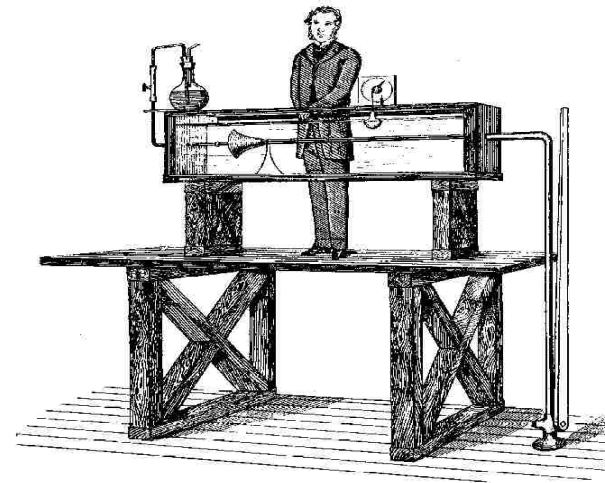


Laboratório de Engenharia Química I

Aula Prática 01

Determinação do regime de escoamento: Experiência de Reynolds

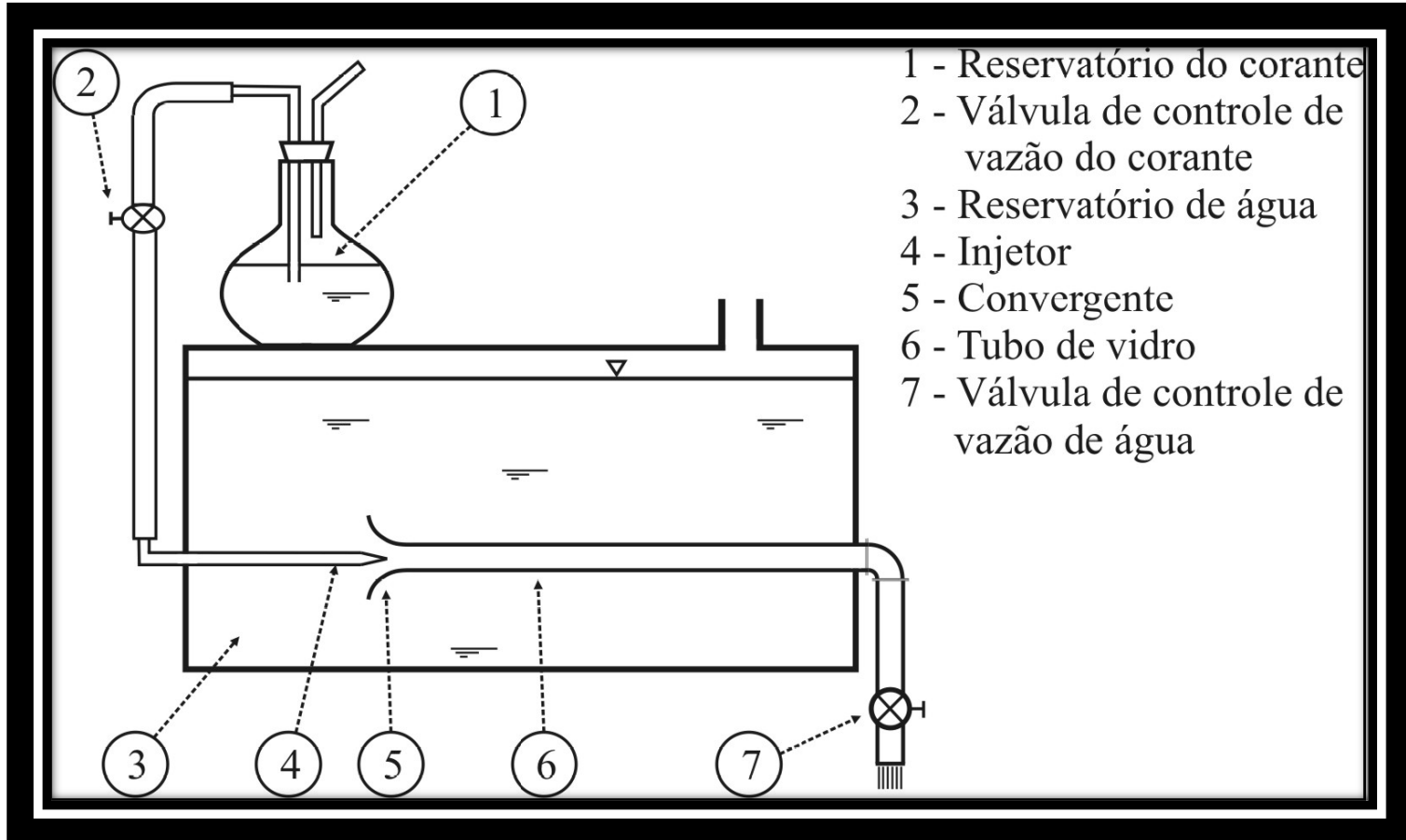


Prof. Dr. Gilberto Garcia Cortez

Introdução

Em 1883, procurando observar o comportamento do escoamento dos líquidos, *Osborne Reynolds* empregou um dispositivo como esquematizado na Figura 1 que consiste de um tubo de vidro inserido em um recipiente com paredes de vidro. Uma solução com um corante (azul de metileno) foi introduzido na entrada do tubo. Ao abrir a válvula de controle de vazão, ele observou dois escoamentos diferentes do corante inserido no interior do tubo: o primeiro, com a válvula pouco aberta, onde o corante segue ao longo de linhas retilíneas de movimento do fluido, definido como laminar, e o outro ao abrir