparticle: Hydroxylated silica**

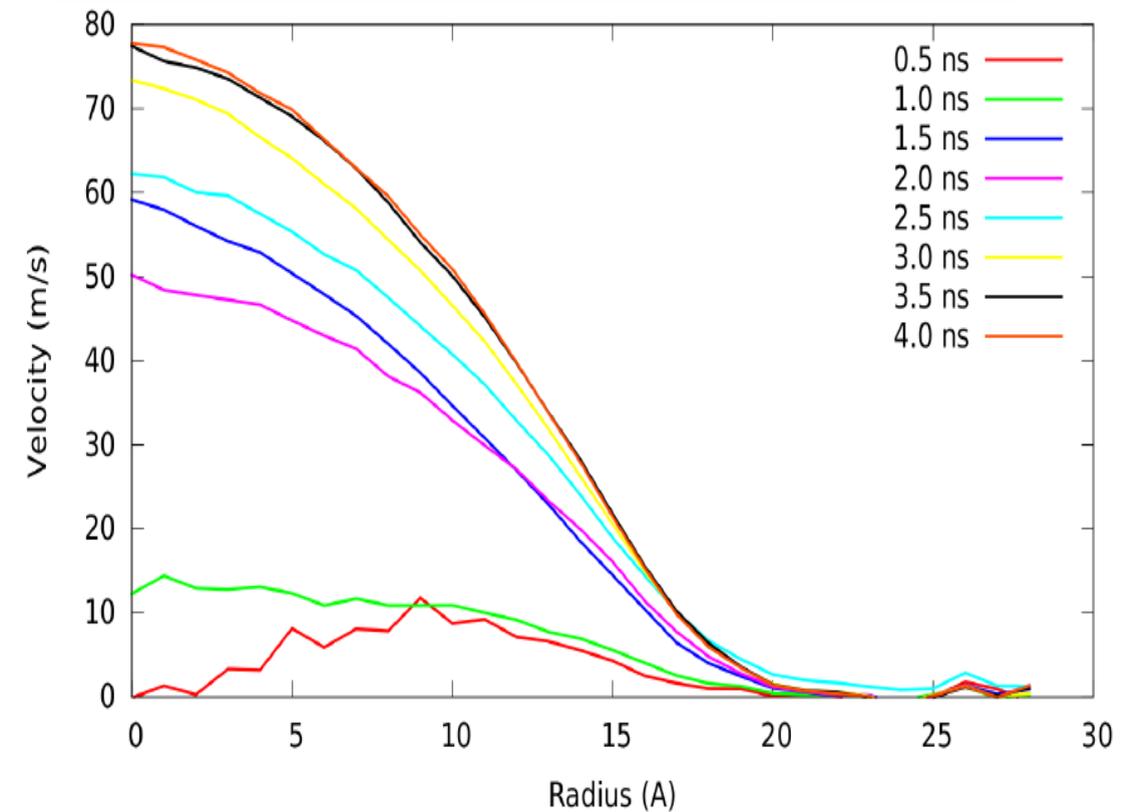
Electroosmosis

- **Electrostatic (Ion concentration)**
- **Hydrodynamic (Velocity profile)**

Hagen–Poiseuille equation



$$u(x) = \frac{3g [(d/2)^2 - (x - x_{max})^2]}{2(\tau - 1/2)}$$



