Hidráulica 1 – SHS0409
HIDRÁULICA DOS CONDUTOS FORÇADOS

FORMULA EMPÍRICA DE PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

(AULA 4)

CONTEÚDO AULA 4

1. Fórmulas empíricas – escoamento turbulento

- Fórmula de Hazzen Willians – F.H.W. (2.6.1)
  - Comparação F.U. e F.H.W. (2.6.3)
  - Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao– F.F.W.H. (2.6.3)

2. Aplicação

Resumo perdas lineares – AULA 3

1. Teoria para escoamento laminar
2. Teoria para escoamento turbulento
3. Nikuradse fez experimentos (1933)
4. Equações de Colebrook-White (1939)
5. Diagrama de Moody → simplificar o uso das equações (1944)
6. Swamee → equação geral (1993)
7. Fórmulas empíricas → Hazen-Williams

Perda de carga unitária – F.U.

$$\Delta h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

→ ***Fórmula universal de perda de carga***

(Equação de Darcy-Weisbach)

↓

$$J = \frac{f}{D}\frac{U^2}{2g} = 0{,}0827 f \frac{Q^2}{D^5}$$

Diagrama de Moody

$$f = \text{Função}\left(Re, \frac{\varepsilon}{D}\right)$$

laminares

$f = 64/R_e$

turbulentos

$f = F\,(\varepsilon/D, R_e)$

• A partir de Nikuradse (1933) – Fórmulas p/ f

1. Fórmula para o escoamento Laminar → Hagen-Poiseulle (1840)

Rey ≤ 2300

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

---

2. Fórmula para escoamento Turbulento → Rey > 3000

2.1 Curva dos tubos HL (0 < Rey* < 5) → **Blasius (1883-1970)**

$$0 \le \frac{\varepsilon u_*}{\nu} \le 5 \quad \text{ou} \quad \frac{R_e\sqrt{f}}{D/\varepsilon} < 14{,}14$$

$$f = \frac{0{,}3164}{Re^{0{,}25}}$$

2.2 Curva dos tubos Transição (5 < Rey* < 70) → **Colebrook e White (1939)**

$$14{,}14 < \frac{Re\sqrt{f}}{D/\varepsilon} < 198$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3{,}71D} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

1976 → Swamee-Jain

$$f = \frac{0{,}25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon}{3{,}7D} + \frac{5{,}74}{Re^{0{,}9}}\right)\right]^2}$$

TABELAS A1 e A2

2.3 Curva dos tubos HR (Rey* > 70)

$$\frac{\varepsilon u_*}{\nu} > 70 \quad \text{ou} \quad \frac{Re\sqrt{f}}{D/\varepsilon} > 198$$

1944 → Moody estendeu o trabalho → diagrama de Moody

• A partir de Nikuradse (1933) – Fórmulas p/ f

1. Fórmula para o escoamento Laminar → Hagen-Poiseulle (1840)

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

Rey ≤ 2300

---

2. Fórmula para escoamento Turbulento → Rey > 3000

2.1 Curva dos tubos Hl (0 < Rey* < 5) → Blasius (1883-1970)

1993 → Swamee → equação geral válida para escoamento laminar, turbulento liso, de transição e turbulento rugoso

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9{,}5 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3{,}7D} + \frac{5{,}74}{Re^{0{,}9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0{,}125}$$

BELAS
e A2

O gráfico obtido concorda bem com o tradicional diagrama de Moody

1944 → Moody estendeu o trabalho → diagrama de Moody

Perda de carga unitária

Fórmulas Empíricas

Fórmula de Hazzen Willians – F.H.W.

A perda de carga unitária J pode ser escrita na forma $J = K\,Q^n/D^m$

K

$$J = \frac{f}{D}\frac{U^2}{2g} = \boxed{0{,}0827f}\frac{Q^2}{D^5}$$ Fórmula universal FU – generelizada (Q)

$$J = \frac{32\mu}{\rho D^2}\frac{U}{2g} = \boxed{\frac{128\mu}{\rho g\pi}}\frac{Q}{D^4}$$ Laminar Hagen-Poiseuille

$$J = \frac{0{,}316}{Re^{0{,}25}}\frac{U^2}{D2g} = \boxed{0{,}00078}\frac{Q^{1{,}75}}{D^{4{,}75}}$$ Turbulento liso Blasius

Sob esta inspiração, surgem as fórmulas empíricas

$J = K\,Q^n / D^m$ – Expressão geral das equações de resistência

Fórmulas empíricas

Expressão geral das equações de resistência: $J = K\,Q^{n} / D^{m}$

Uma das mais utilizadas é a de Hazen-Williams

$$J = 10{,}65\,\frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}}$$

- J(m/m),
- Q(m^3/s),
- D(m)
- **C ($m^{0,367}/s$)**

C → coeficiente de rugosidade = F (natureza, estado das paredes)

