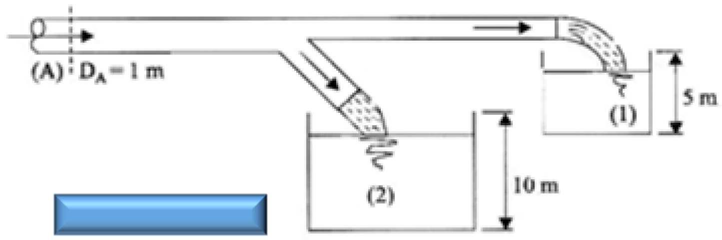
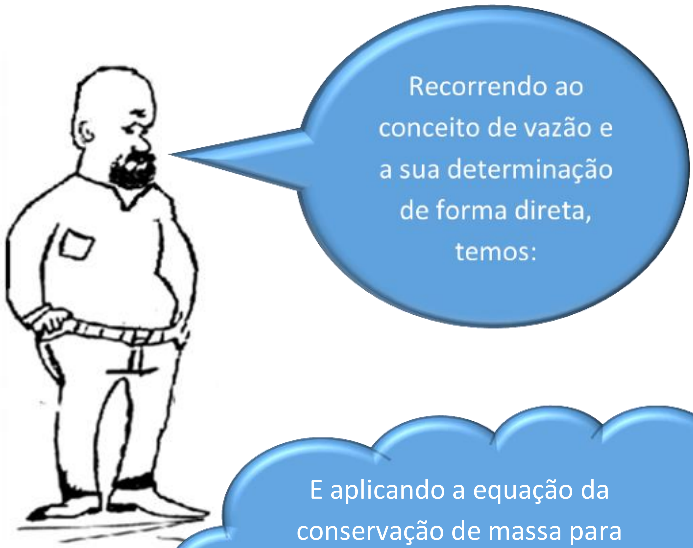
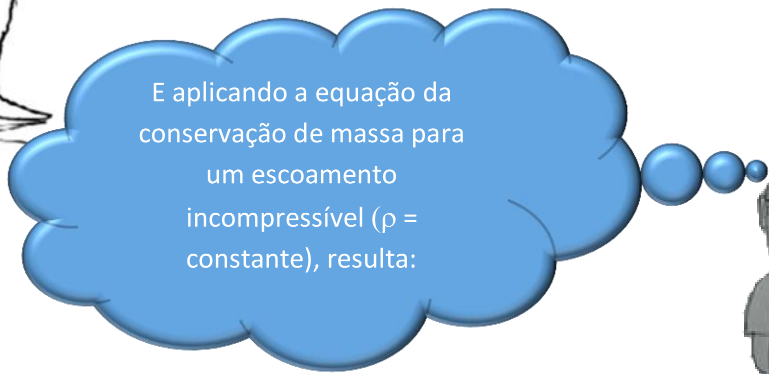
3.9 – Os reservatórios da figura são cúbicos e são enchidos pelos tubos, respectivamente, em 100s e 500s. Determinar a velocidade média da água na seção (A), sabendo que o diâmetro do conduto nessa seção é 1 m.





