

Capítulo 3 – Introdução a cinemática dos fluidos

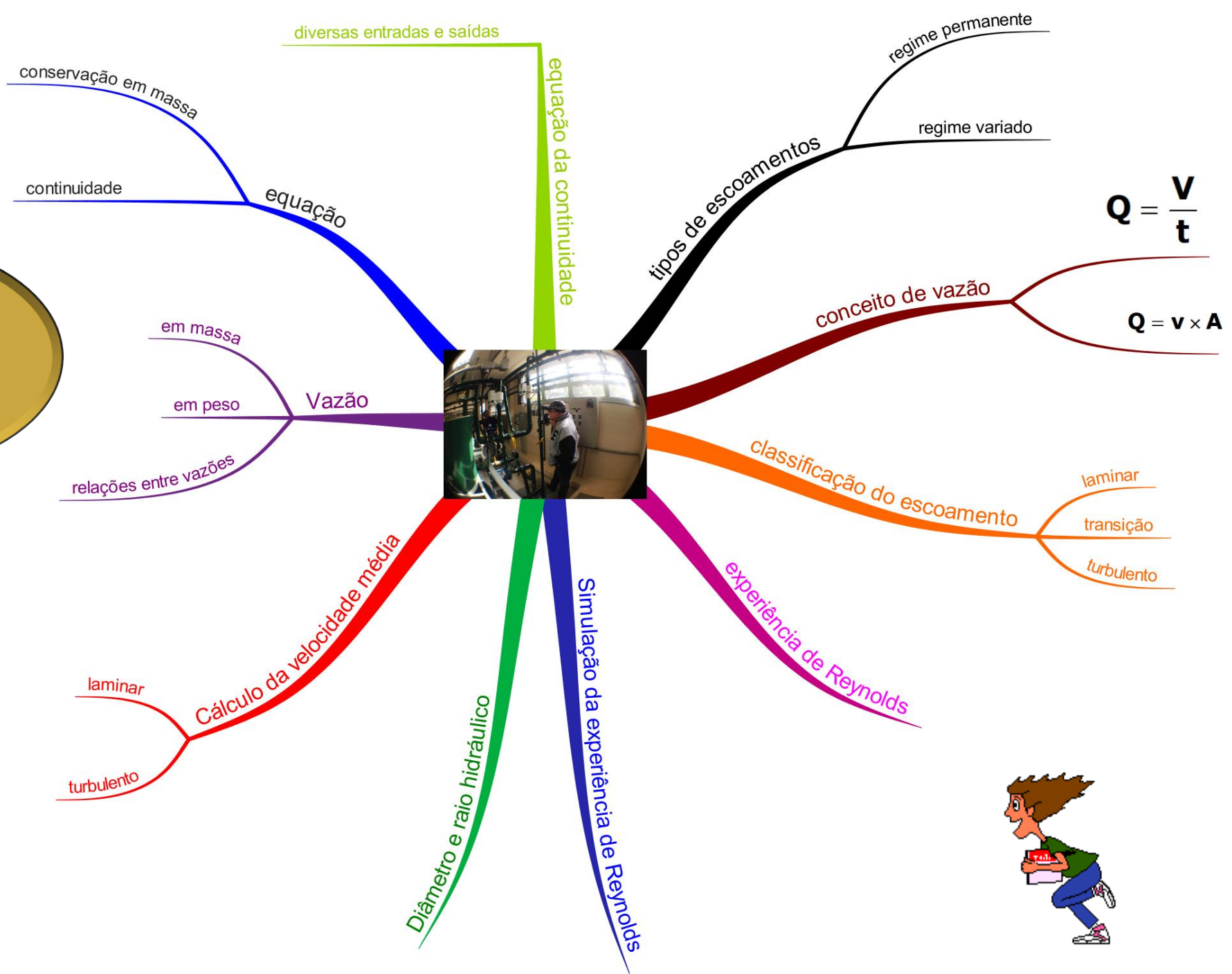
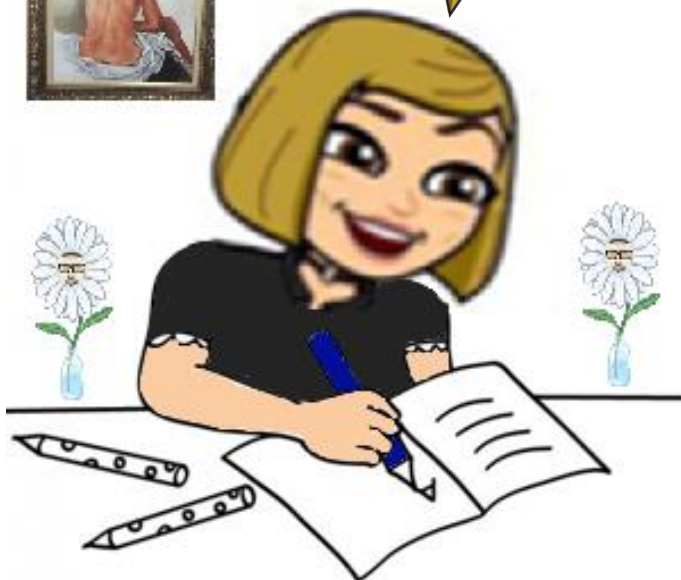


Oba, vamos
entrar em
movimento!



3.1 - Introdução

O que estudaremos nesse capítulo?





