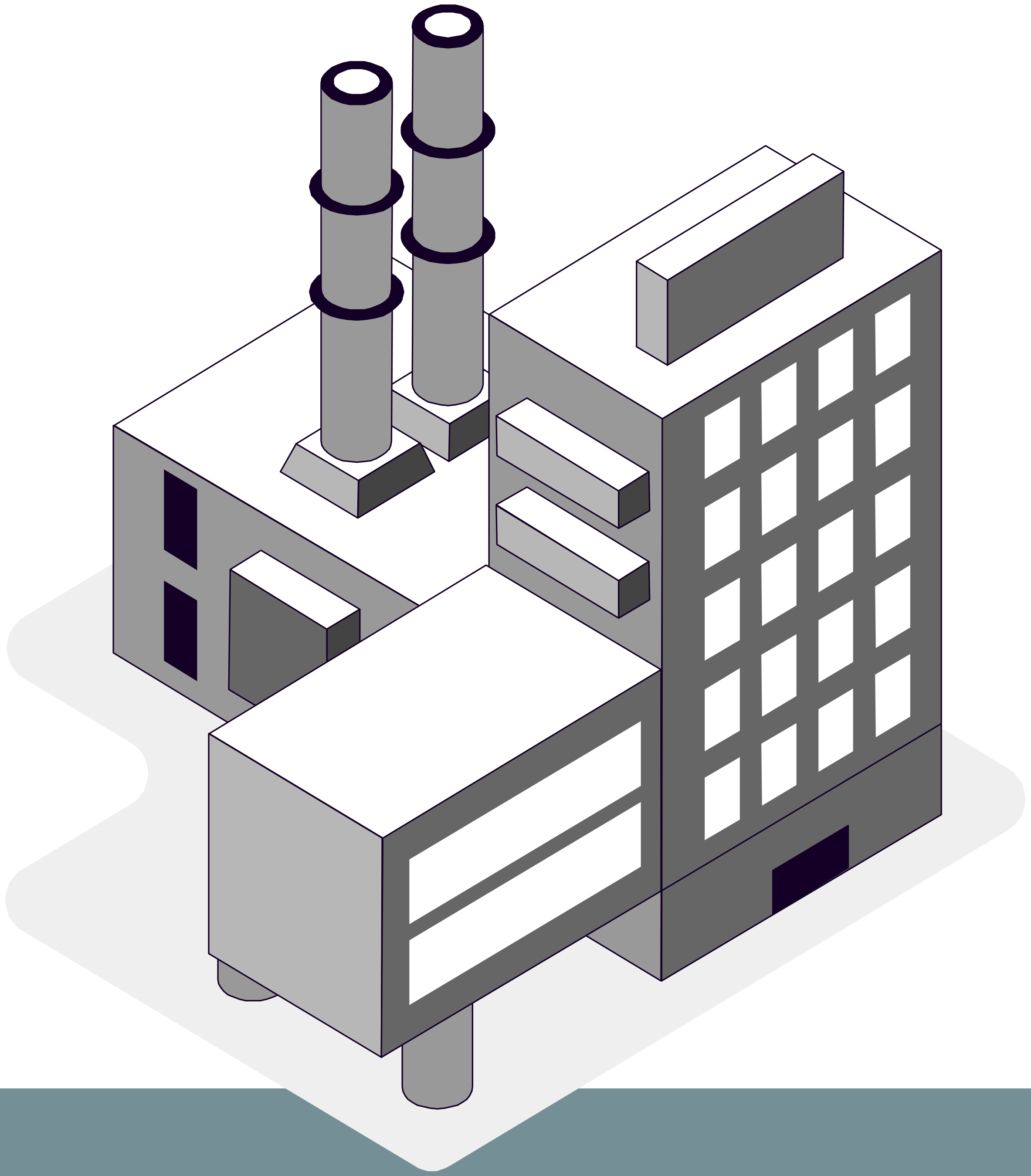
OPERAÇÕES UNITÁRIAS I

PROFª KASSIA G SANTOS

2020/1- CURSO REMOTO

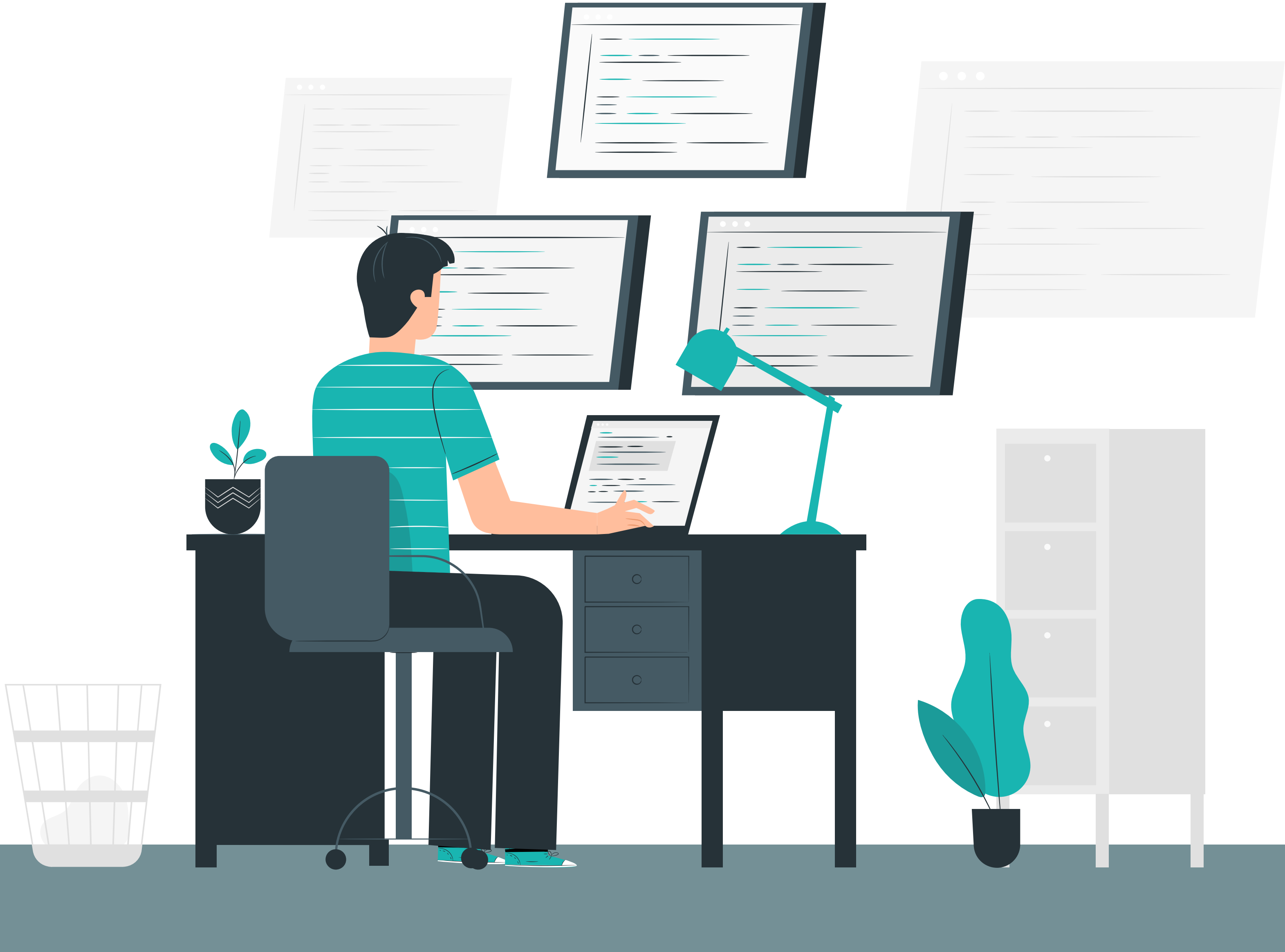
DEPARTMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

UFTM

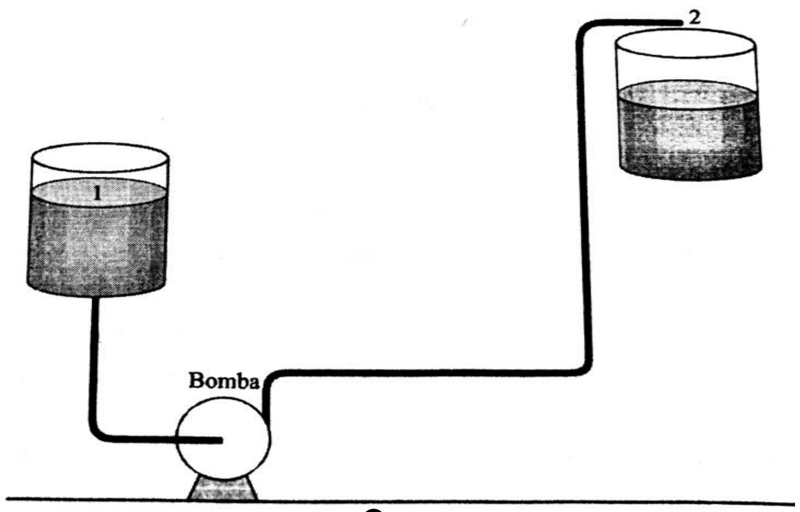


AULA 4

1.4 Perda de Carga Distribuída e Localizada (Com Exercícios)



Sistemas Fluidomecânicos



Do **balanço** de **energia** mecânica aplicado no **transporte** de fluidos incompressíveis, tem-se:

$$\underbrace{\frac{\Delta\bar{v}^2}{2}}_{\text{velocidade média do fluido}} + \underbrace{g\cdot\Delta z}_{\text{diferença de altura}} + \underbrace{\frac{\Delta P}{\rho}}_{\text{diferença de pressão}} + \underbrace{w}_{\text{perda de energia mecânica por unidade de massa}} = \underbrace{W_e}_{\text{trabalho por unidade de massa no eixo}} \qquad (1)$$

% g

$$\underbrace{\frac{\Delta\bar{v}^2}{2g}}_{\text{Altura (ou carga) de velocidade}} + \underbrace{\Delta z}_{\text{Altura (ou carga) de posição}} + \underbrace{\frac{\Delta P}{\rho\cdot g}}_{\text{Altura (ou carga) de pressão}} + \underbrace{H_C}_{\text{Perda de carga por atrito}} = \underbrace{\frac{W_e}{g}}_{\text{Altura (ou carga) a ser fornecida pela bomba}} \qquad (2)$$