$$Q_1 = \frac{V_1}{t} = \frac{5^3}{100} = 1{,}25\frac{m^3}{s}$$

$$Q_2 = \frac{V_2}{t} = \frac{10^3}{500} = 2\frac{m^3}{s}$$

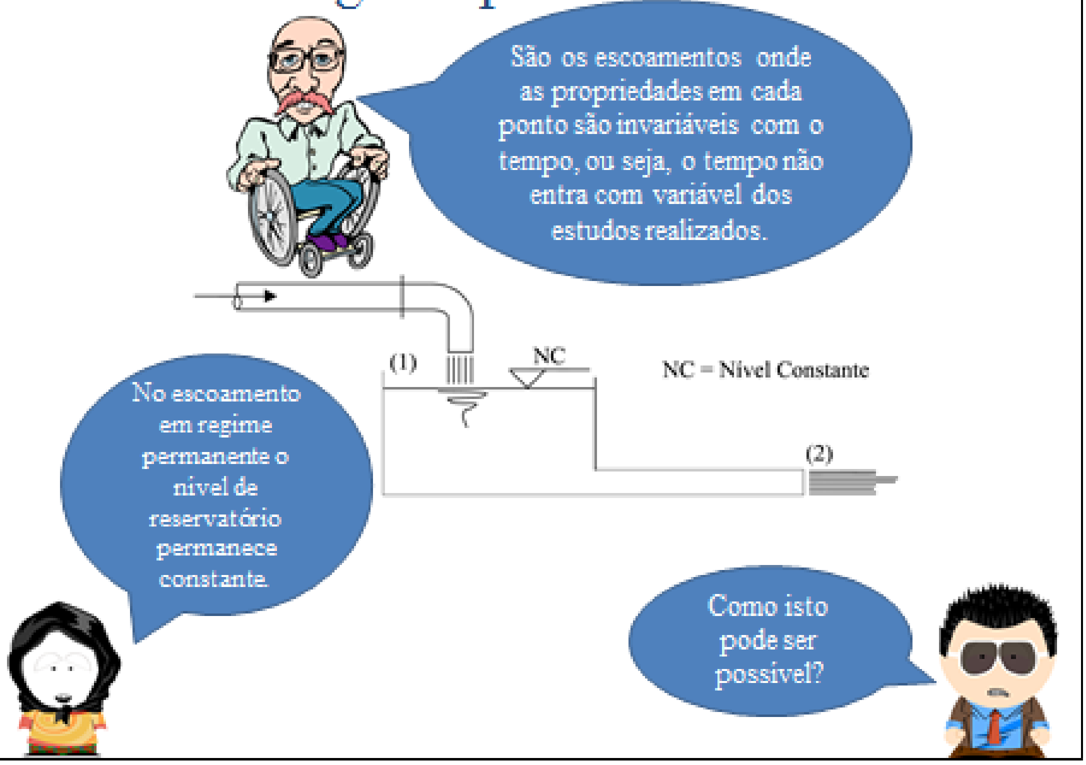


$$Q_A = Q_1 + Q_2 = 1{,}25 + 2 = 3{,}25\frac{m^3}{s}$$

$$3{,}25 = v_A \times \frac{\pi \times 1^2}{4} \therefore v_A \cong 4{,}14\frac{m}{s}$$

Vamos ampliar a equação da conservação de massa (ou equação da continuidade) para um sistema com diversas entradas e saídas considerando que no mesmo ocorra um **escoamento em regime permanente**.

Regime permanente



O nível do reservatório permanece constante quando:

ou

A quantidade de fluido que entra é igual a quantidade de fluido que sai!

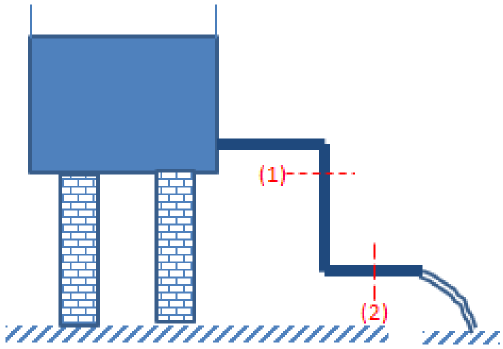
Considerando o conceito de regime permanente para a instalação a seguir, podemos afirmar que não existe acúmulo nem falta de massa entre as seções (1) e (2), portanto a massa que entra em (1), m_1, é igual a massa que saí em (2), m_2, portanto:

$$m_1 = m_2 = cte \rightarrow \div t:$$

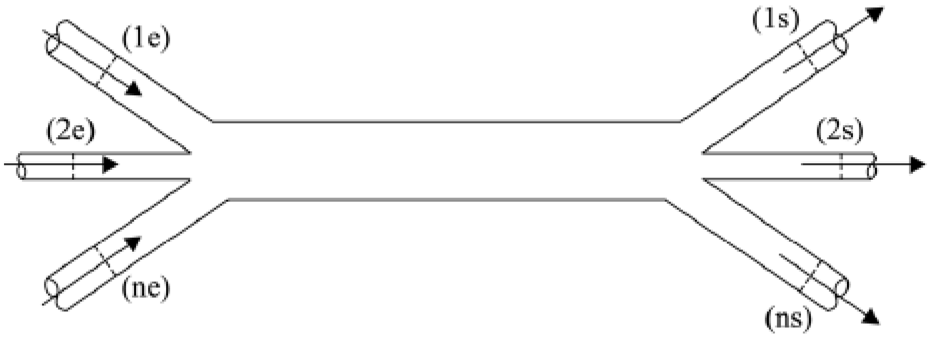
$$\frac{m_1}{t} = \frac{m_2}{t} = cte \therefore Q_{m_1} = Q_{m_2} = cte$$