$$\eta = \frac{\vec{a}\rho}{\left(\frac{d^2v(\vec{r})}{dr^2}\right)}$$

Viscosidade

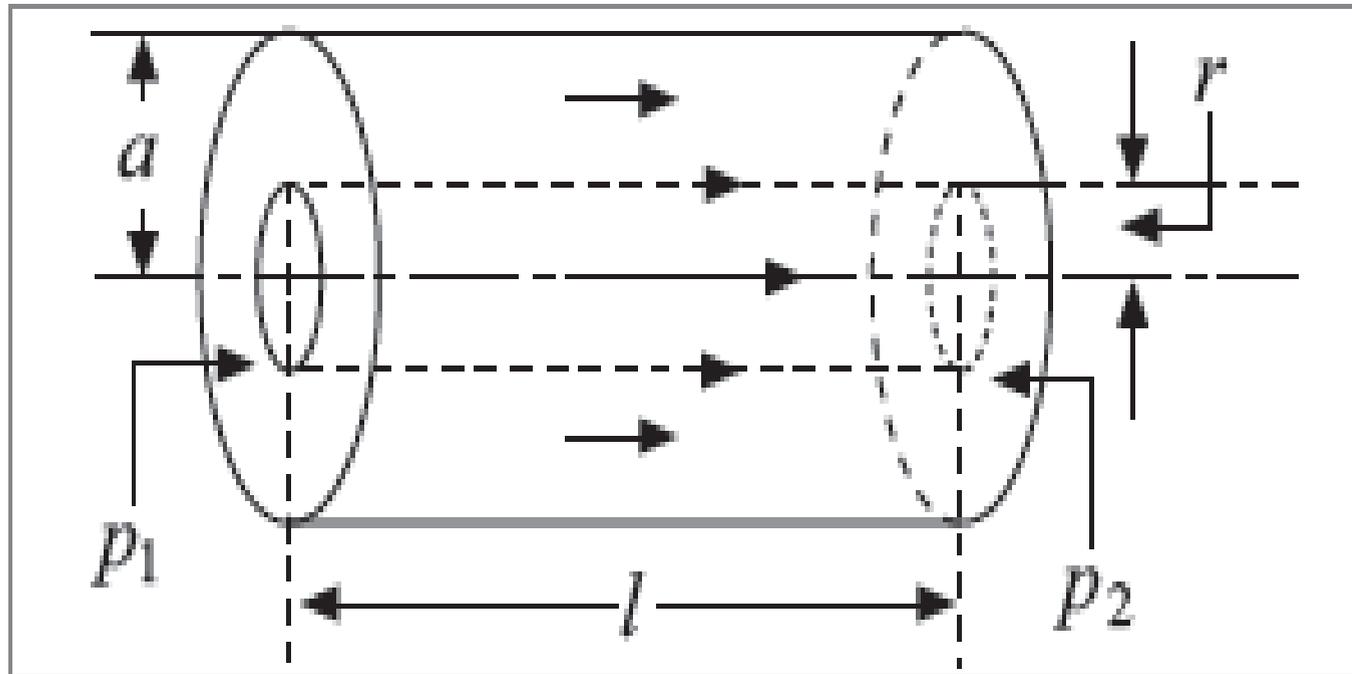


Figura 2.29 Escoamento viscoso num tubo cilíndrico.

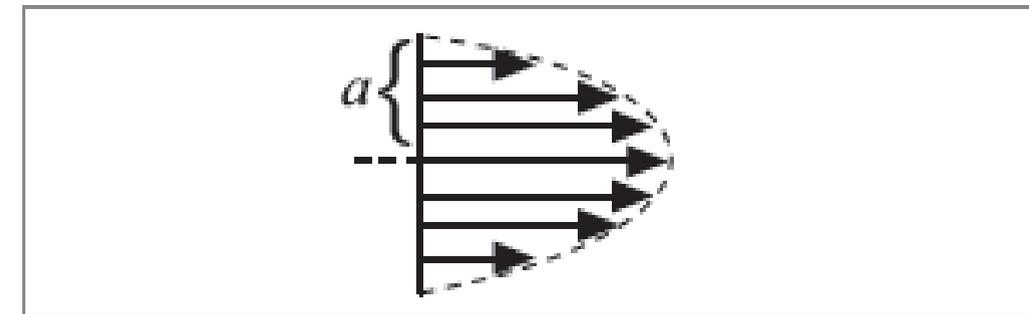


Figura 2.30 Perfil parabólico.