mais a válvula, a velocidade do fluido aumenta e o corante inserido move-se em trajetórias sinuosas da maneira mais indireta possível. Este regime de escoamento foi definido como turbulento. Portanto, ele descreveu como visualizar *escoamentos laminares* e *turbulentos* dos fluidos em movimento.

Figura 1: Experimento de Reynolds



Após investigações experimentais e teóricas, **Reynolds** concluiu que o critério mais apropriado para o tipo de escoamento de um fluido líquido em uma canalização foi a seguinte equação:

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu}$$

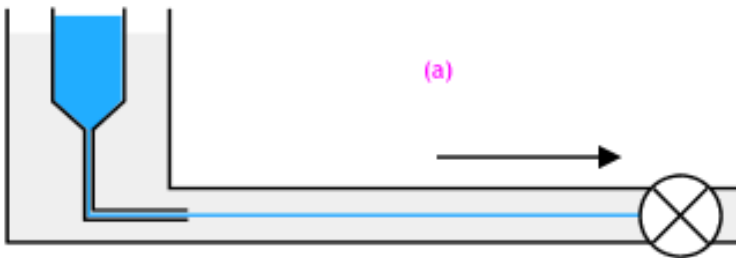
sendo:

v = velocidade média do fluido

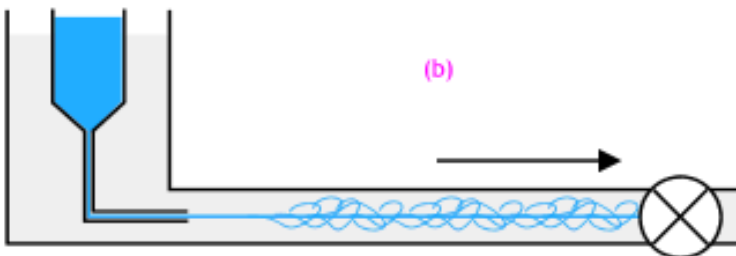
D = diâmetro interno do tubo

μ = viscosidade dinâmica do fluido

ρ = massa específica do fluido



a) Laminar se $R_e < 2100$ (ou 2300)