3.2 – Tipos de escoamentos

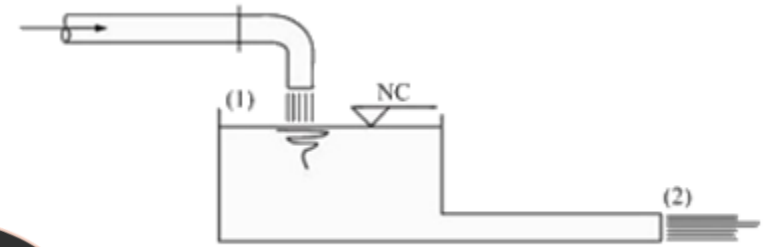


3.2.1 –
Escoamento em
regime
permanente

O tempo não é variável dos fenômenos
estudados!

E quando isso
ocorre?

As propriedades em
uma seção do
escoamento não
mudam com o tempo!



NC = nível constante



A condição para se ter o escoamento em regime permanente é o nível do reservatório permanecer constante

Isto ocorre nos seguintes casos:



Reservatório de grandes dimensões!



Reservatório de pequenas dimensões, porém a quantidade de fluido que saí é igual a quantidade que entra!





Reservatório de grandes
dimensões!

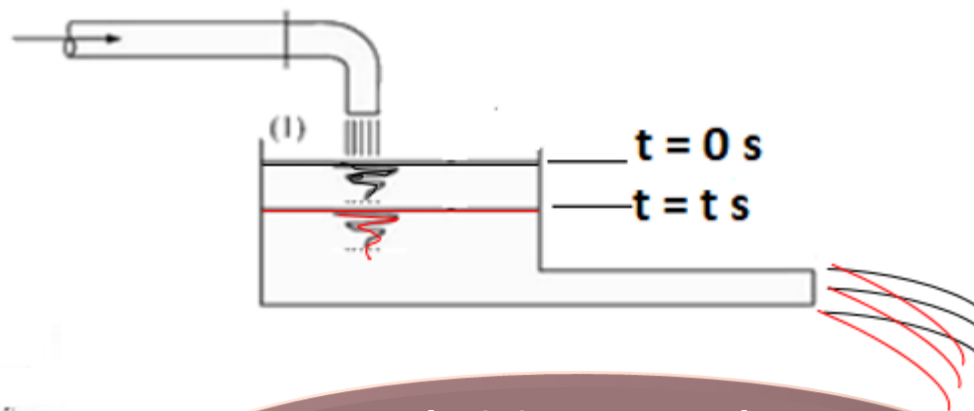


Reservatório de pequenas
dimensões, porém a
quantidade de fluido que
saí é igual a quantidade
que entra!





3.2.2. Escoamento em regime variado



O nível do reservatório muda com o decorrer do tempo!



O equacionamento neste caso é feito por equações diferenciais!

Neste curso básico só estudamos os escoamentos em regime permanente.



3.3. Conceito de vazão (Q)

Definimos a vazão como sendo o volume de fluido que atravessa uma seção por unidade de tempo

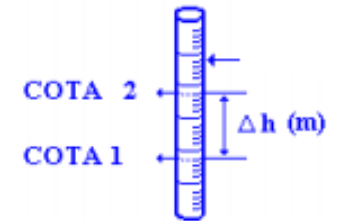


A equação a seguir representa a determinação da vazão de forma direta.

$$Q = \frac{V}{t}$$



$$A_{\text{tanque}} = A_{\text{seção_transversal}}$$



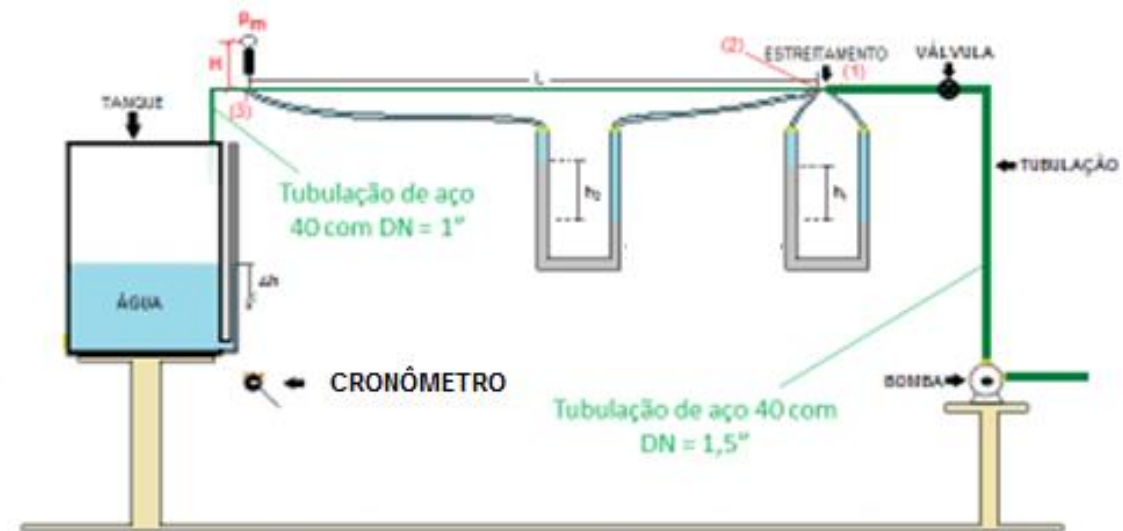
$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\Delta h \times A_{\text{tanque}}}{t}$$

Exercício 68: O esquema ao lado representa uma bancada de laboratório, onde o fluido considerado no escoamento é a água.

Nas experiências é fundamental que seja determinada a vazão de escoamento, isto é obtido deixando o nível do reservatório superior subir um Δh e cronometrando-se o tempo para que isto ocorra.

Observando a definição da vazão, podemos constatar facilmente que o volume (V) de água que ingressou no reservatório superior pode ser determinado pela equação $V = \Delta h * A_{\text{tanque}}$

Para os dados fornecidos no desenho, pede-se determinar a vazão de escoamento em m^3/s ; m^3/h ; L/s e L/h .