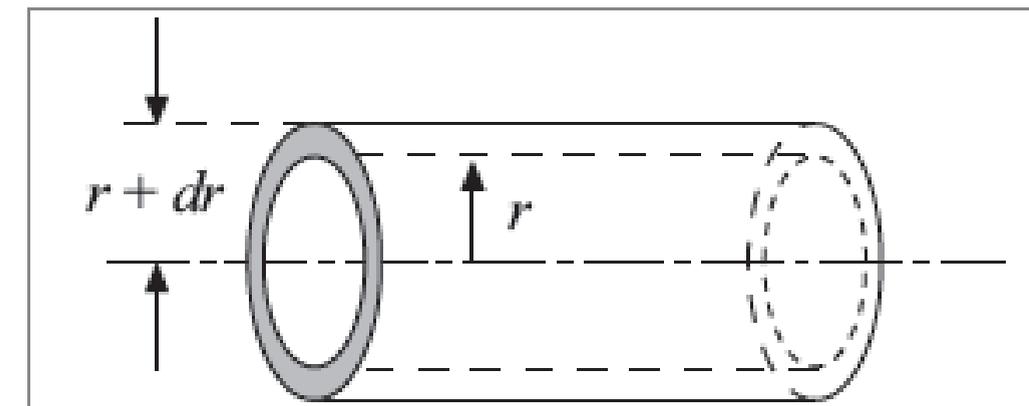
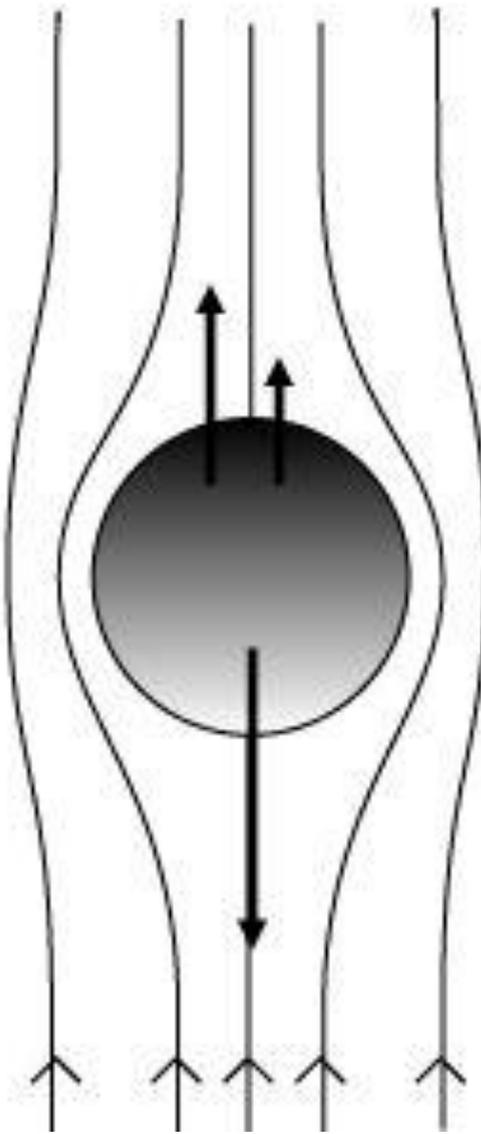
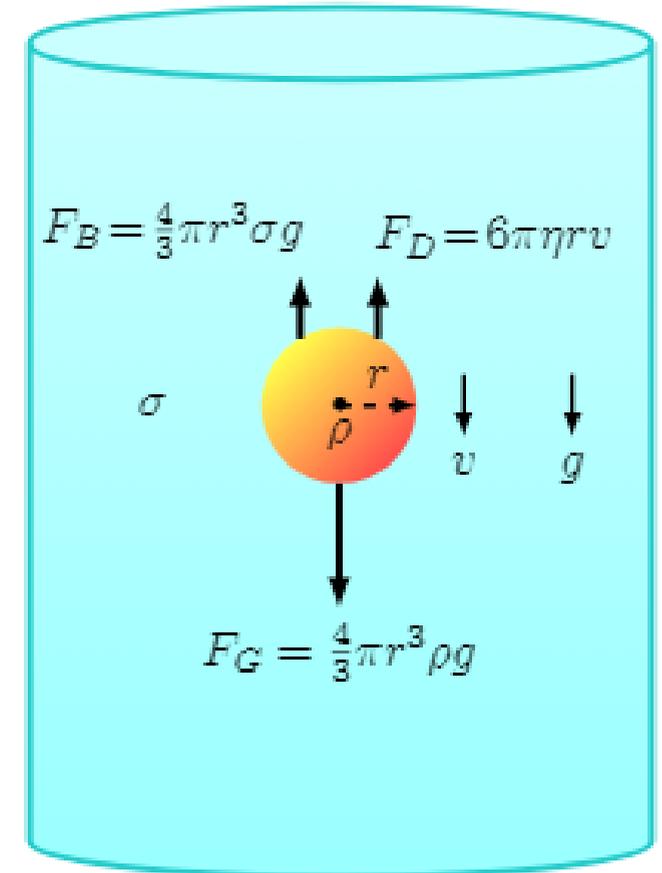


