



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



# ENGENHARIA DE MATERIAIS

## Mecânica dos Fluidos e Reologia

Prof. Dr. Sérgio R. Montoro

[sergio.montoro@usp.br](mailto:sergio.montoro@usp.br)

[srmontoro@dequi.eel.usp.br](mailto:srmontoro@dequi.eel.usp.br)



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



## **AULA 8**

# **PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE**

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## CÁLCULO DA PERDA DE CARGA

A determinação da altura manométrica para se entrar nos catálogos de fabricantes com o par vazão volumétrica e altura manométrica e escolher o tipo de bomba, requer o cálculo da perda de carga, ou melhor, da energia que o líquido irá despende ao passar pelo encanamento.

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## CÁLCULO DA PERDA DE CARGA

A perda de carga, ou energia, resulta do atrito interno do líquido, isto é, da sua viscosidade, da resistência oferecida pelas paredes em virtude da sua rugosidade e das alterações nas trajetórias líquidas impostas pelas peças e dispositivos intercalados nos encanamentos.

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## CÁLCULO DA PERDA DE CARGA

O cálculo da perda de carga será dividido em duas partes:

**A) Perda de carga em tubos retos de seção circular constante.**

**B) Perda de carga em acidentes da tubulação.**

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### A) Fórmula universal

$$h_d = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (\text{Equação de Darcy-Weisbach})$$

Onde:

$D$  é o diâmetro da canalização [m],  $L$  o comprimento do encanamento [m],  $V$  é a velocidade média do fluido [m/s],  $g$  é a aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>] e  $f$  é o coeficiente de perda de carga distribuída.

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

Para estimar o valor do fator de atrito ( $f$ ), existem inúmeras correlações, dentre elas podemos citar:

### EQUAÇÃO DE COLEBROOK

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left( \frac{\varepsilon / D}{3,7065} + \frac{2,5226}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### EQUAÇÃO DE COLEBROOK

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left( \frac{\varepsilon / D}{3,7065} + \frac{2,5226}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Onde:

$\varepsilon$  é a rugosidade equivalente [m], Re é o Número de Reynolds, D é o diâmetro interno [m] e  $f$  é o coeficiente de perda de carga distribuída.



# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### EQUAÇÃO DE COLEBROOK

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left( \frac{\varepsilon / D}{3,7065} + \frac{2,5226}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

#### Validade:

Tubos lisos ou rugosos, em regime de transição, regime turbulento plenamente desenvolvido e:

$$\frac{D / \varepsilon}{(\text{Re} \cdot \sqrt{f}) / 4} < 0,01$$

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### EQUAÇÃO DE CHURCHILL

$$f = 8 \cdot \left[ \left( \frac{8}{\text{Re}} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^{3/2}} \right]^{1/12}$$

Sendo:

$$A = \left[ 2,457 \cdot \ln \left( \frac{1}{\left( \frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} + 0,27 \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D} \right)} \right) \right]^{16}$$
$$B = \left( \frac{27530}{\text{Re}} \right)^{16}$$