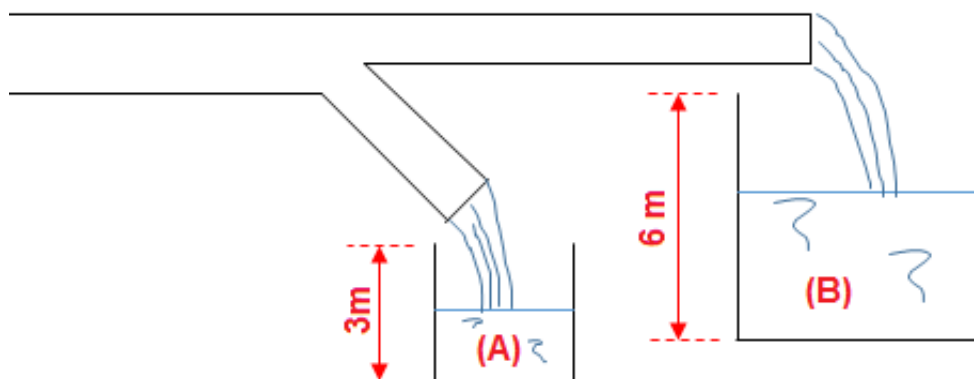
$$A_{\text{tanque}} = 0,74 \times 0,74 = 0,5476 \text{ m}^2 \rightarrow \Delta h = 100 \text{ mm} \rightarrow t = 20,9 \text{ s}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,1 \times (0,74 \times 0,74)}{20,9} \cong 2,62 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q \cong 2,62 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \leftrightarrow 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} \Rightarrow Q \cong 2,62 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q \cong 2,62 \frac{\text{L}}{\text{s}} \leftrightarrow 1 \text{ h} = 3600 \text{ s} \Rightarrow Q \cong 9432 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

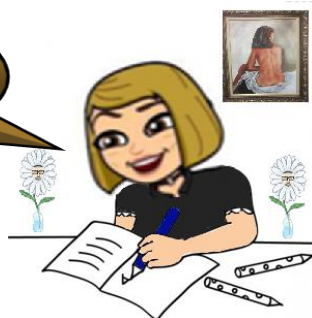
Exercício 69: Os reservatórios da figura são cúbicos e são enchidos pelos tubos, respectivamente, em 200s e 600s. Determinar a vazão da água que alimenta respectivamente os reservatórios (A) e (B) em m^3/s , m^3/h e L/s .



Exercício 70: No desenvolvimento de uma dada experiência, coletou-se através de uma proveta um volume de 820 mL em 6,8 segundos, determine a vazão em mL/s ; L/s ; m^3/s e m^3/h .



Vou aprender
fazendo!



Além disso, colocar
o cérebro para
funcionar!





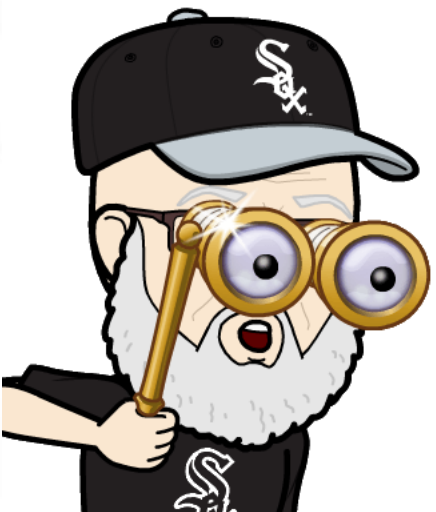
O conceito de vazão é fundamental para o dimensionamento de tubos, ou seja, a especificação do seu diâmetro nominal, diâmetro interno e área de seção livre.

Não vejo como fazer isto com a equação que representa a definição da vazão?

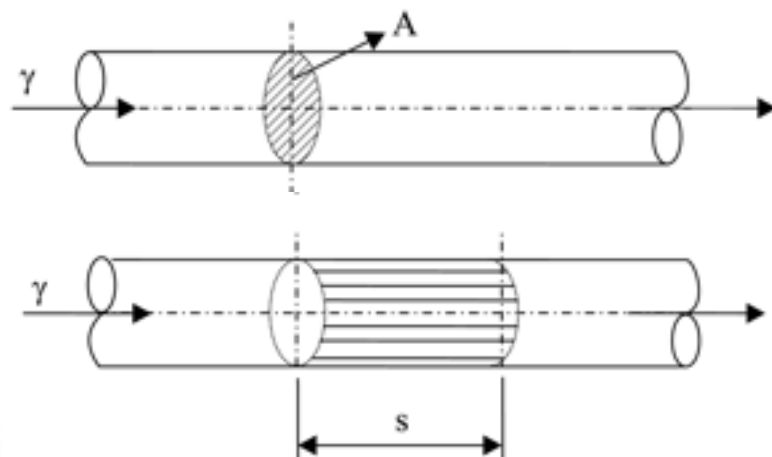
Nem eu, por esse motivo vou definir a vazão de outra maneira, para isso, supor o fluido passando por uma seção transversal da tubulação de área A, onde bato duas fotos, uma para o instante $t = 0$ s e outra para $t = t$ s.

Quero visualizar isso, já que ela vai facilitar minha compreensão!