Figura 2.31 Cálculo da vazão.

Stokes e a Viscosidade

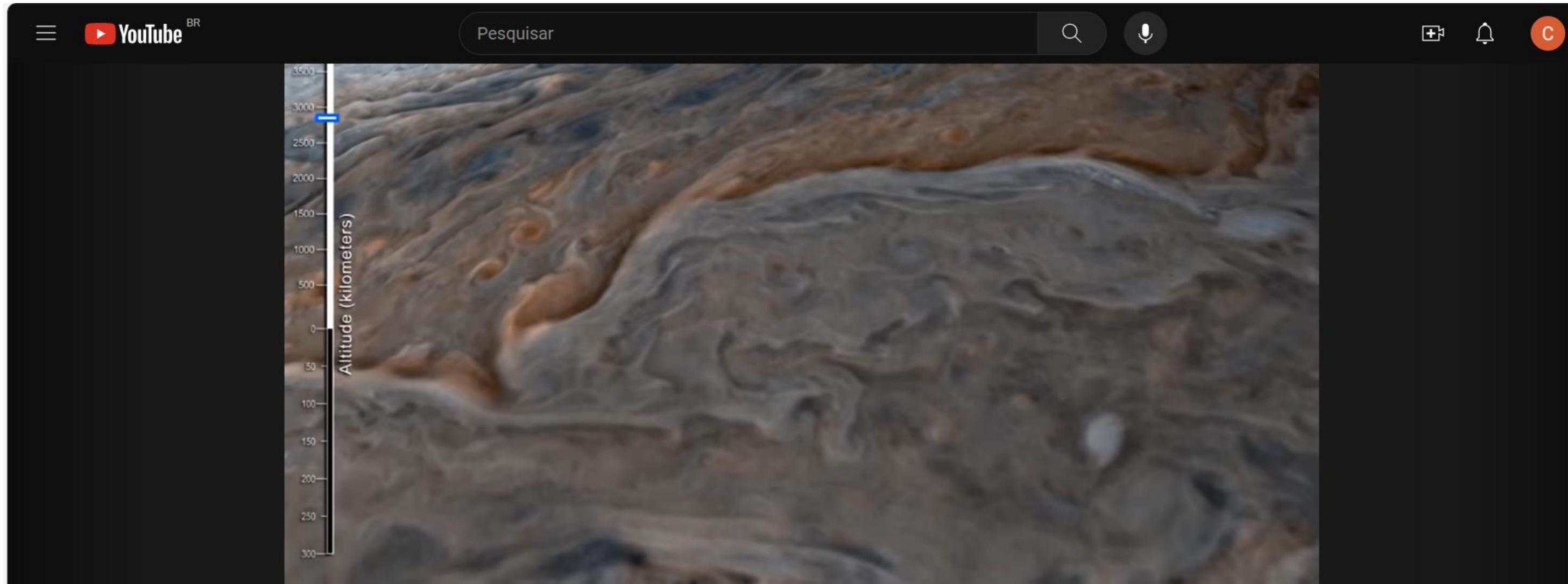


$$F = 6\pi r\eta v$$



Qual a velocidade para o deslocamento H?
O que estamos assumindo para essa fórmula valer?
Onde podemos ver a lei de Stokes na natureza?
Qual a viscosidade na água ?