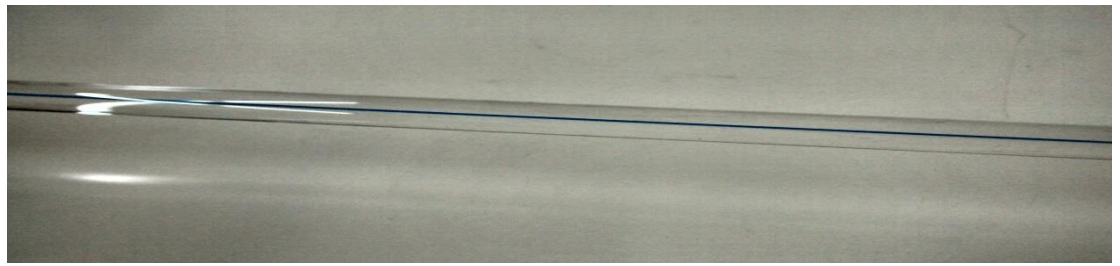
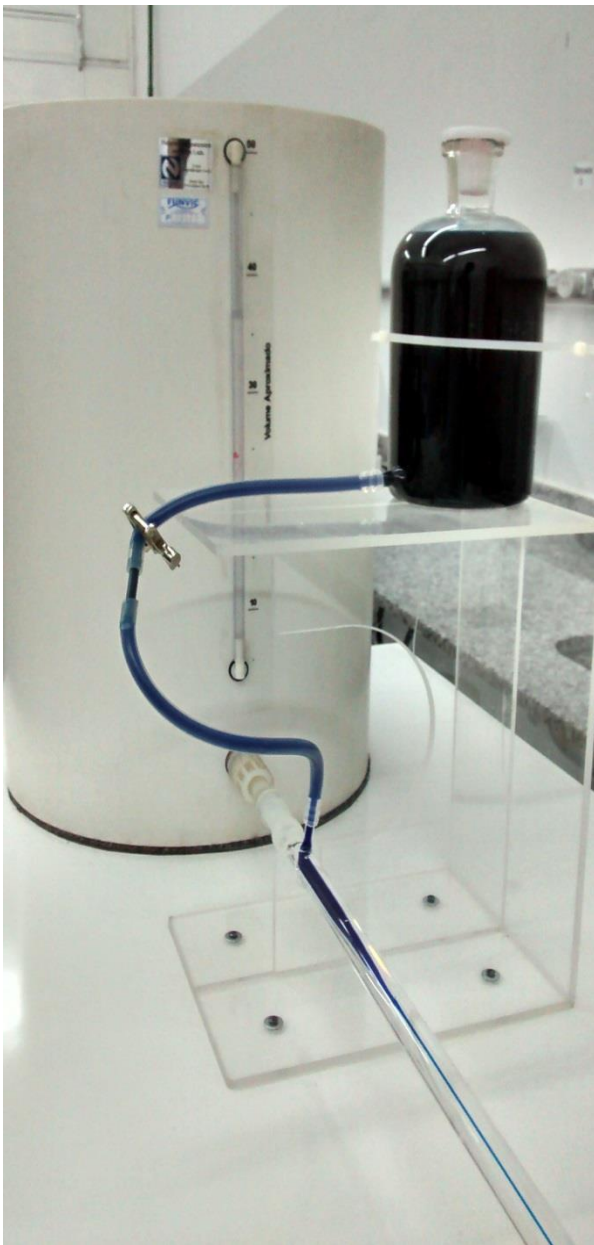


Transição → muda de um regime para outro, se $2100 < R_e < 4000$

b) Turbulento se $R_e > 4000$

O coeficiente, número ou módulo de *Reynolds* (abreviado como **Re**) é um número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de um determinado fluido sobre uma superfície. É utilizado, por exemplo, em projetos de tubulações industriais e asas de aviões. O seu significado físico é um quociente de forças: **forças de inércia** ($v\rho$) entre **forças de viscosidade** (μ/D).

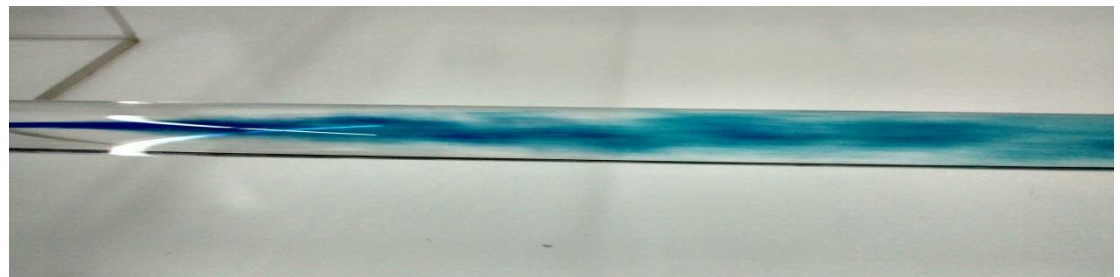
A significância fundamental do número de Reynolds é que o mesmo permite avaliar o tipo do escoamento (a estabilidade do fluxo) e pode indicar se flui de forma *laminar* ou *turbulenta*. Para o caso de um fluxo de água num tubo cilíndrico, admite-se os valores de 2100 e 4000 como limites. Desta forma, para valores menores que 2100 o fluxo será laminar, e para valores maiores que 4000 o fluxo será turbulento. Entre estes dois valores o fluxo é considerado como *transitório*.