Visualizando:



$t = 0$



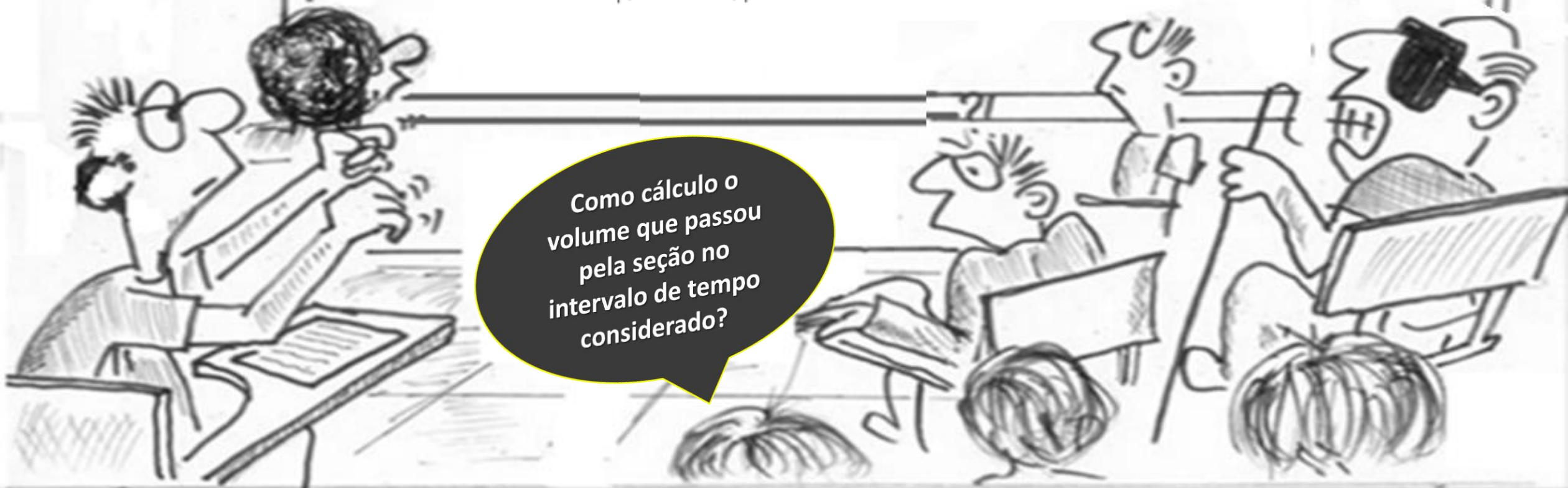
t

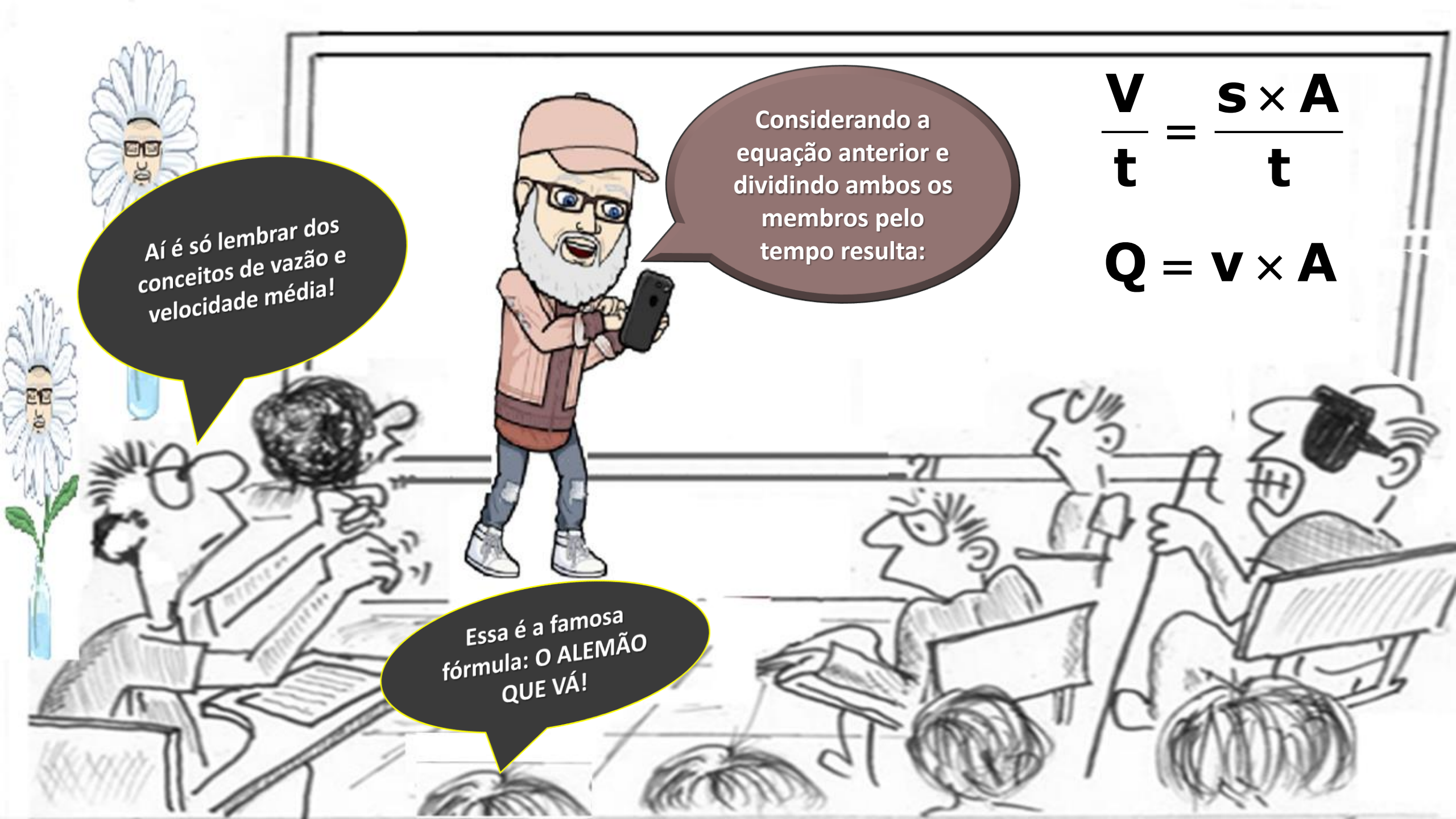
Pela
equação a
seguir:

$$V = S \times A$$



Como cálculo o
volume que passou
pela seção no
intervalo de tempo
considerado?