Grande mancha vermelha em Jupiter



Fly into the Great Red Spot of Jupiter with NASA's Juno Mission

Sumário matemático

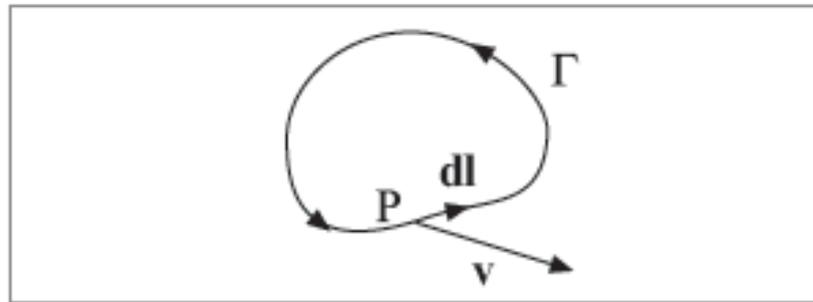


Figura 2.14 Circulação.

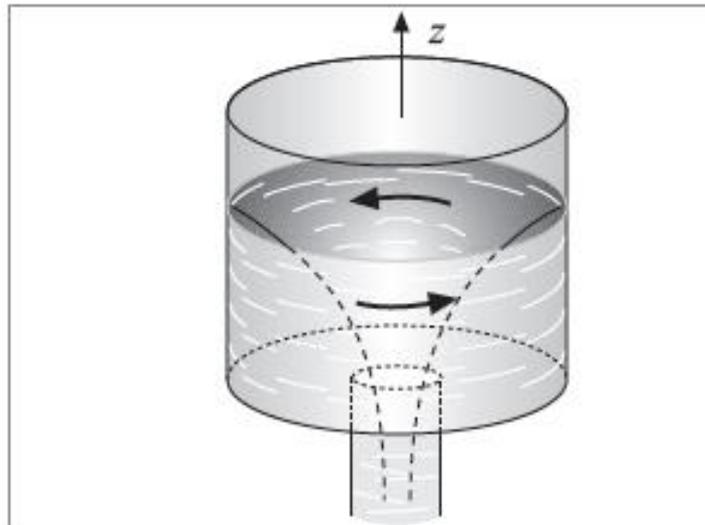


Figura 2.16 Redemoinho.

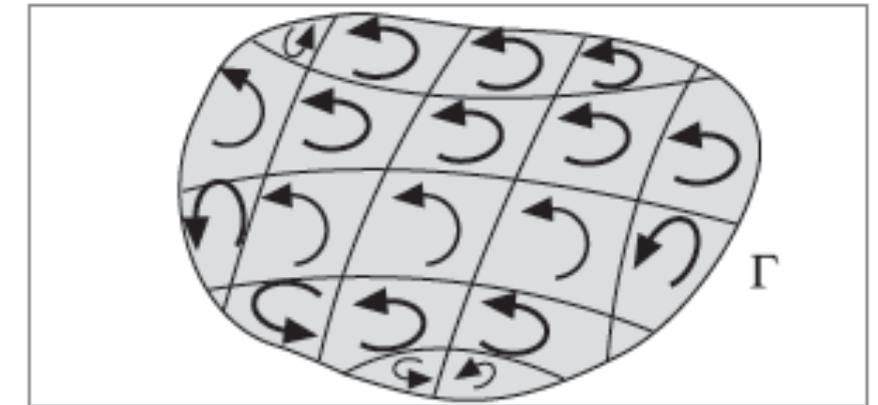


Figura 2.18 Malha de subcircuitos.