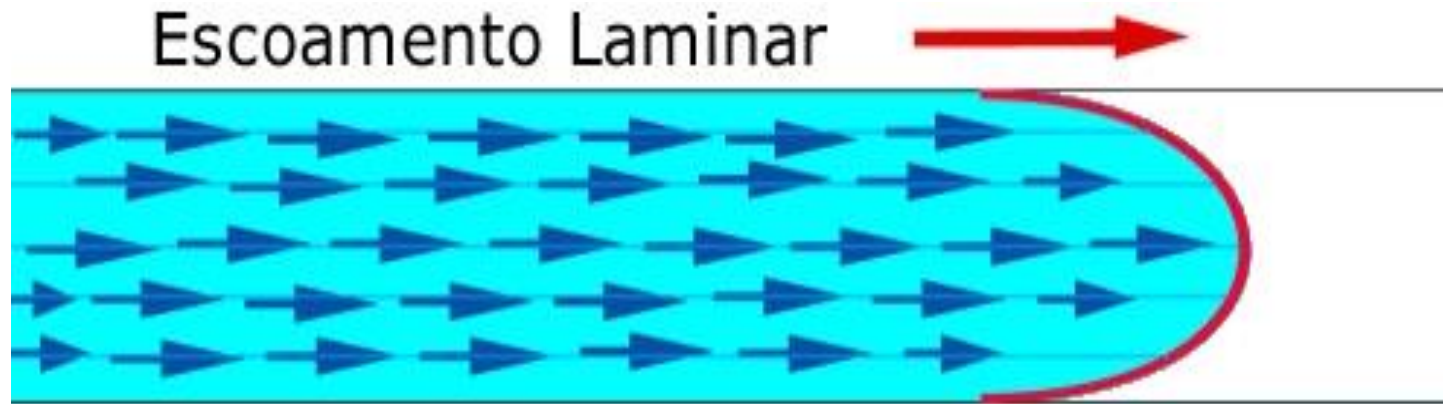
Regime laminar
 $Re \leq 2100$ (ou 2300)



Regime de transição
 2100 (ou 2300) $< Re \leq 4000$



Regime turbulento
 $Re > 4000$



Ocorre quando as partículas de um fluido movem-se ao longo de trajetórias bem definidas, apresentando lâminas ou camadas, cada uma delas preservando sua característica no meio.

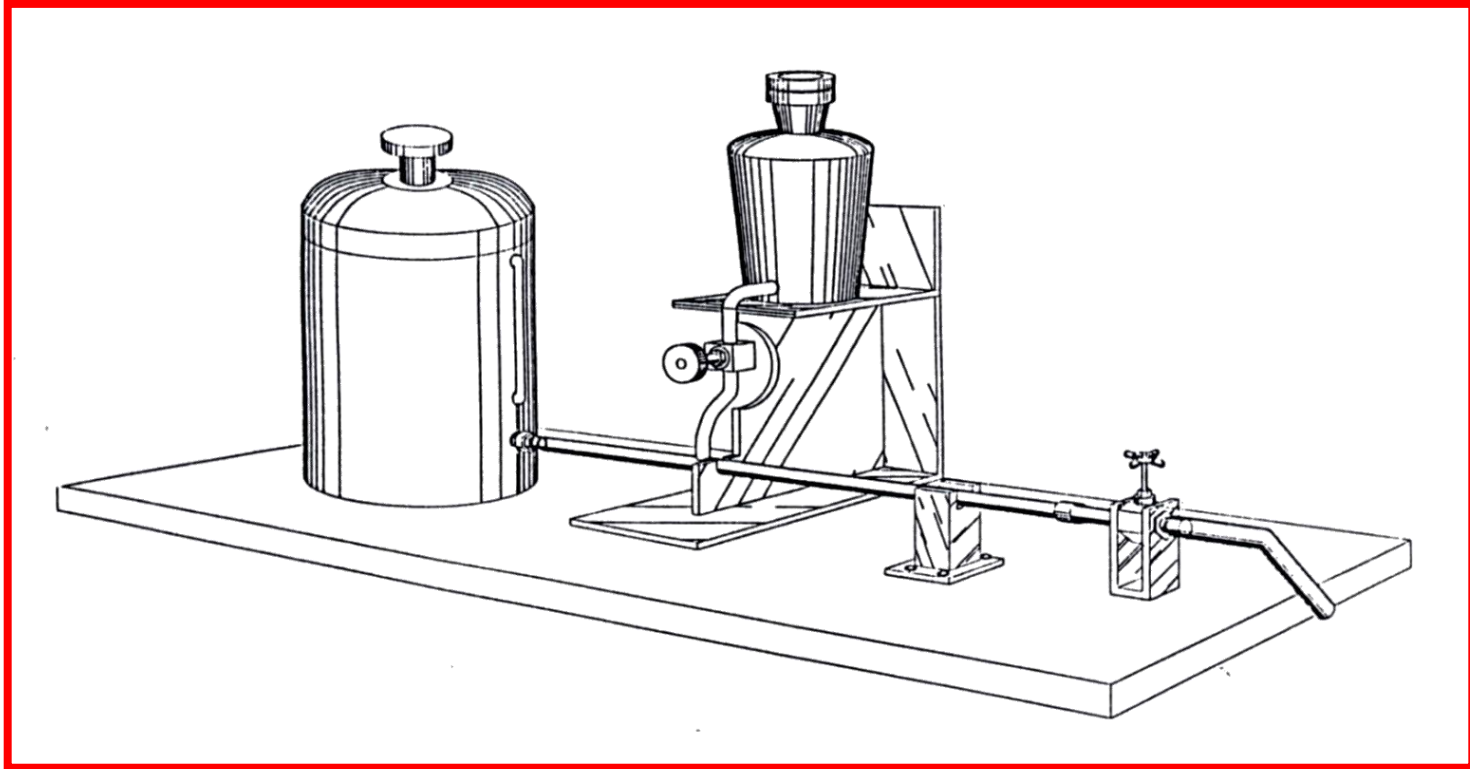
No escoamento laminar a viscosidade age no fluido no sentido de amortecer a tendência de surgimento da turbulência. Este escoamento ocorre geralmente a baixas velocidades e em fluídos que apresentem grande viscosidade.