$$\rho_1 \times Q_1 = \rho_2 \times Q_2 = cte$$

$$\rho_1 \times v_1 \times A_1 = \rho_2 \times v_2 \times A_2 = cte$$



No caso do sistema com diversas entradas e diversas saídas em um escoamento em regime permanente, figura a seguir:

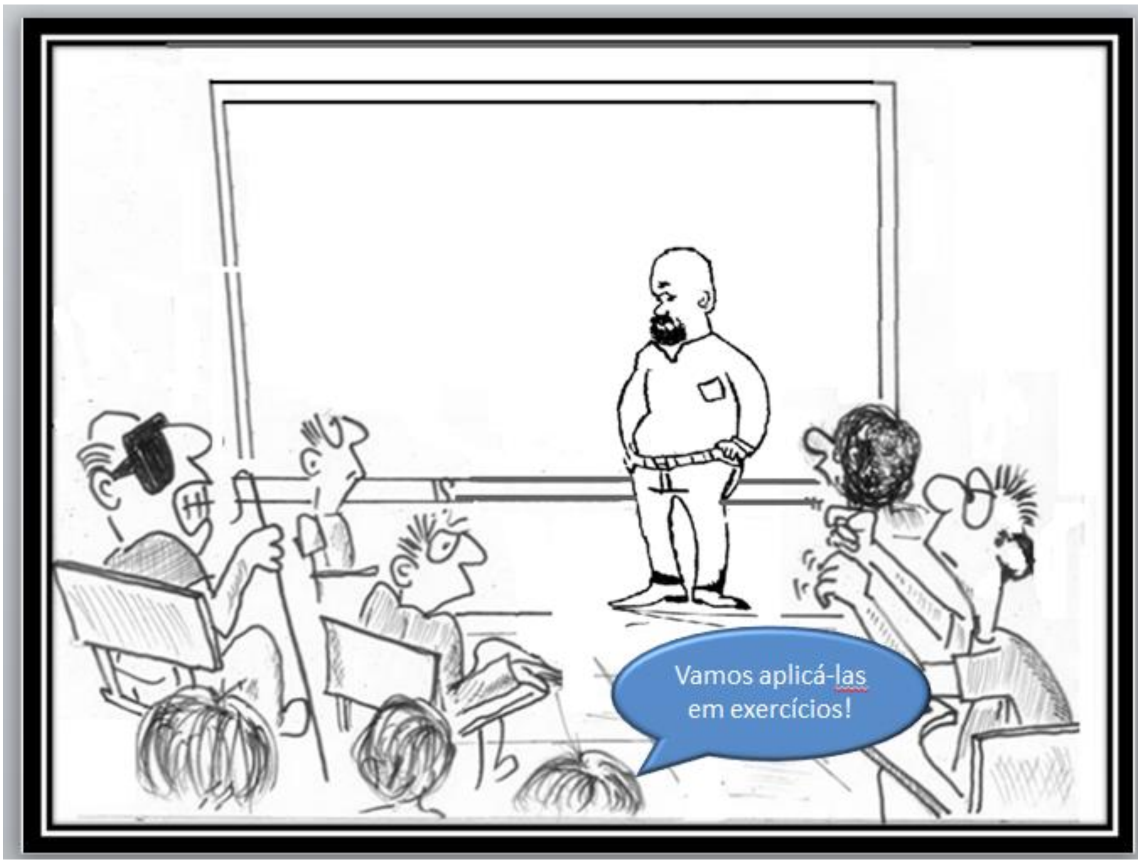


$$\sum_{entram} Q_m = \sum_{saem} Q_m$$

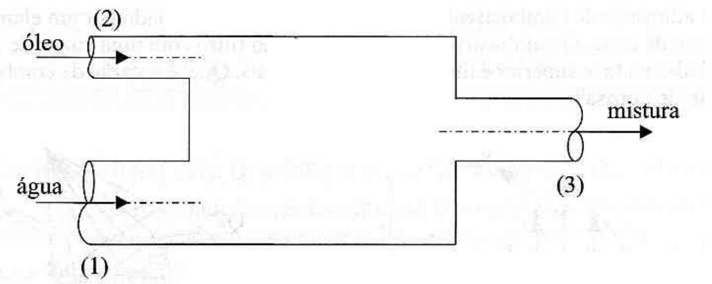
Para a situação descrita no sistema anterior, teríamos:

$$Q_{m1e} + Q_{m2e} + Q_{m3e} + ... + Q_{mne} = Q_{m1s} + Q_{m2s} + Q_{m3s} + ... + Q_{mns}$$

No caso de resultar em mistura homogênea, além de considerar $\sum_{entram} Q_m = \sum_{saem} Q_m$, temos também: $\sum_{entram} Q = \sum_{saem} Q$.



3.7 Um tubo admite água ($\rho = 1.000\ kg/m^3$) num reservatório com uma vazão de 20 L/s. No mesmo reservatório é trazido óleo ($\rho = 800\ kg/m^3$) por outro tubo com uma vazão de 10 L/s. A mistura homogênea formada é descarregada por um tubo cuja seção tem uma área de 30 cm^2. Determinar a massa específica da mistura no tubo de descarga e a velocidade da mesma.



Resp.: $\rho_3 = 933\ kg/m^3$; $v_3 = 10\ m/s$

Pela equação da conservação de massa em um escoamento em regime permanente, temos:

$$Q_{m_{óleo}} + Q_{m_{água}} = Q_{m_{mistura}}$$

$$Q_{m_{óleo}} = 800 \times 10 \times 10^{-3} = 8\,\frac{kg}{s}$$

$$Q_{m_{água}} = 1000 \times 20 \times 10^{-3} = 20\,\frac{kg}{s}$$

Portanto: $Q_{m_{mistura}} = 8 + 20 = 28\,\frac{kg}{s} = \rho_{mistura} \times Q_{mistura}$.

Considerando que será formada uma mistura homogênea, resulta:

$$Q_{óleo} + Q_{água} = Q_{mistura}$$

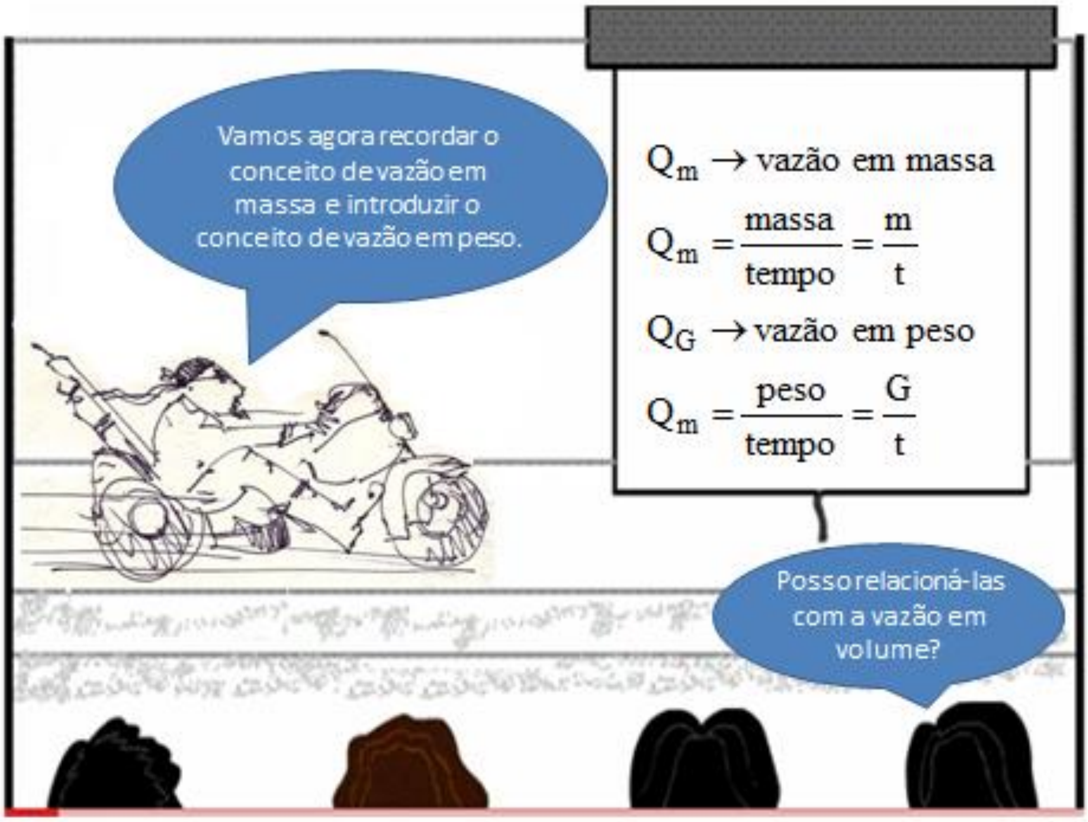
$$10 + 20 = Q_{mistura} \therefore Q_{mistura} = 30\,\frac{L}{s}$$