A cartoon illustration of a physics teacher with a grey beard, glasses, and a cap, holding a smartphone. He is standing in a classroom, addressing a group of students. On the left, there are two potted plants with faces that look like Albert Einstein. The students are sitting at desks, some looking at books or papers. The teacher is speaking into a microphone, and there are speech bubbles containing text and mathematical formulas.

Aí é só lembrar dos
conceitos de vazão e
velocidade média!

Considerando a
equação anterior e
dividindo ambos os
membros pelo
tempo resulta:

$$\frac{V}{t} = \frac{s \times A}{t}$$

$$Q = v \times A$$

Essa é a famosa
fórmula: O ALEMÃO
QUE VÁ!

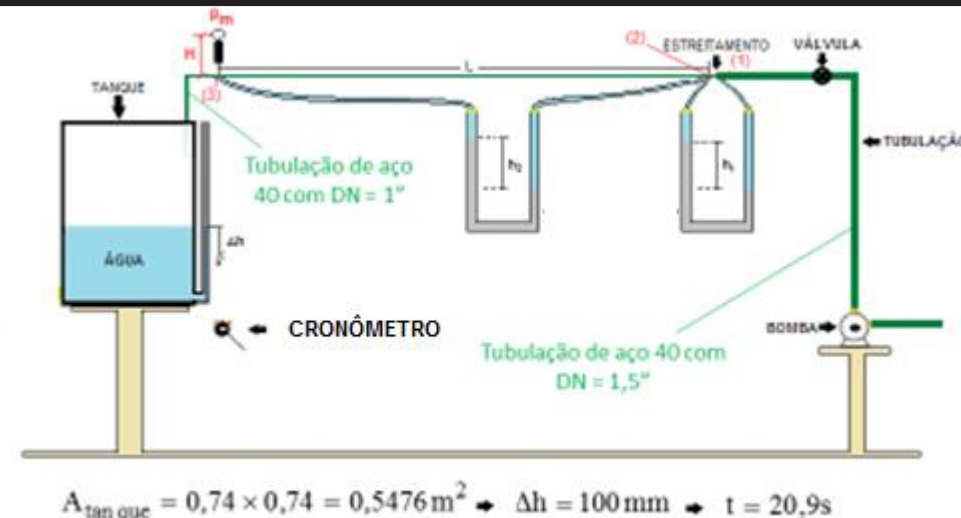
Isso mesmo, mas não
esqueça, EU SÓ VOU
COM A VELOCIDADE
MÉDIA!

$$Q = v \times A$$

Vamos fazer alguns
exercícios para fixar
isto!



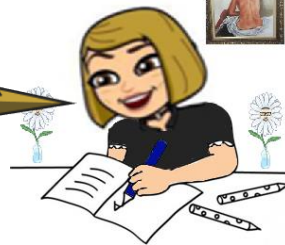
Exercício 71: Sabendo que a tubulação de aço 40 com DN = 1,5" tem um diâmetro interno igual a 40,8 mm e uma área de seção livre igual a 13,1 cm² e que a tubulação de aço 40 com DN = 1" tem um diâmetro interno igual a 26,6 mm e uma área de seção livre igual a 5,57 cm² (norma ANSI B36.10), calcule as velocidades médias nestas tubulações para as condições estabelecidas no exercício 68.



No 68, tínhamos calculado a vazão:

$$Q \cong 2,62 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Aí é lembrar o ALEMÃO QUE VÁ!



$$2,62 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v_{1,5"} \times 13,1 \times 10^{-4}$$

$$v_{1,5"} \cong 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$2,62 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v_{1"} \times 5,57 \times 10^{-4}$$

$$v_{1"} \cong 4,72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Exercício 72: Para a vazão do exercício 70, calcule a velocidade média de escoamento na tubulação de vidro de diâmetro interno igual a 10 mm.



$$Q = \frac{V}{t} = \frac{820\text{mL}}{6,8\text{s}} \cong 120,6 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

$$A = \frac{\pi \times 0,01^2}{4} (\text{m}^2)$$

$$120,6 \times 10^{-6} = v \times \frac{\pi \times 0,01^2}{4}$$

$$\therefore v \cong 1,54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

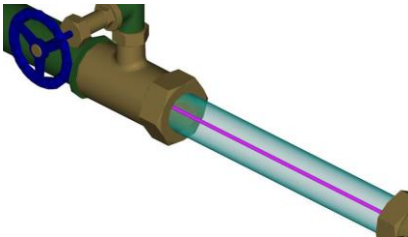
3.4. Classificação do escoamento em função do deslocamento transversal de massa.

Esta classificação é importante para os estudos de dissipação de energias ao longo dos escoamentos fluidos e em consequência no desenvolvimento de projetos hidráulicos.

O deslocamento transversal é observado injetando-se um corante no escoamento considerado, em função disso, originará os escoamentos: laminar, transição e turbulento.