Escoamento turbulento

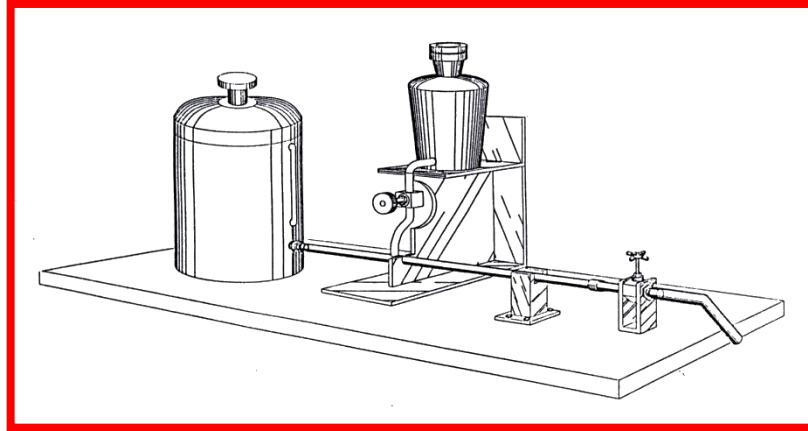


Ocorre quando as partículas de um fluido não movem-se ao longo de trajetórias bem definidas, ou seja as partículas descrevem trajetórias irregulares, com movimento aleatório, produzindo uma transferência de quantidade de movimento entre regiões de massa líquida. Este escoamento é comum na água, cuja a viscosidade é relativamente baixa.

Arranjo físico do experimento de Reynolds:



Procedimento Experimental



- Passo 1:** Colocar água até atingir a altura da marca do indicador de nível do tanque;
- Passo 2:** Inserir um termômetro de vidro no interior do tanque para medir a temperatura da água;
- Passo 3:** Abrir o registro da tubulação para uma vazão baixa e manter o nível de água no interior do tanque adicionando a mesma quantidade de água que está sendo retirada (regime permanente);
- Passo 4:** Abrir a torneira do recipiente que contém a solução de azul de metileno de modo que o fluido percorra a tubulação de forma linear (escoamento laminar);
- Passo 5:** Colocar uma proveta na saída da tubulação para coletar o volume num determinado tempo (vazão de saída);
- Passo 6:** Repete-se o passo 3 aumentando a abertura do registro da tubulação até atingir o limite do regime laminar;
- Passo 7:** Realize o experimento para o regime transiente e turbulento.