$$\left(\frac{P_2}{\rho \cdot g}+\frac{\bar{v}_2^2}{2g}+z_2\right)-\left(\frac{P_1}{\rho \cdot g}+\frac{\bar{v}_1^2}{2g}+z_1\right)+H_C=\frac{W_e}{g} \qquad (3)$$

- **É importante definir as alturas (cargas) na SUCÇÃO e na DESCARGA de uma bomba.**

Neste sentido,

- **A altura (carga) de SUCÇÃO (ponto 1) é dada pela Eq. (4):**

$$H_1 \text{ ou } H_S=\frac{P_1}{\rho \cdot g}+\frac{\bar{v}_1^2}{2g}+z_1 \qquad (4)$$

- **A altura (carga) de DESCARGA (ponto 2) é dada pela Eq. (5):**

$$H_2 \text{ ou } H_D=\frac{P_2}{\rho \cdot g}+\frac{\bar{v}_2^2}{2g}+z_2 \qquad (5)$$

Portanto,

Do balanço de energia mecânica ENTRE os pontos de sucção e recalque do sistema em questão:

$$-\underbrace{\left(\frac{P_1}{\rho \cdot g}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1\right)}_{H_S}+\underbrace{\left(\frac{P_2}{\rho \cdot g}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2\right)}_{H_D}+\underbrace{H_C}_{\text{atrito}}=H_B \qquad (6)$$