Fórmula de Hazen-Williams

$$J = 10{,}65 \frac{Q^{1{,}85}}{C^{1{,}85} D^{4{,}87}}$$

Recomendada, preliminarmente para

- escoamento turbulento de transição
- água a 20 °C → não considerar o efeito viscoso
- **em geral D ≥ 4" (0,1m)**
- aplicação em redes de distribuição de água, adutoras e sistemas de recalque

Tabela: Valores do Coeficiente de Rugosidade C para a fórmula de HAZEN-WILLIAMS

Aço corrugado (chapa ondulada)	C = 60	Aço com juntas lock-bar, tubos novos	130
Aço com juntas lock-bar, em serviço	90	Aço galvanizado	125
Aço rebitado, tubos novos	110	Aço rebitado, em uso	85
Aço soldado, tubos novos	130	Aço soldado, em uso	90
Aço soldado com revestimento especial	130	Cobre	130
Concreto, bom acabamento	130	Concreto, acabamento comum	120
Ferro fundido, novos	130	Ferro fundido, após 15-20 anos de uso	100
Ferro fundido, usados	90	Ferro fundido revestido de cimento	130
Madeiras em aduelas	120	Tubos extrudados, P.V.C.	150

Fonte: Porto (1998), adaptado de Azevedo Neto (1973)

PERDA DE CARGA (Contínua)
Fórmula Empírica de Hazen-Williams

Tabela: Valores do Coeficiente de Rugosidade C para a fórmula de HAZEN-WILLIAMS

Material do tubo	Coeficiente C
Plástico : Diâmetro até 50mm Diâmetro entre 60 e 100 mm Diâmetro entre 125 e 300 mm	125 135 140
Ferro fundido (tubos novos)	130
Ferro fundido (tubos com 15 a 20 anos)	100
Manilhas de cerâmica	110
Aço galvanizado (novos)	125
Aço soldado (novos)	110

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto (1988).

Comparação Hazen-Williams x Universal

$$J = 10{,}65 \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}}$$

$$J = \frac{f}{D} \frac{U^2}{2g} = 0{,}0827 f \frac{Q^2}{D^5}$$

$$C = \frac{43}{f^{0,54} Re^{0,081} D^{0,011}}$$

Pag. 55 (livro)

Porto (1999): *A fórmula de Hazen-Williams, a despeito da popularidade entre projetistas, deve ser vista com reservas em problemas de condução de água [...] diante da incerteza sobre o tipo de escoamento turbulento, deve-se utilizar a fórmula, com f determinado pela equação de Colebrook e White ou Swamee-Jain*

Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao

- **D < 4”** (100 mm ou 0,1m);
- Trechos curtos;
- Presença de grande número de conexões

Projetos de instalações prediais de água fria → recomendada pela ABNT para PVC e aço galvanizado, em **instalações hidráulico sanitárias**

J(m/m), D(m) e Q(m^3/s)