3.4.1. Escoamento laminar

Neste tipo de escoamento o deslocamento transversal de massa é desprezível, isto demonstra que existe uma predominância das forças viscosas em relação as forças de inércia



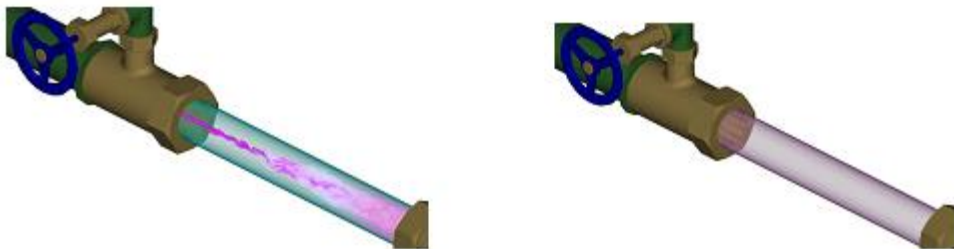
3.4.3. Escoamento de transição

Representa a passagem do escoamento laminar para o turbulento e vice-versa, porém dificilmente são estabelecidas equações para o seu estudo, que deve estar alicerçada ou no escoamento laminar ou no turbulento.

Na prática, não estabelecemos o tipo de escoamento injetando um corante, e para obtenção de uma forma alternativa de se obter esta classificação em laminar, transição e turbulento, evocamos a experiência de Reynolds.

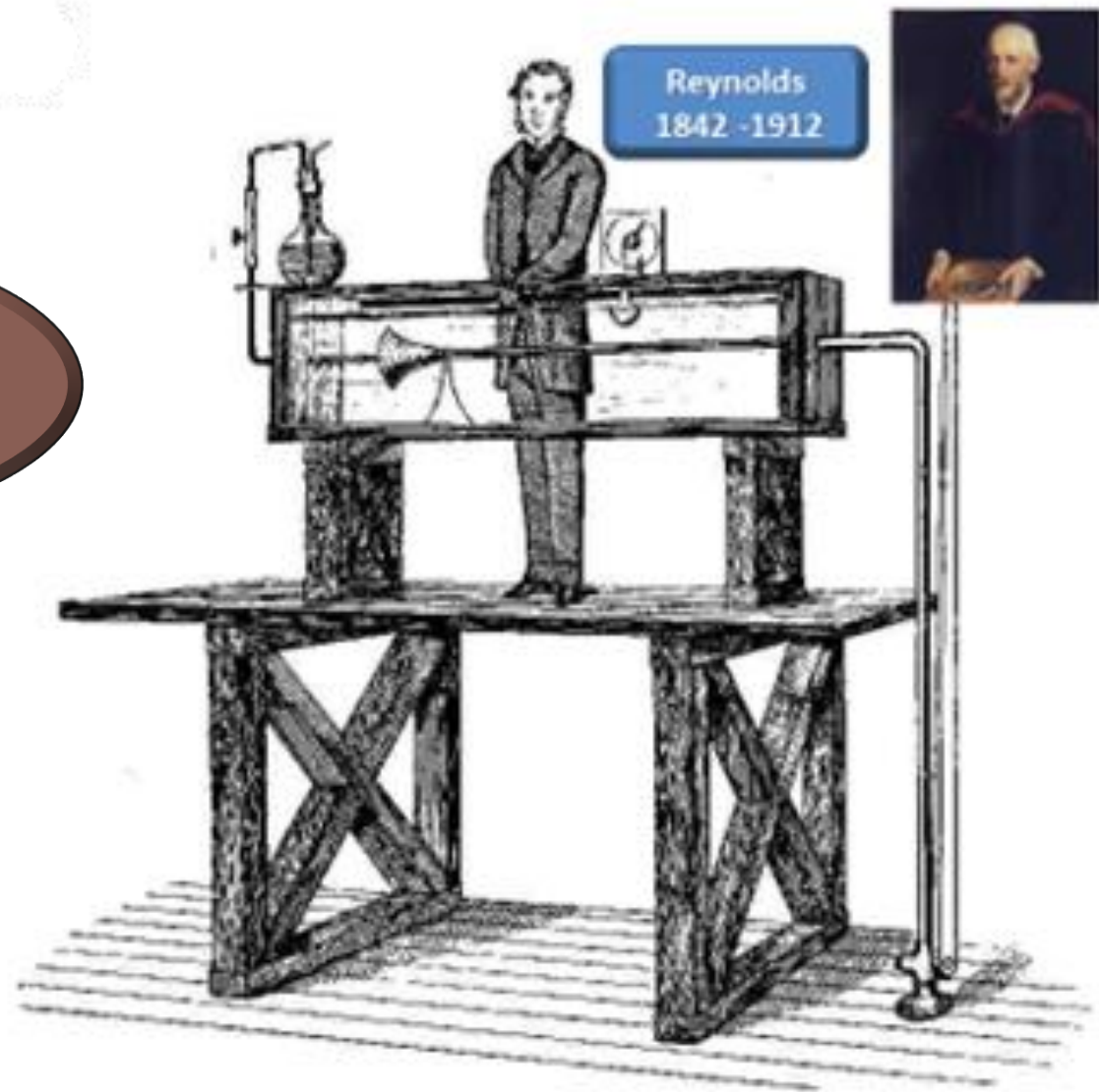
3.4.2. Escoamento turbulento

Neste escoamento o deslocamento transversal de massa se sobressai e isto demonstra que as forças viscosas vão sendo superadas pelas forças de inércias



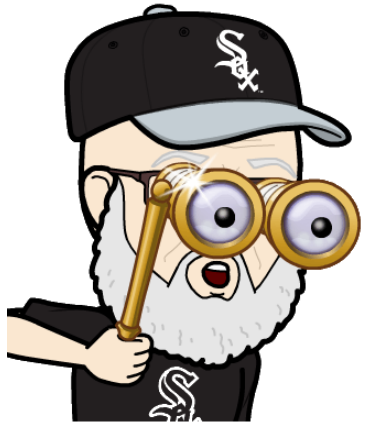
Visualizamos estes
escoamentos na
experiência de
Reynolds!