Logo,

- **A altura manométrica total (altura de projeto ou carga total) é dada por:**

$$H_B=\frac{W_e}{g}=\left(H_D-H_S\right)+H_C \qquad (7)$$

A altura de projeto da bomba (H_B) é o trabalho que deve ser **fornecido** pela bomba ao fluido para obter-se a vazão de projeto.

$$H_C = \sum H_{CD} + \sum H_{CL}$$

Perda de Carga

Distribuída

Tubulações

Localizada

Acessórios, válvulas, equipamentos

Perda de Carga Distribuída

$$H_{CD} = f\left(\frac{L}{D}\right)\frac{v^2}{2g} = -\frac{\Delta\wp}{\rho g}$$

Regime Laminar
Re<2000

$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

f =f (Re)

Regime Transição
2000<Re<4000

$$\frac{1}{f^{0,5}} = -2\log\left[\frac{\varepsilon / D}{3,7} + \frac{2,51}{\mathrm{Re}\cdot f^{0,5}}\right]$$

Colebrook-White

f =f (Re, ε)

Regime Turbulento
Re<10⁵

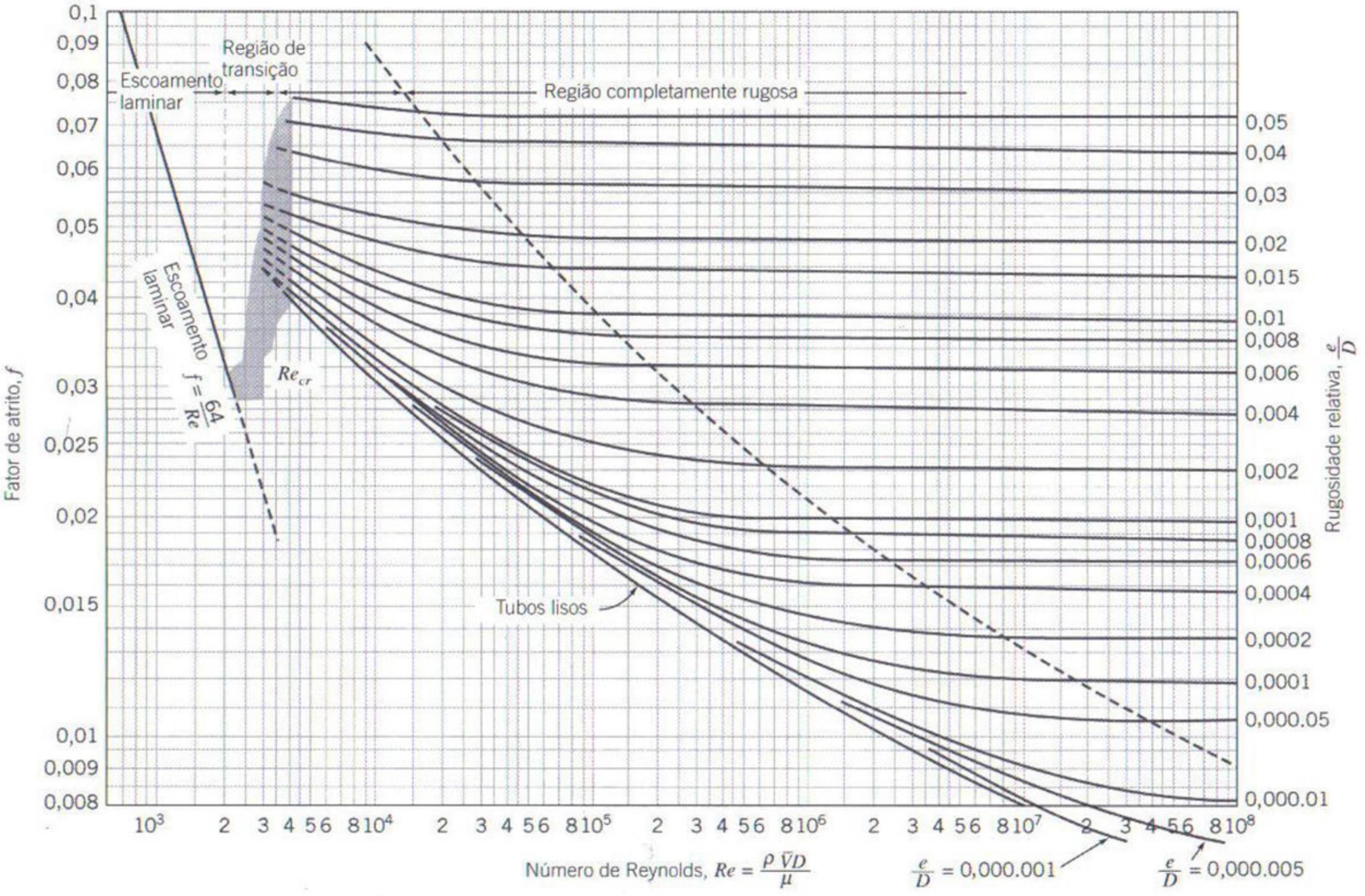
$$f = \frac{0,316}{\mathrm{Re}^{0,25}}$$

Blasius (tubo liso)

$$\frac{1}{f^{0,5}} = -2\log\left[\frac{\varepsilon / D}{3,7}\right]$$

Para tubos rugosos no regime Turbulento: f =f (ε)