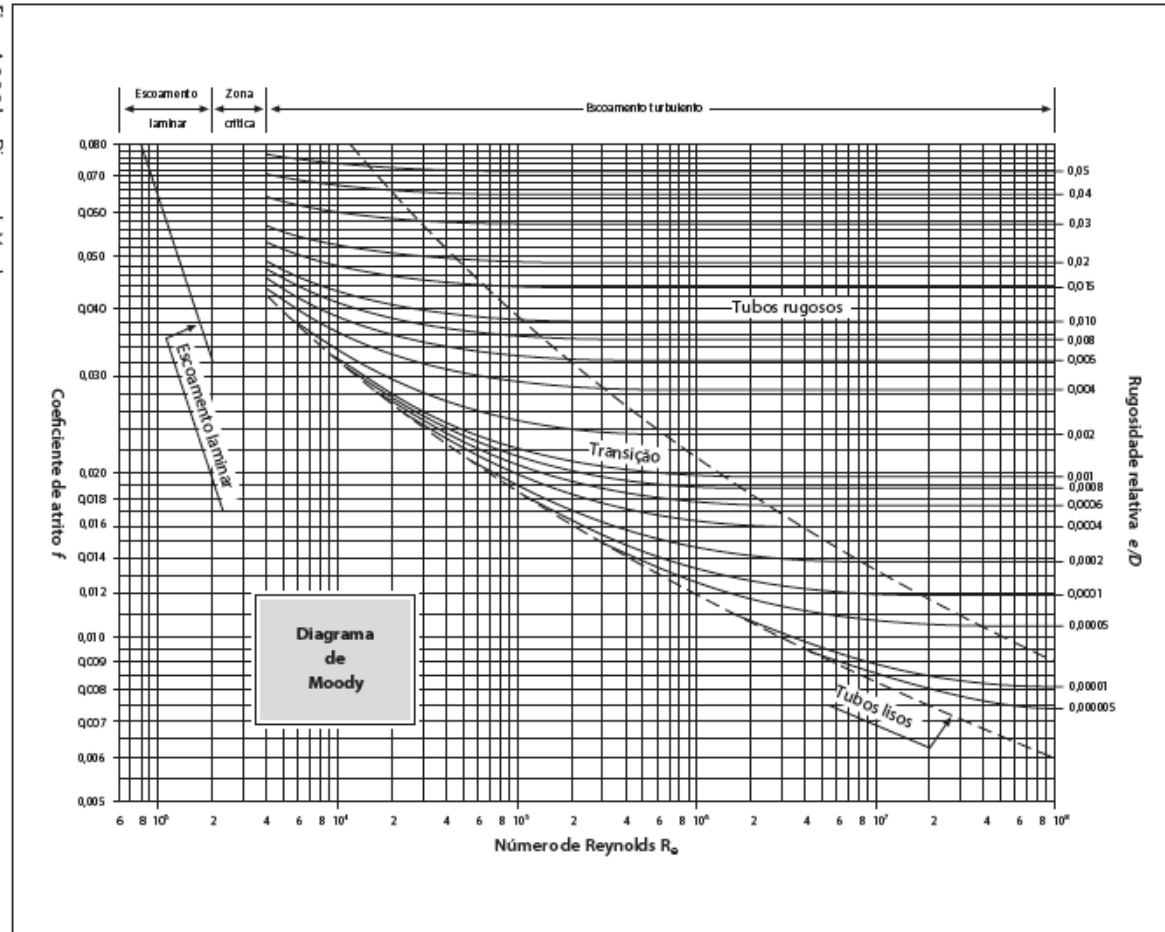
**Validade:** qualquer Re e qualquer  $\varepsilon/D$

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### DIAGRAMA DE MOODY

Figura A-8.3.9-b – Diagrama de Moody.



# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR

### CONSTANTE

### DIAGRAMA DE HUNTER ROUSE

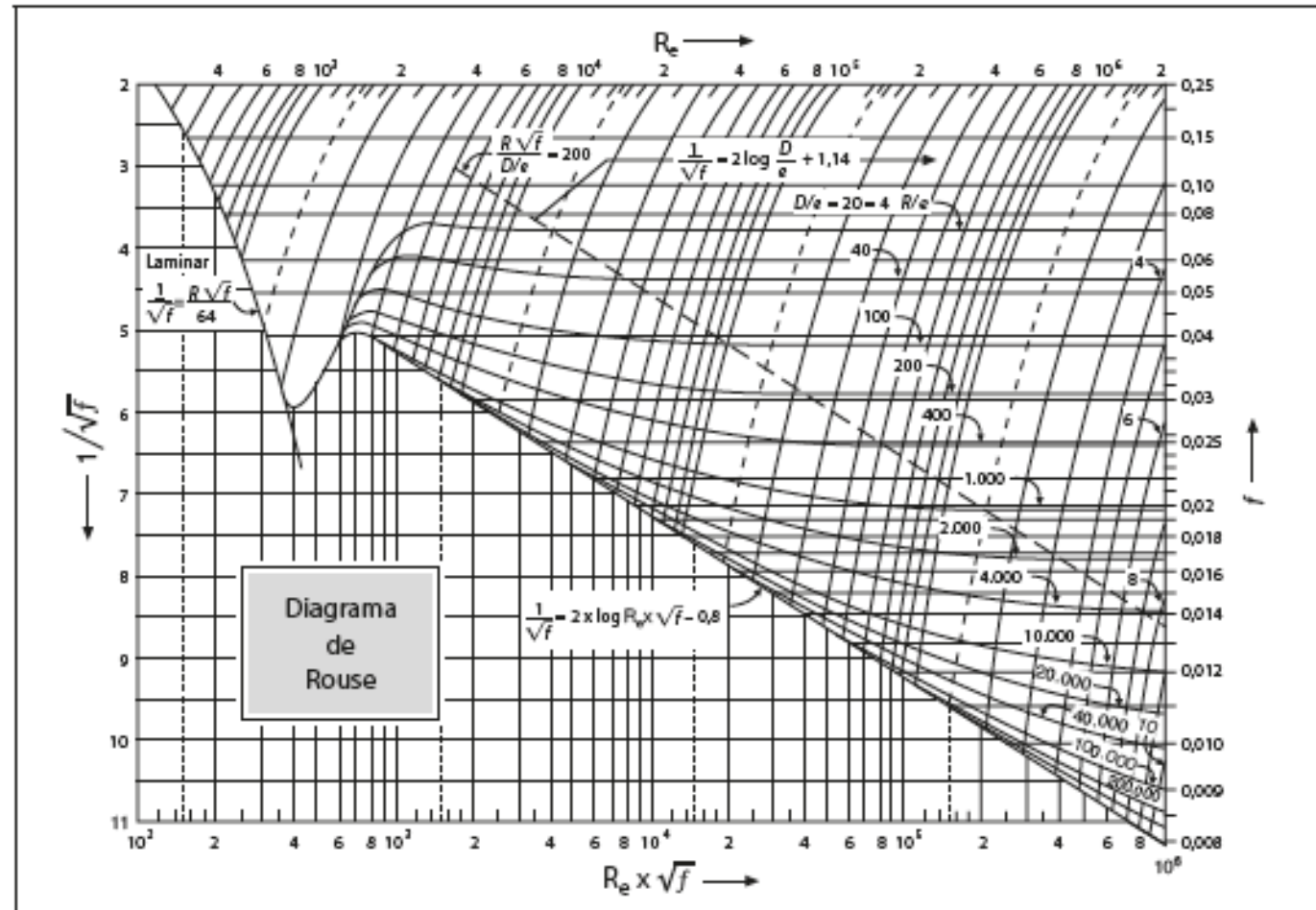


Figura A-8.3.9-a – Diagrama de Rouse.

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### B) Fórmula de Flament

$$J = \frac{h_d}{L} = 0,00212 \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}}$$

Sendo:

J = perda de carga unitária [m/m]

Q = vazão [m<sup>3</sup>/s]

D = diâmetro [m]

**Validade:** tubos de paredes lisas e transporte de água

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### C) Fórmula de Fair-Wipple-Hsiao

Água fria, tubo de ferro galvanizado:

$$J = \frac{h_d}{L} = 0,002021 \cdot \frac{Q^{1,88}}{D^{4,88}}$$

**Validade:** canos de pequeno diâmetro (1/2" a 2")

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### C) Fórmula de Fair-Wipple-Hsiao

Água fria, tubo de cobre e latão:

$$J = \frac{h_d}{L} = 0,00086 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

**Validade:** canos de pequeno diâmetro (1/2" a 2")

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### C) Fórmula de Fair-Wipple-Hsiao

Água quente, tubo de cobre e latão:

$$J = \frac{h_d}{L} = 0,0007 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

**Validade:** canos de pequeno diâmetro (1/2" a 2")



# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## 1. PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

### D) Fórmula de Hazen - Williams

$$\frac{h_d}{L} = \frac{10,643}{C^{1,85}} \times \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}}$$

Sendo:

C = coeficiente tabelado que depende da natureza do material empregado na fabricação dos dutos e das condições de suas paredes internas.

Q = vazão [m<sup>3</sup>/s]

D = diâmetro [m]

**Validade:** transporte de águas e esgotos em canalizações diversas, com diâmetros maiores que 50 mm e menores que 3500 mm.

# PERDA DE CARGA EM TUBOS RETOS DE SEÇÃO CIRCULAR CONSTANTE

## EXERCÍCIOS

**1** – Uma tubulação de aço soldado em uso, com 1300 m de comprimento e 600 mm de diâmetro, conduz água a uma velocidade média de 1,4 m/s. Sabendo-se que a água está a 20°C, calcular a perda de carga distribuída ao longo da tubulação, pelas fórmulas apresentadas.

- a) Pela fórmula Universal
- b) Pela fórmula de Flament
- c) Pela fórmula de Fair – Wipple – Hsiao
- d) Pela fórmula de Hazen - Williamns