Aço galvanizado novo conduzindo água fria

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

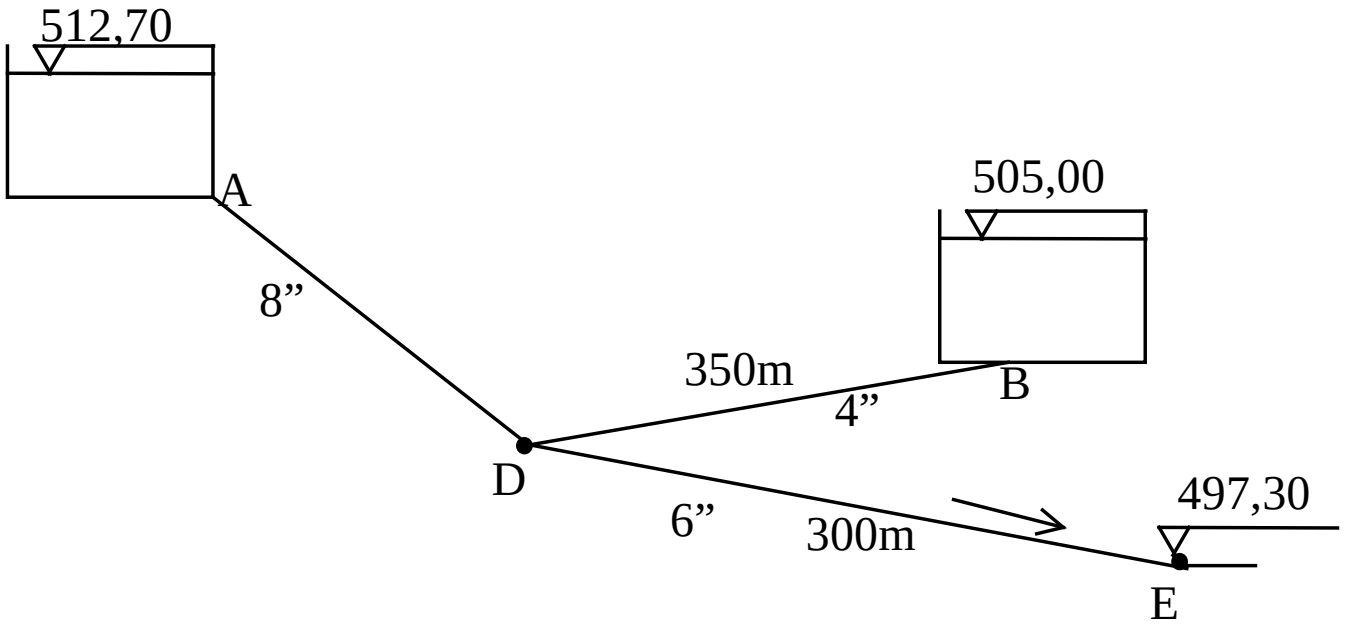
PVC rígido conduzindo água fria

$$J = 0{,}0008695 \frac{Q^{1{,}75}}{D^{4{,}75}}$$

Aplicação

Exercício (Lista 2 – Ex. 5):

No esquema mostrado na figura a pressão disponível no ponto E é igual a 10 m.c.a. e todos os tubos têm C = 130. Determine a vazão e o comprimento do trecho AD sabendo que a vazão no trecho DE é de 18 L/s. Despreze as perdas localizadas e as cargas cinéticas nas tubulações.

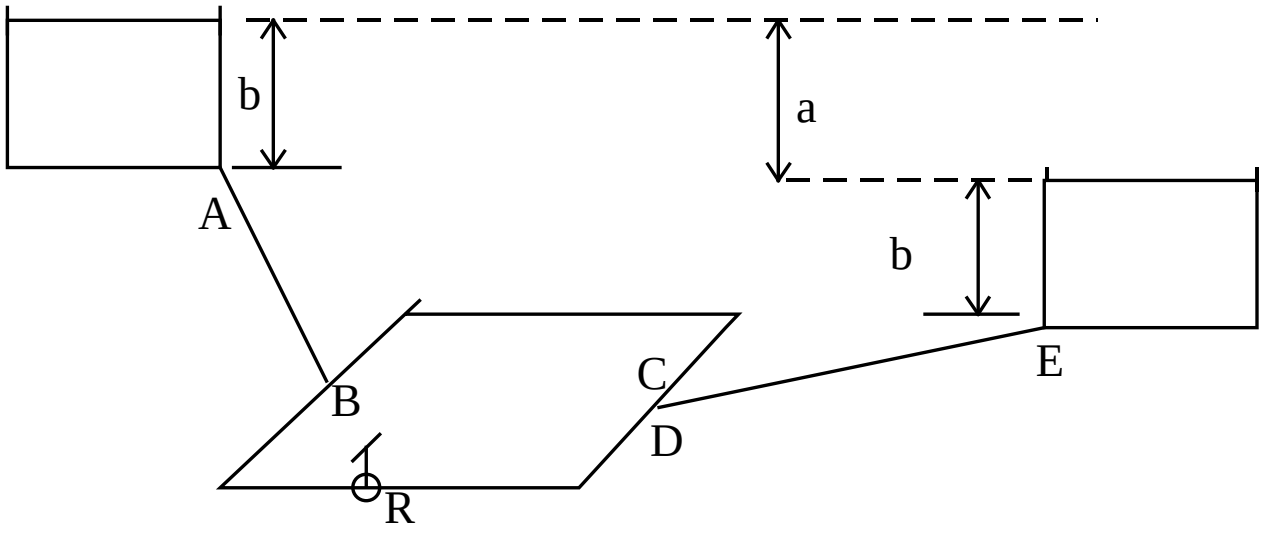


Usar Hazzen-Willians

$$J = 10{,}65 \frac{Q^{1{,}85}}{C^{1{,}85} D^{4{,}87}}$$

Exercício (Lista 1 – Ex. 3):

Dispõe de dois reservatórios interligados, conforme a figura abaixo. Sabendo-se que o escoamento é francamente turbulento, que toda tubulação é do mesmo material e diâmetro, que as perdas localizadas são desprezíveis, determinar o aumento percentual da vazão de I para II quando se abre o registro R. Os comprimentos AB, BC, BD e DE são iguais, os ramos BC e BD estão no plano horizontal.



- Desafio

- Lista 2 – Exercício 6

- Obrigada!