Ábaco de Moody



Ábaco de Moody

regime turbulento, geral

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left[\frac{2.51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}} + \frac{\varepsilon/D}{3.7}\right]$$

regime turbulento & '*hidraulicamente rugoso*',

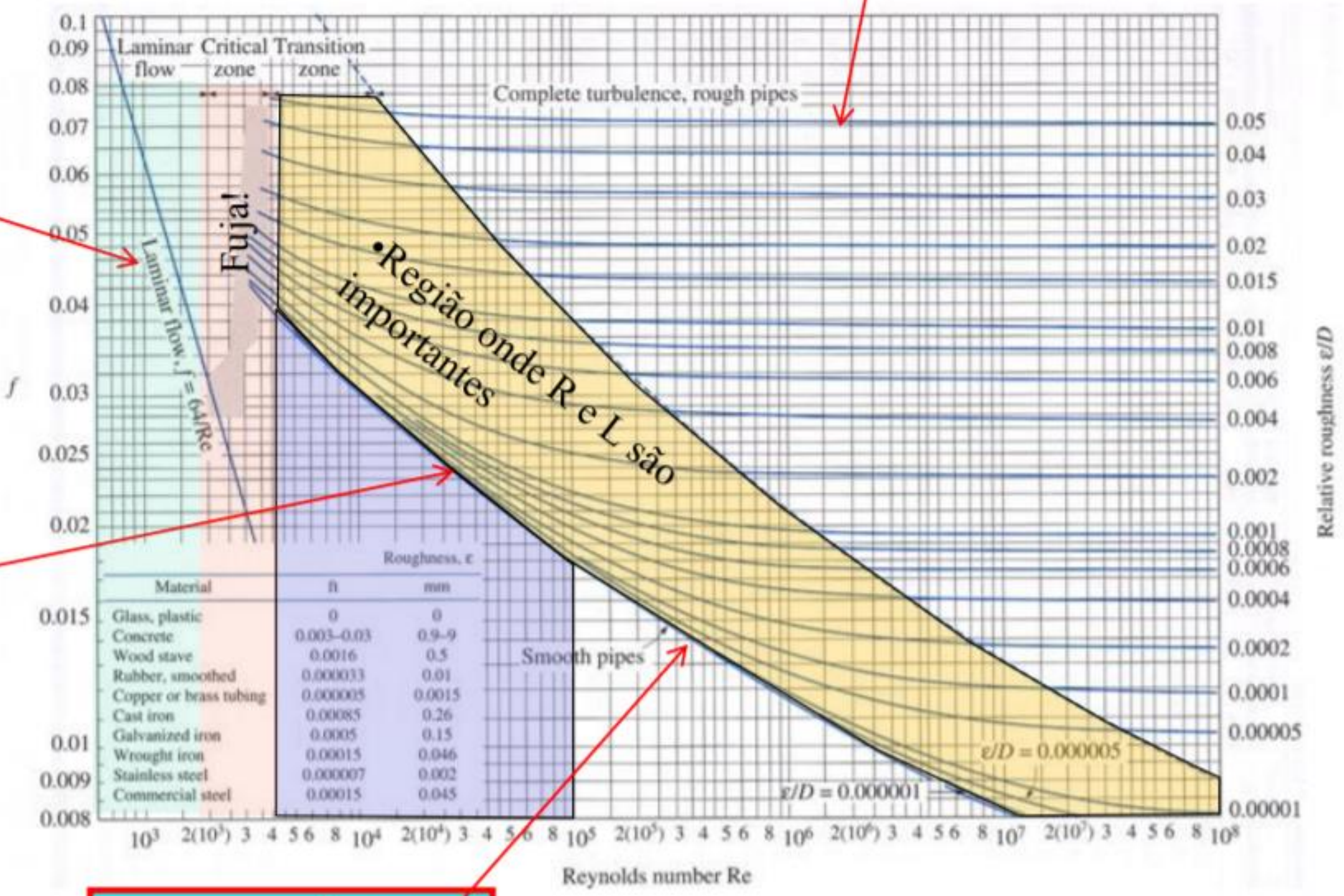
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left[\frac{\varepsilon/D}{3.7}\right]$$

•Laminar, Re < 2000

$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

•Relação de Blasius, válida para tubos lisos & Re < 10^5

$$f = \frac{0,316}{\mathrm{Re}^{1/4}}$$



Material	Roughness, ε ft	Roughness, ε mm
Glass, plastic	0	0
Concrete	0.003–0.03	0.9–9
Wood stave	0.0016	0.5
Rubber, smoothed	0.000033	0.01
Copper or brass tubing	0.000005	0.0015
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Wrought iron	0.00015	0.046
Stainless steel	0.000007	0.002
Commercial steel	0.00015	0.045

• regime turbulento & '*hidraulicamente liso*',

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left[\frac{2.51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right]$$

Perda de Carga Localizada

$$H_{CL} = f\left(\frac{Le}{D} + K\right)\frac{v^2}{2g} = -\frac{\Delta\wp}{\rho g}$$

Coeficiente de Perda de carga

$$H_{CL} = K\frac{v^2}{2g}$$

Comprimento Equivalente

$$H_{CL} = f\left(\frac{Le}{D}\right)\frac{v^2}{2g}$$

Valores Tabelados

Problema do Tipo 1 (Tenho v, D, L: Calcular diretamente Hc)

Ex 6: Calcular a queda de pressão para o escoamento de um óleo (Q=100 ft^3/min) através de um tubo horizontal hidraulicamente liso com D=1 in e L=20 ft (ρ=56,8 lbm/ft^3; $\nu=\mu/\rho$= 49 .10^{-5} ft^2/s)

Dados:

Q=100 ft^3/min
D= 1in=0,0833 ft
L= 20 ft
ρ=56,8 lbm/ft^3;
$\nu=\mu/\rho$= 49 .10^{-5} ft^2/s

ΔP=?

$$-\frac{\Delta \wp}{\rho g} = H_{CD} = f\left(\frac{L}{D}\right)\frac{v^2}{2g}$$

1º: Calcular o fator de atrito f=f(Re,ε/D)

*Calculando a velocidade:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 100\, ft^3 / \min}{\pi \cdot (0,0833\, ft)^2 \dfrac{60s}{1\min}} = 306\,\frac{ft}{s}$$