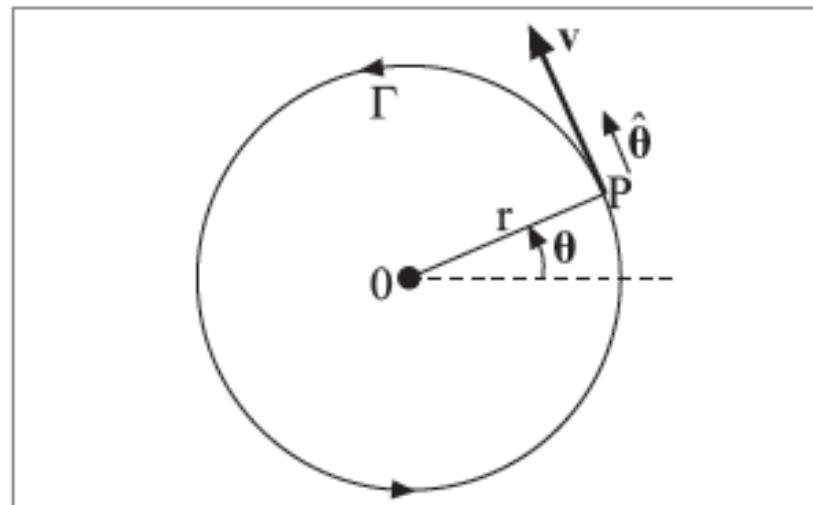


Figura 2.15 Líquido em rotação.

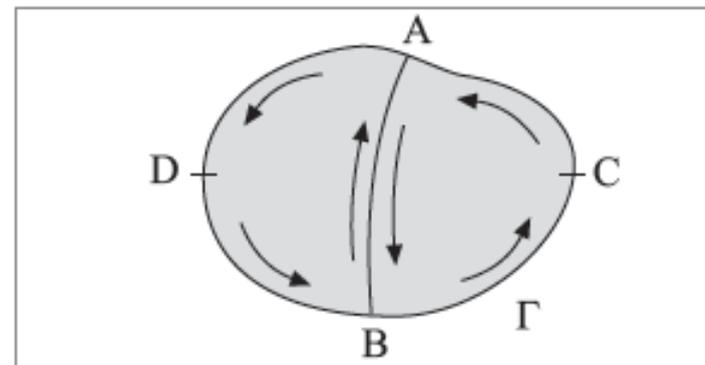


Figura 2.17 Propriedade aditiva.

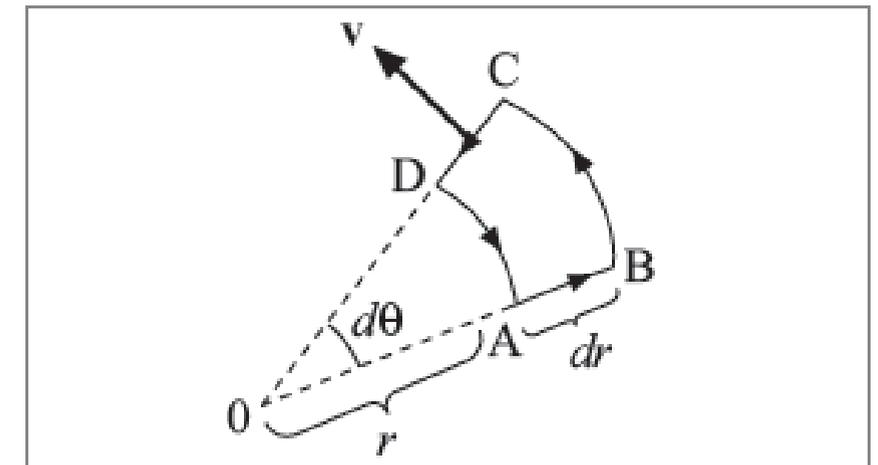


Figura 2.19 Circuito infinitésimo.

Sumário – 18/03/2024

- Aplicações da lei de Bernoulli e Viscosidade

Devolutiva:

- Como foi a aula hoje ? (Moodle)

<https://forms.gle/xYySNooJ9HcFkqCo9>