Massa específica e viscosidade da água

$$\mu = \frac{1,78 \times 10^{-3}}{1 + 0,0337T + 0,000221T^2}$$

$$\rho = 999,71704 + 0,07894 \times T - 0,00864 \times T^2 + 5,6752 \cdot 10^{-5} \times T^3 - 1,94502 \cdot 10^{-7} \times T^4$$

$$\rho \equiv \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (\text{massa específica da água})$$

$$\mu \equiv \left[\frac{\text{kg}}{\text{m.s}} \right] \quad (\text{viscosidade da água})$$

$$T \equiv [^{\circ}\text{C}]$$

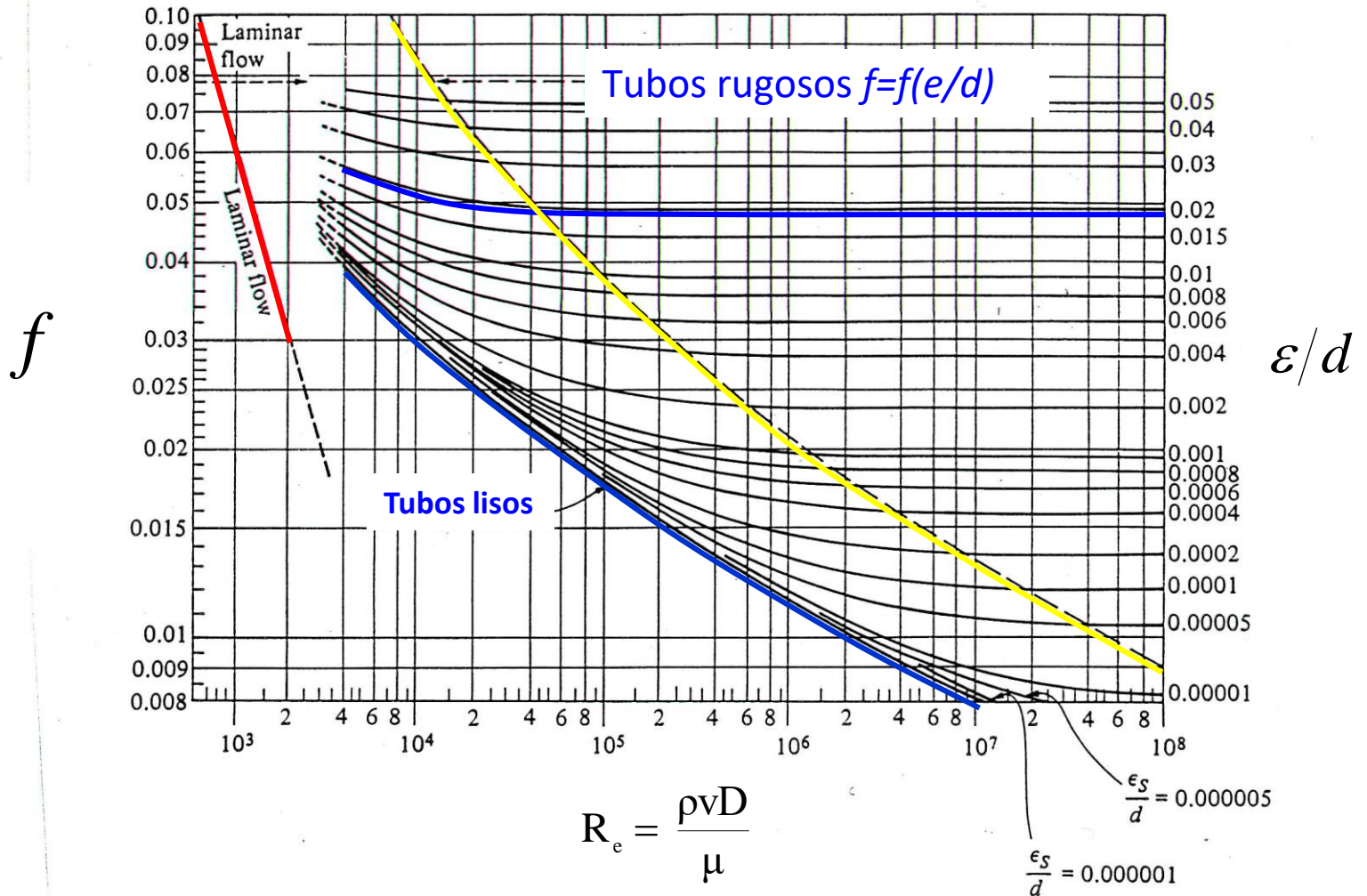
Regime de escoamento laminar

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad \text{Re} < 2100 \quad \text{Re} = \frac{\rho \bar{v} d}{\mu}$$