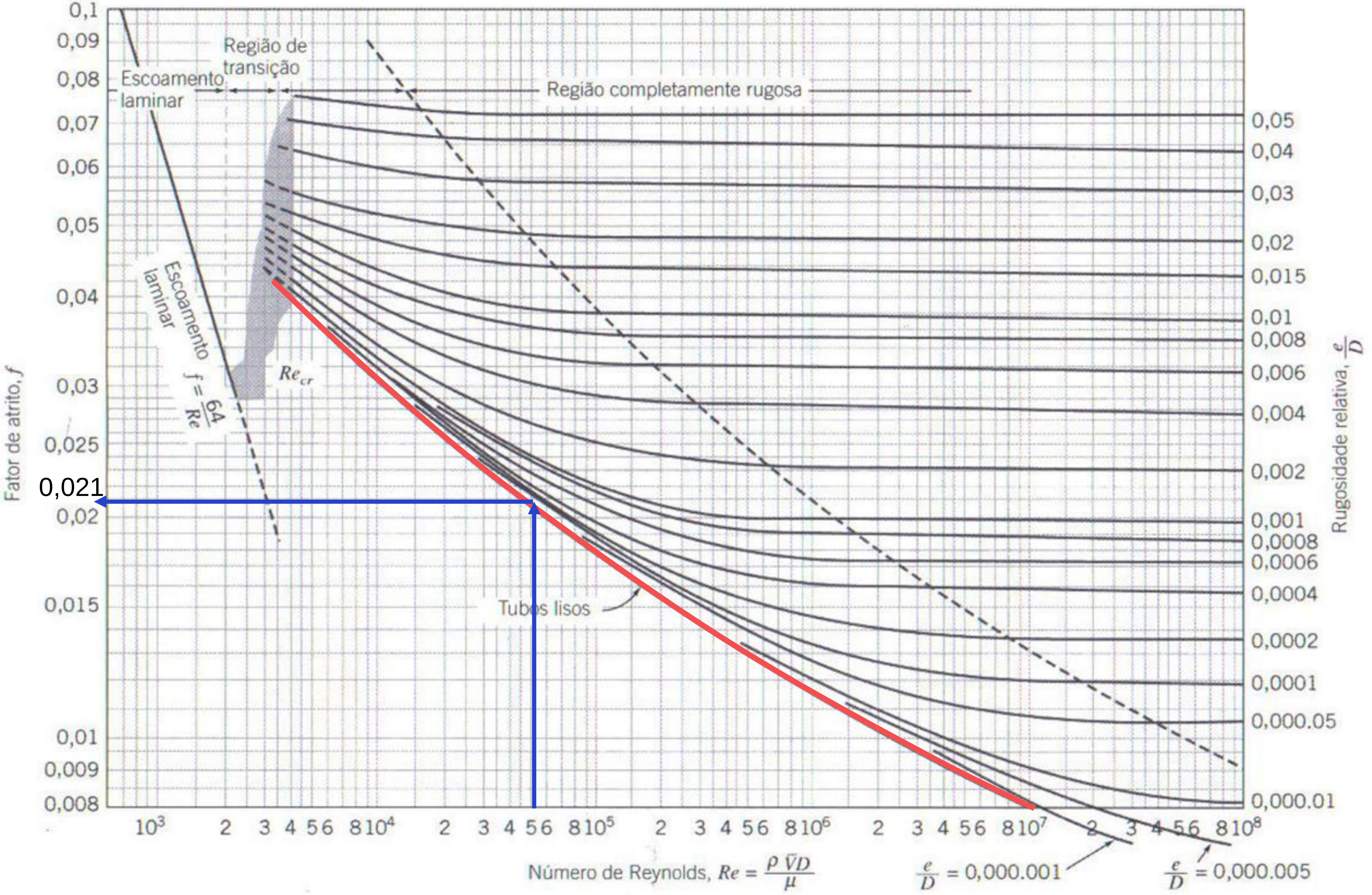
**Calculando Re:

$$\mathrm{Re} = \frac{Dv}{\upsilon} = \frac{0,0833\, ft \cdot 306\, ft / s}{49 \cdot 10^{-5}\; ft^2 / s} = 5,2 \cdot 10^5$$

Do diagrama de Moody:

f= 0,021

Ábaco de Moody



Problema do Tipo 1 (Tenho v, D, L: Calcular diretamente Hc)

Ex 6: Calcular a queda de pressão para o escoamento de um óleo (Q=100 ft^3/min) através de um tubo horizontal hidraulicamente liso com D=1 in e L=20 ft (ρ=56,8 lbm/ft^3; $\nu=\mu/\rho$= 49 .10^{-5} ft^2/s)

Dados:

Q=100 ft^3/min
D= 1in=0,0833 ft
L= 20 ft
ρ=56,8 lbm/ft^3;
$\nu=\mu/\rho$= 49 .10^{-5} ft^2/s

ΔP=?

$$-\frac{\Delta\wp}{\rho g} = H_{CD} = f\left(\frac{L}{D}\right)\frac{v^2}{2g}$$

2º: Calcular **ΔP:**

$$-\frac{\Delta\wp}{\rho g} = f\left(\frac{L}{D}\right)\frac{v^2}{2g} \rightarrow -\Delta\wp = f\left(\frac{L}{D}\right)\frac{v^2\rho}{2}$$

$$-\Delta\wp = 0{,}021\left(\frac{20\,ft}{0{,}0833\,ft}\right)\frac{(306\,ft/s)^2\cdot 56{,}8\,lbm/\,ft^3}{2}$$