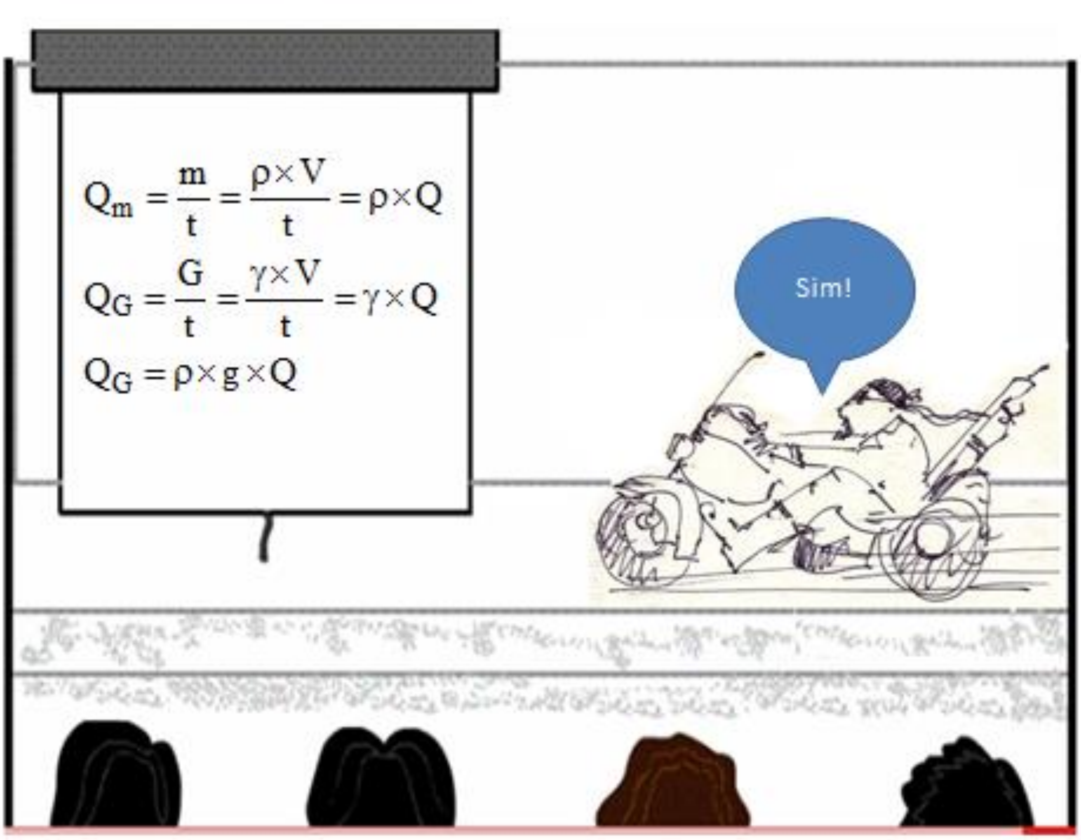
$$28 = \rho_{mistura} \times 30 \times 10^{-3} \therefore \rho_{mistura} = \frac{28}{30 \times 10^{-3}} \cong 933{,}3\,\frac{kg}{m^3}$$