Visão esquemática da
bancada onde ocorreu
a experiência de
Reynolds!



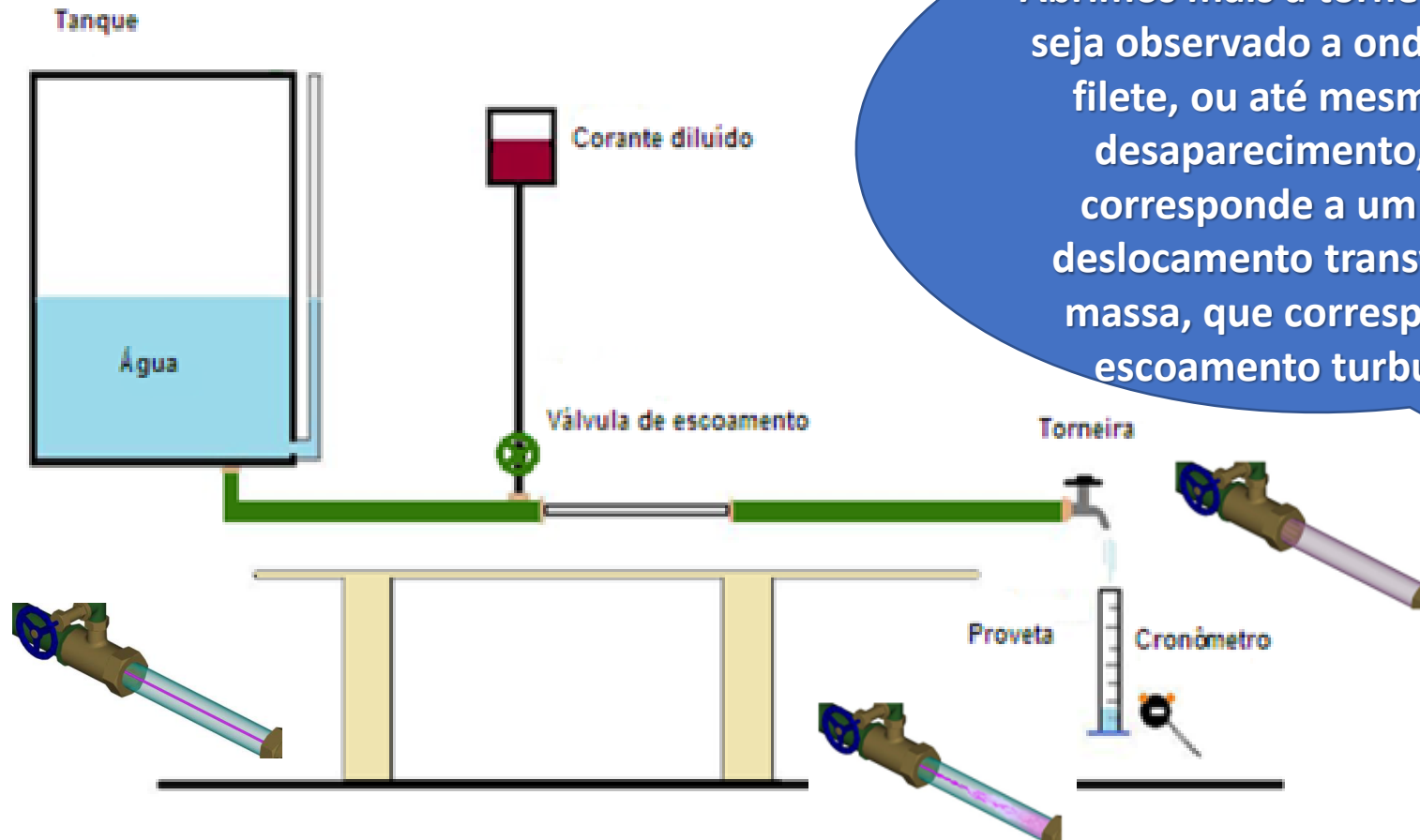


Osborne Reynolds' original apparatus for demonstrating the onset of turbulence in pipes, being operated by John Lienhard at the University of Manchester in 1975.



Ao abrir pouco a torneira, observamos no tubo de vidro um filete contínuo, ou seja, com deslocamento transversal de massa desprezível, que corresponde ao escoamento laminar.

Um exemplo de bancada atual está representado abaixo:



Abrimos mais a torneira até que seja observado a ondulação do filete, ou até mesmo o seu desaparecimento, o que corresponde a um grande deslocamento transversal de massa, que corresponde ao escoamento turbulento.



Aí, recorremos ao
teorema dos pis,
ou teorema de
Buckingham



Reynolds constatou:



que o fenómeno
ensaiado dependia das
seguintes variáveis:
 ρ – massa específica
do fluido;
 v – velocidade média
do escoamento;
 D – diâmetro interno
da tubulação;
 μ – viscosidade do
fluido

1

Definimos o número de variáveis (n) que definem o fenômeno, no caso $n = 4$

2

Escrevemos a equação dimensional de cada variável

$$[\rho] = \mathbf{M} \times \mathbf{L}^{-3} \quad [\mathbf{v}] = \mathbf{L} \times \mathbf{T}^{-1} \quad [\mathbf{D}] = \mathbf{L} \quad [\mu] = \mathbf{M} \times \mathbf{L}^{-1} \times \mathbf{T}^{-1}$$

3

Definimos o número de grandezas fundamentais (k) envolvidas no fenômeno, no caso $k = 3$

4

Definimos o número de adimensionais (m) que definem o fenômeno: $m = n - k$, no caso $m = 4 - 3 = 1$

5

Escolhemos a base dos números adimensionais, ou seja, o conjunto de k variáveis independentes, ou ainda, k variáveis que apresentam a equação dimensional diferente entre si de pelo menos uma grandeza fundamental; para os nossos estudos, sempre que possível adotamos $\rho \mathbf{vD}$, ou a que mais se assemelha a ela, portanto, para o exemplo adotamos a base $\rho \mathbf{vD}$.