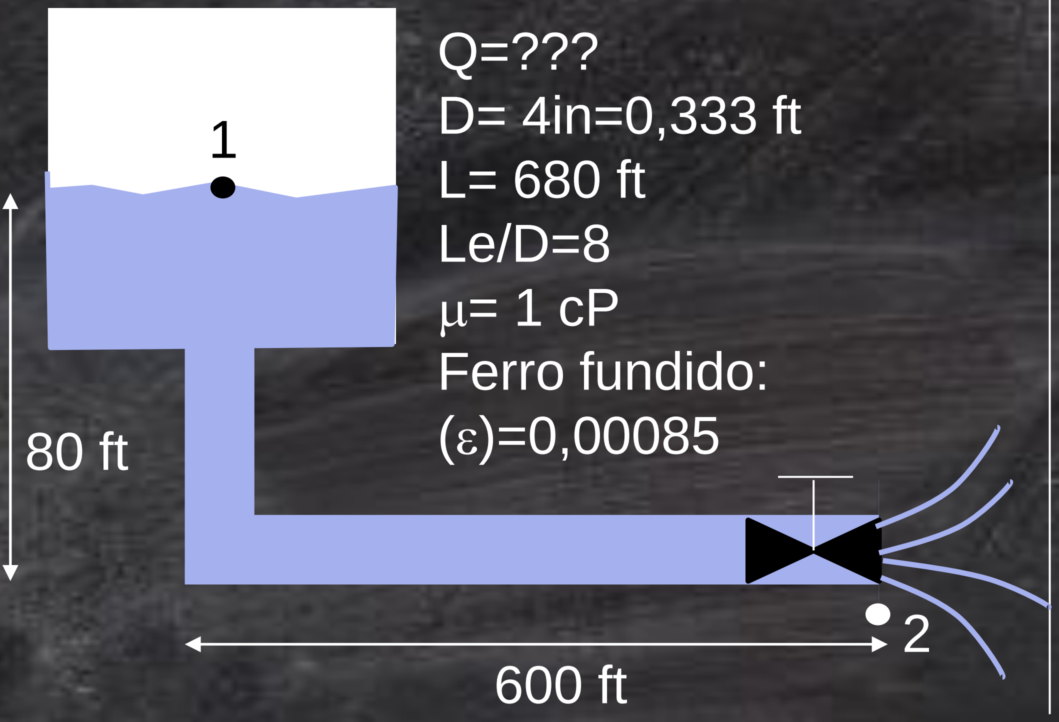
$$-\Delta\wp = 13827416\frac{lbm}{ft\cdot s^2}\cdot\frac{1\,ft}{12in} = 1152285\frac{lbm}{in\cdot s^2}$$

$$-\Delta\wp = 0{,}8334atm$$

Problema do Tipo 2 (Tenho D, L: Calcular Q=Q(f(Q),D, L,ε)

Ex 7: Calcular a vazão na saída da válvula (Le/D=8), conforme esquema. O diâmetro da tubulação é de 4 in. Tubulação de ferro fundido (envelhecida).

Dados:



Q=???
D= 4in=0,333 ft
L= 680 ft
Le/D=8
μ= 1 cP
Ferro fundido:
(ε)=0,00085

BQM entre os pontos 1 e 2

v1≅0 P1=P2=Patm 0

$$\cancel{\frac{v_1^2}{2g}} + \cancel{\frac{P_1}{\gamma}} + h_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \cancel{\frac{P_2}{\gamma}} + \cancel{h_2} + H_C$$

$$H_C = h_1 - \frac{v_2^2}{2g}$$

Mas:

$$H_C = f\left(\frac{L}{D} + \frac{Le}{D}\right)\frac{v^2}{2g}$$

Substituindo:

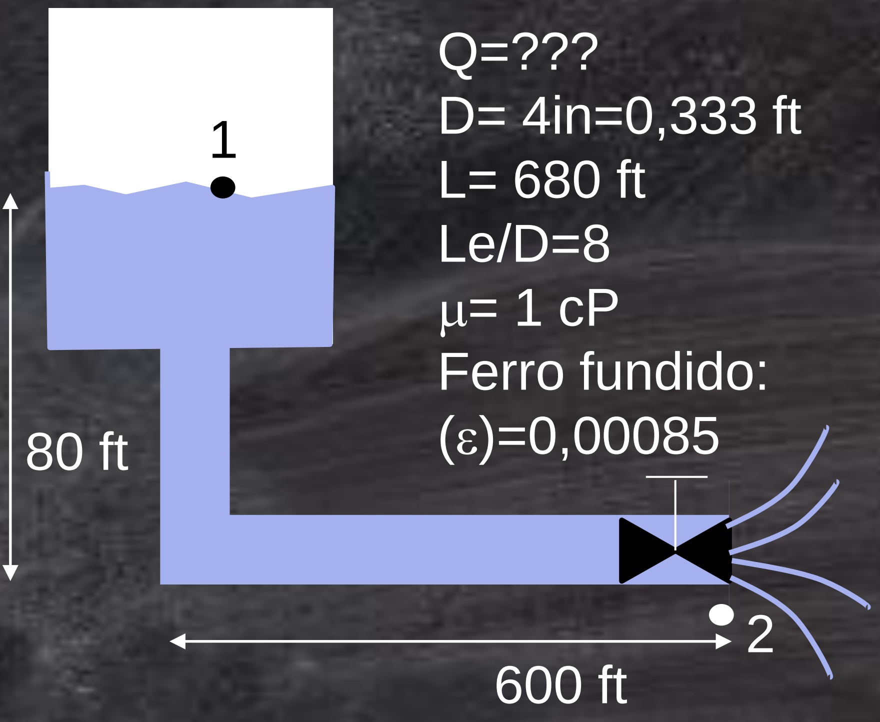
$$f\left(\frac{L}{D} + \frac{Le}{D}\right)\frac{v_2^2}{2g} = h_1 - \frac{v_2^2}{2g}$$

Isolando a velocidade:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gh_1}{f\frac{L}{D} + f\frac{Le}{D} + 1}}$$

Problema do Tipo 2 (Tenho D, L: Calcular Q=Q(f(Q),D, L,ε)

Ex 7: Calcular a vazão de água na saída da válvula (Le/D=8), conforme esquema. O diâmetro da tubulação é de 4 in. Tubulação de ferro fundido (envelhecida).