Reescrevendo a determinação da vazão em função da velocidade média do escoamento e da área da seção formada pelo fluido, resulta:

$$Q_{mistura} = v \times A \Rightarrow 30 \times 10^{-3} = v \times 30 \times 10^{-4}$$

$$v = 10\,\frac{m}{s}$$





Unidades no SI, MK*S e CGS

Variável	SI	MK* S	CGS
Q	m^3/s	m^3/s	cm^3/s
Q_m	kg/s	utm/s	g/s
Q_G	N/s	kgf/s	Dina/s

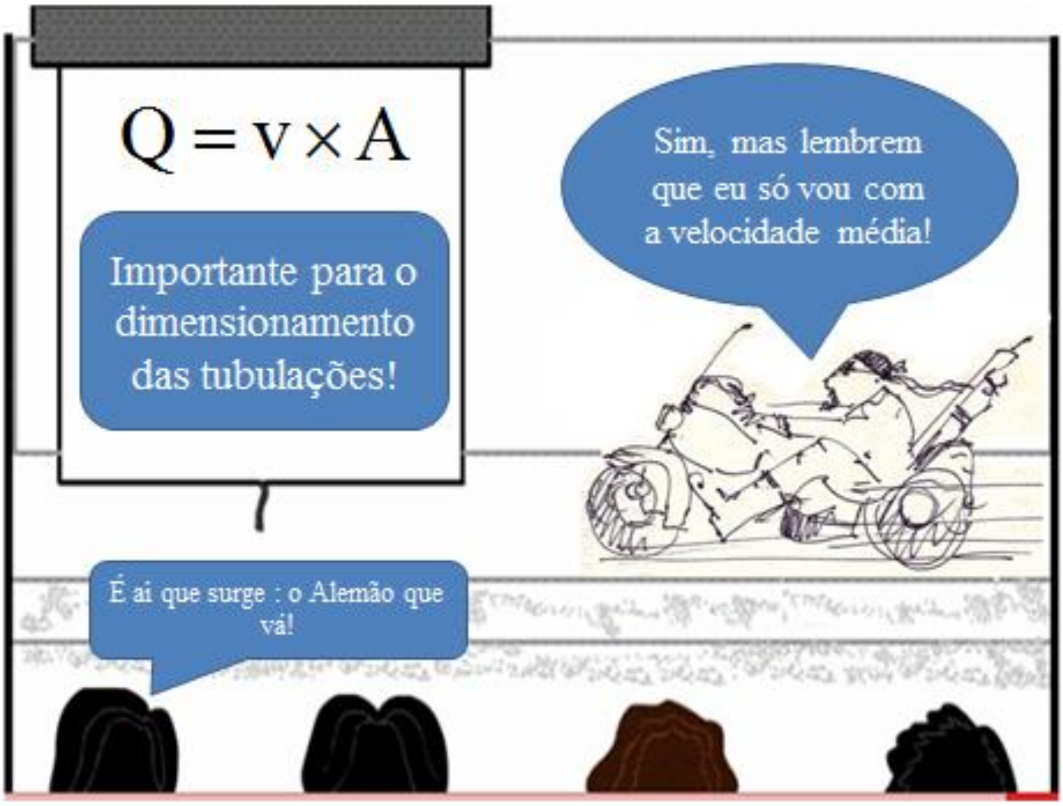
Relações:

$$1\frac{m^3}{s} = 10^6\frac{cm^3}{s} = 1000\frac{L}{s}$$

$$1\frac{utm}{s} = 9{,}8\frac{kg}{s} = 9800\frac{g}{s}$$

$$1\frac{kgf}{s} = 9{,}8\frac{N}{s} = 9{,}8\times 10^5\frac{dina}{s}$$

E é claro que não podemos esquecer a expressão utilizada para dimensionamento de tubulações:

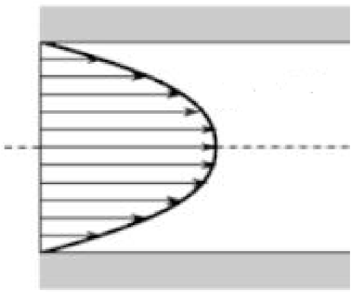


Vamos refletir sobre as figuras a seguir:

Se desejarmos subir (navegar contra a correnteza) o rio, por onde devemos subir?