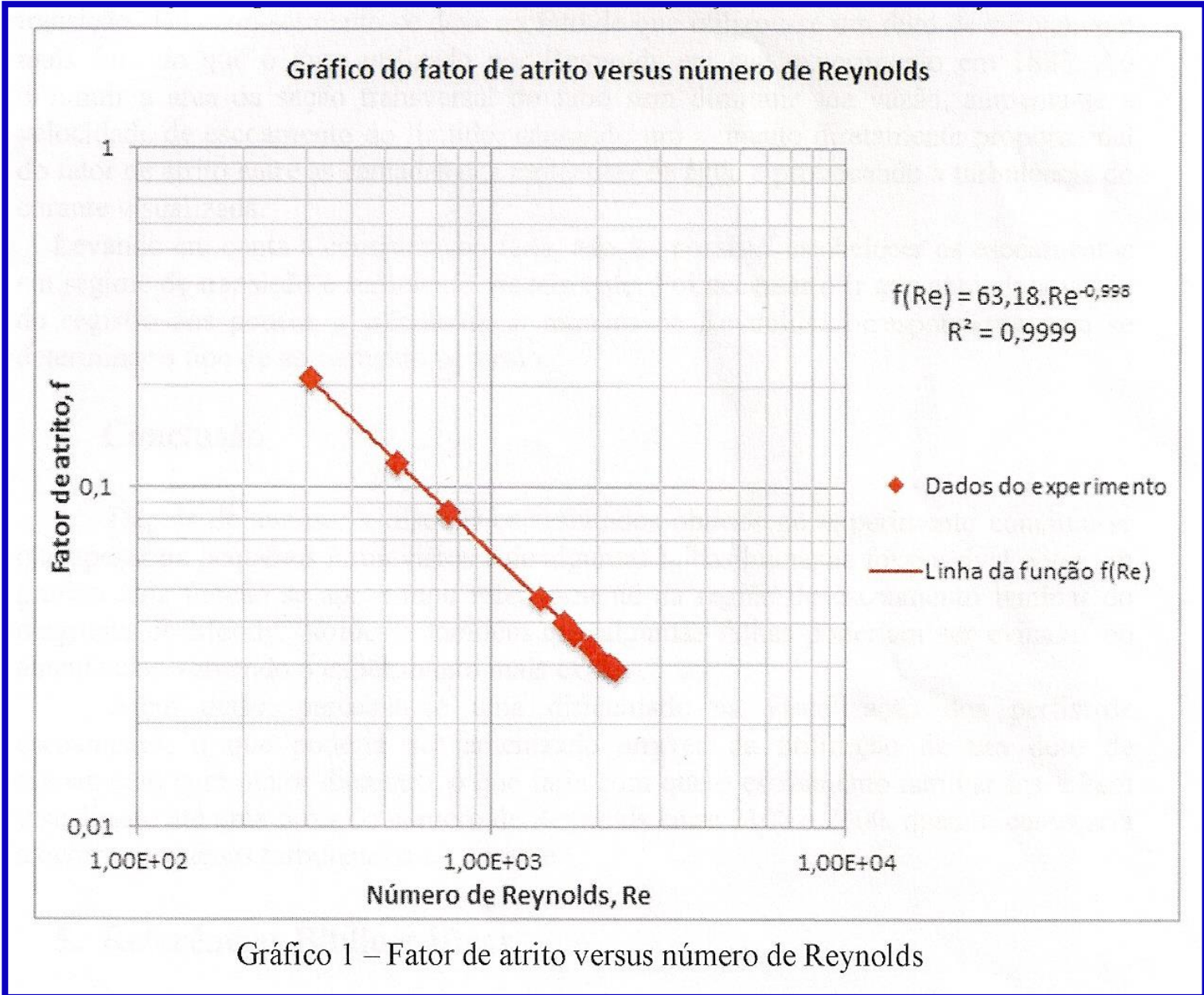
Regime de escoamento turbulento

$$f = \frac{0,0791}{\text{Re}^{0,25}} \quad 4000 < \text{Re} < 10000 \quad (\text{tubo liso})$$

Diagrama de Moody



Resultados:



VIDEO DA EXPERIÊNCIA DE REYNOLDS