Dados:

Q=???
D= 4in=0,333 ft
L= 680 ft
Le/D=8
μ= 1 cP
Ferro fundido:
(ε)=0,00085

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gh_1}{f\frac{L}{D} + f\frac{Le}{D} + 1}}$$

$$\frac{L}{D} = \frac{680\,ft}{4in}\frac{12in}{1\,ft} = 2040$$

$$\varepsilon / D = 0,0025$$

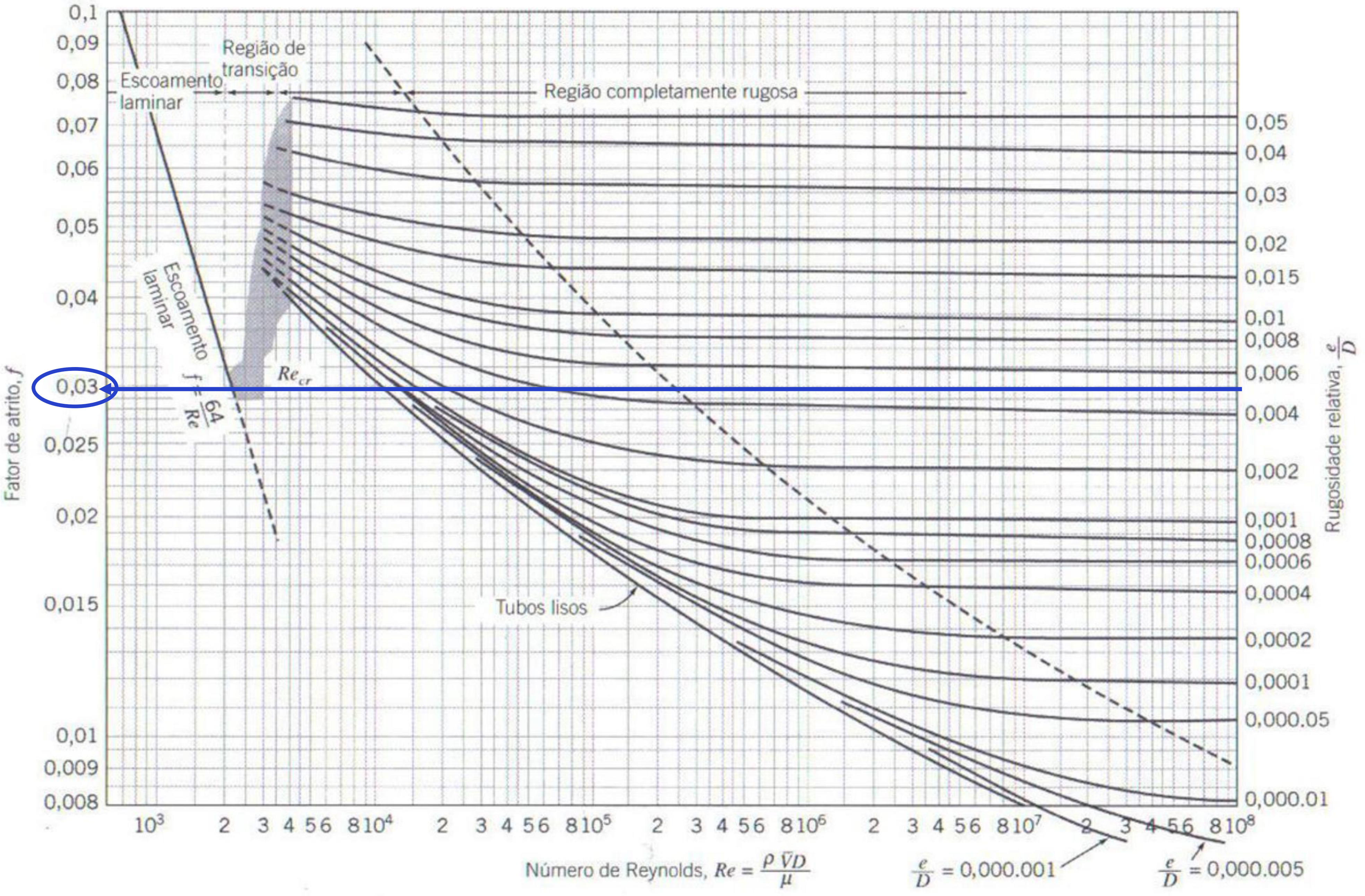
$$*v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 32{,}17\,ft/s^2 \cdot 80\,ft}{2048\,f + 1}}$$

Mas f=(Re,ε/D)

Re=Re(v)

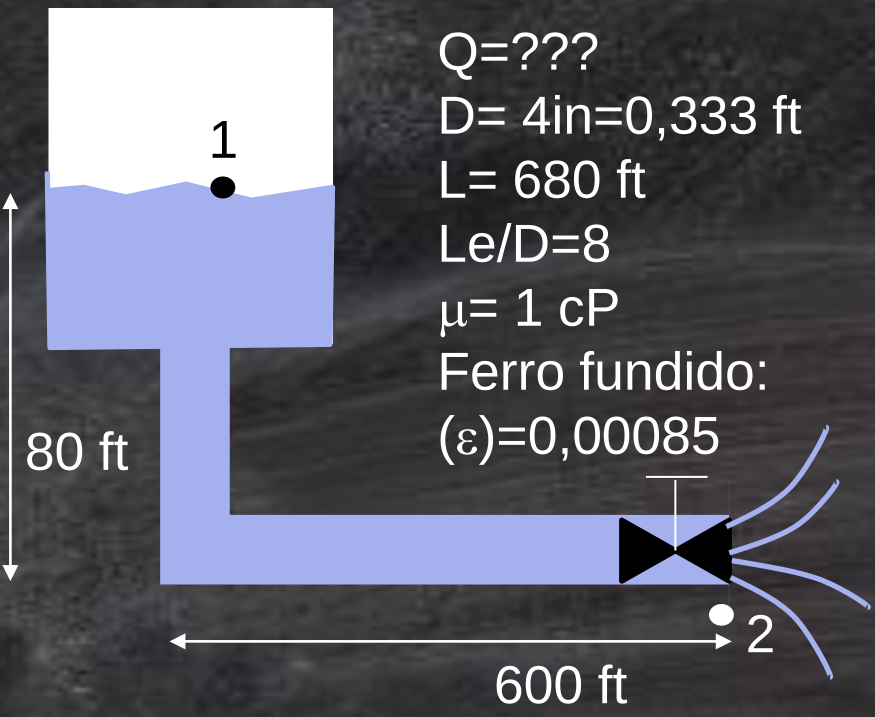
Chute	(ε/D)velha	f (diagrama)	*v(equação)	Calcular Re
Reg. Turbulento	2*0,0025= 0,005			

Ábaco de Moody



Problema do Tipo 2 (Tenho D, L: Calcular Q=Q(f(Q),D, L,ε)

Ex 7: Calcular a vazão de água na saída da válvula (Le/D=8), conforme esquema. O diâmetro da tubulação é de 4 in. Tubulação de ferro fundido (envelhecida).