Iremos navegar perto das margens e isto também pode ser observado em uma seção transversal de um conduto e isto é devido ao que denominamos de **<u>princípio de aderência.</u>**

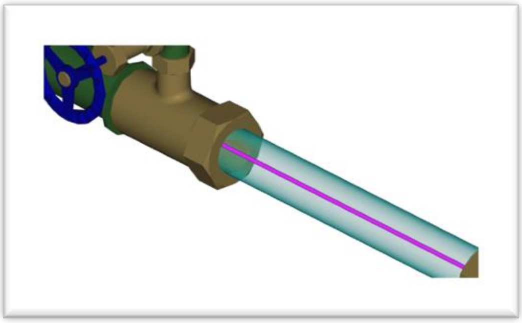
O princípio de aderência estabelece que as particulas fluidas em contato com uma superfície sólida apresentam a velocidade da superfície, portanto na seção transversal de um conduto, temos:



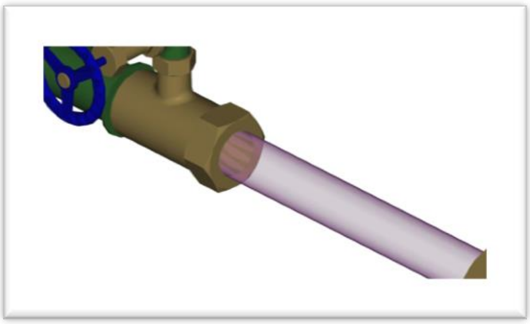
Junto as paredes a velocidade é nula (princípio de aderência) e no centro a velocidade é máxima.

A variação de velocidade é proporcionada pela propriedade do fluido que representa a resistência do mesmo ao movimento e que também é responsável pela dissipação de energia ao longo do escoamento **é a viscosidade dinâmica** (*ou viscosidade absoluta ou simplesmente viscosidade*)**, ela geralmente é representada pela letra grega μ e no sistema internacional tem como unidade** $\frac{N \times s}{m^2} = Pa \times s$.

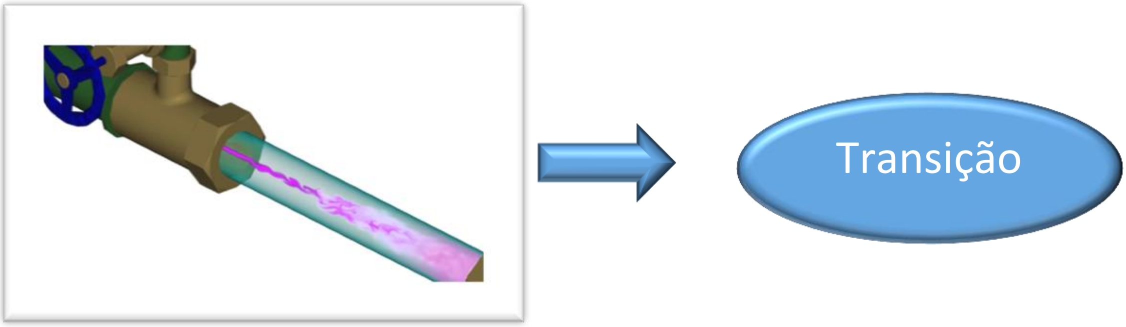
Esta propriedade também foi importante na experiência de Reynolds, onde visualizamos o deslocamento transversal de massa, o qual irá caracterizar o escoamento laminar (sem deslocamento transversal de massa), o turbulento (com predominância do deslocamento transversal de massa) e o de transição que é a passagem do laminar para o turbulento e vice-versa.



Laminar



Turbulento



Reynolds realizou sua experiência em 1883 e o experimento teve como objetivo a visualização do padrão de escoamento de água através de um tubo de vidro, com o auxílio de um fluido colorido (corante), que permitia observar o deslocamento transversal de massa do corante.