Regras para desenvolver o teorema dos π :



$$\pi = \rho^{\alpha_1} \times \mathbf{v}^{\alpha_2} \times \mathbf{D}^{\alpha_3} \times \mu$$

$$\mathbf{M}^0 \times \mathbf{L}^0 \times \mathbf{T}^0 = (\mathbf{M} \times \mathbf{L}^{-3})^{\alpha_1} \times (\mathbf{L} \times \mathbf{T}^{-1})^{\alpha_2} \times (\mathbf{L})^{\alpha_3} \times \mathbf{M} \times \mathbf{L}^{-1} \times \mathbf{T}^{-1}$$

$$\mathbf{M}^0 \times \mathbf{L}^0 \times \mathbf{T}^0 = \mathbf{M}^{\alpha_1+1} \times \mathbf{L}^{-3\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3-1} \times \mathbf{T}^{-\alpha_2-1}$$

$$\alpha_1 + 1 = 0 \therefore \alpha_1 = -1$$

$$-\alpha_2 - 1 = 0 \therefore \alpha_2 = -1$$

$$-3 \times (-1) + (-1) + \alpha_3 - 1 = 0 \therefore \alpha_3 = -1$$

$$\pi = \rho^{-1} \times \mathbf{v}^{-1} \times \mathbf{D}^{-1} \times \mu = \frac{\mu}{\rho \times \mathbf{v} \times \mathbf{D}}$$

$$\frac{1}{\pi} = \mathbf{Re} = \frac{\rho \times \mathbf{v} \times \mathbf{D}}{\mu}$$

Outra aplicação do teorema dos π , aplicado as bombas hidráulicas, pode ser vista no meu canal no YouTube, no link:

<https://www.youtube.com/watch?v=b1nXJPolElw>





A cartoon character with a black cap, glasses, and a mustache is looking down at a large, aged scroll. The scroll has a red dashed line and some wavy patterns. Below the scroll, there are two small black and white portraits of men.

Reynolds estabeleceu:



$Re \leq 2000$ o escoamento é laminar

$Re \geq 4000$ o escoamento é turbulento

$2000 < Re < 4000$ o escoamento é de transição

Existem literaturas que ainda adotam a classificação histórica, ou seja:

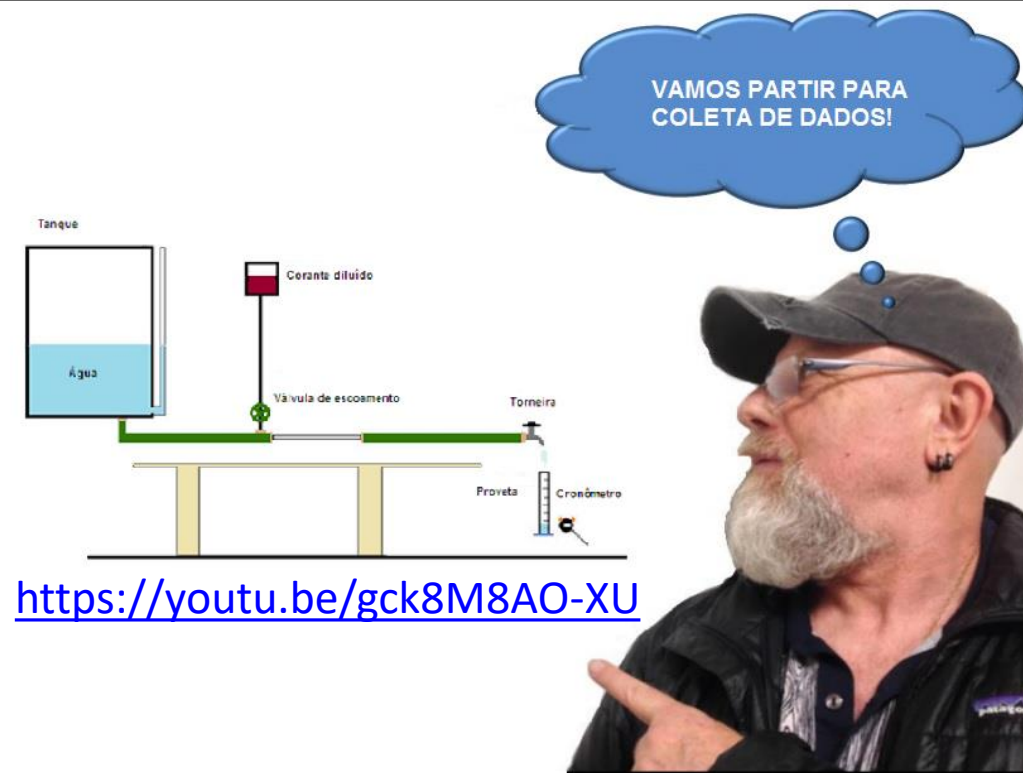
$Re \leq 2000$ o escoamento é laminar

$Re \geq 2400$ o escoamento é turbulento

$2000 < Re < 2400$ o escoamento é de transição

Exercício 73: Assistam ao vídeo no canal Alemão MecFlu Resolve: <https://youtu.be/gck8M8AO-XU> e comprovem através de cálculos que realmente para o escoamento laminar o número de Reynolds deu menor que 2000 e que para o escoamento turbulento ele ficou superior a 4000.

Dados: diâmetro interno do tubo de vidro igual a 10 mm e viscosidade cinemática da água igual a $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$



A resignação é o troféu conquistado por aqueles que vivem de suas derrotas.

Raimundo Ferreira Ignácio