Dados:

Q=???
D= 4in=0,333 ft
L= 680 ft
Le/D=8
μ= 1 cP
Ferro fundido:
(ε)=0,00085

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gh_1}{f\frac{L}{D} + f\frac{Le}{D} + 1}}$$

$$\frac{L}{D} = \frac{680\,ft}{4in}\frac{12in}{1\,ft} = 2040$$

$$\varepsilon / D = 0,0025$$

$$*v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 32,17\,ft/s^2 \cdot 80\,ft}{2048\,f + 1}}$$

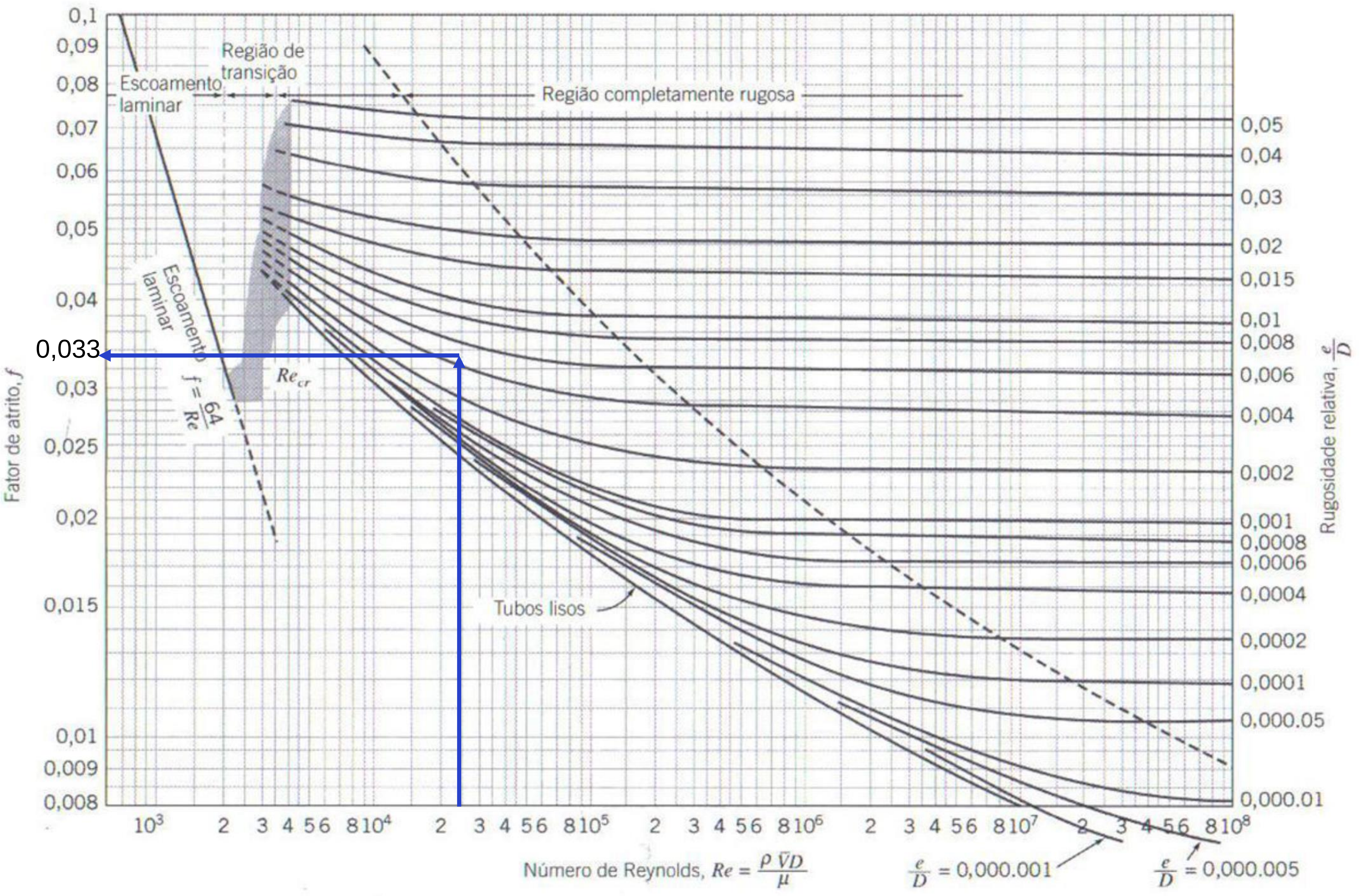
Mas f=(Re,ε/D)

Re=Re(v)

Chute	(ε/D)velha	f (diagrama)	*v(equação)	Calcular Re
Reg. Turbulento	2*0,0025= 0,005	0,03	9,08 ft/s	2,5 10^5
		0,033	8,66 ft/s	2,47 10^5

$$Q = vA = \frac{8,66\,ft/s \cdot \pi \cdot D^2}{4}\frac{60s}{1\min} = 45,36\,ft^3/\min$$

Ábaco de Moody



Atividades da Aula 4

Individual:

- ❑ Assista os vídeos indicados no Classroom, para complementação do aprendizado.
- ❑ Refaça os exercícios.
- ❑ Refaça exercícios de perda de carga, do seu material de FT, para relembrar.