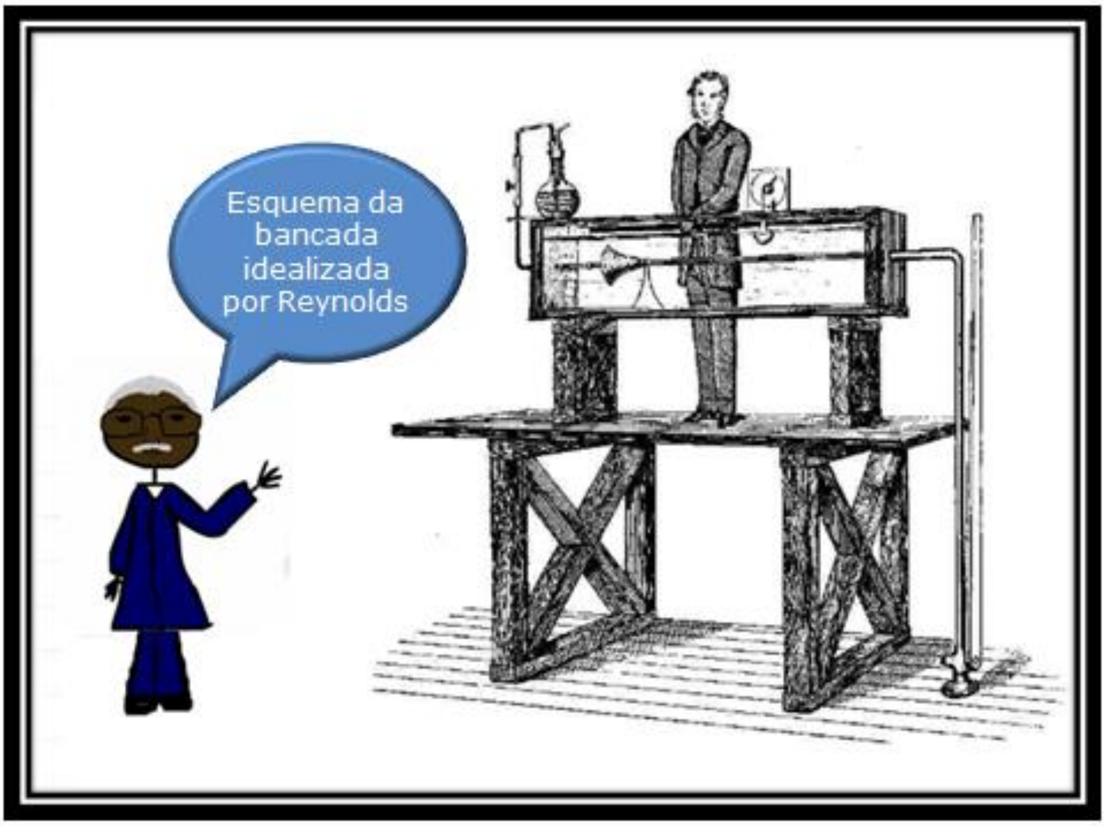


Ilustração do aparato experimental (sem escala)
Dimensões do tanque 6 ft x 18 ft x 18 ft (1,83 m x 5,5 m x 5,5 m)
Equipamentos principais: tubo de vidro, convergente cônico de madeira, tubo metálico, válvula para controle de vazão (com haste longa de comando) e sistema de injeção de líquido colorido.
Fonte: Manchester School of Engineer
(http://www.eng.man.ac.uk/historic/reynolds/oreyna.htm)

Através da experiência realizada e a análise dimensional, Reynolds obteve um número adimensional (Re) que recebe seu nome e que possibilita classificar o escoamento incompressível (aquele que mantém a massa específica constante ao longo do mesmo) em laminar e turbulento.

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \rightarrow \text{número de Reynolds}$$

$$\rho \rightarrow \text{massa específica do fluido}$$

$$v \rightarrow \text{velocidade média do escoamento}$$

$$D \rightarrow \text{diâmetro interno do conduto}$$

$$\mu \rightarrow \text{viscosidade (ou viscosidade dinâmica ou viscosidade absoluta)}$$

Eu reproduzo esta experiência em uma bancada do centro universitário da FEI e para a próxima aula, vocês devem assistir ao vídeo da mesma no YOUTUBE e com o objetivo de comprovar o escoamento laminar e turbulento e demonstrar, considerando o sistema internacional de unidades, que o número de Reynolds é adimensional (número puro ou número universal).

https://www.youtube.com/watch?v=V_ggjAWKtB0&feature=youtu.be