

Aula 3. Conduitos livres com escoamento permanente e uniforme

Hidráulica II

Maria M. Gamboa

1º Semestre de 2019. 12/03/2019

Permanente e uniforme: Equação de energia

Se escoamento uniforme, linhas de corrente paralelas, e canal de baixa declividade:

- $V = Q/A = cte$
- Carga Piezométrica

$$\frac{P}{\gamma} + Z = \text{constante na seção}$$

Linha piezométrica = Superfície livre

- Carga total

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z + \alpha \frac{1.0 V^2}{2g}$$

Linha de carga = Superfície livre + carga cinética

Permanente e uniforme: Equação de energia

Se escoamento uniforme, linhas de corrente paralelas, e canal de baixa declividade:

- $V = Q/A = cte$
- Carga Piezométrica

$$\frac{P}{\gamma} + Z = \text{constante na seção}$$

Linha piezométrica = Superfície livre

- Carga total

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z + \alpha \frac{1.0 V^2}{2g}$$

Linha de carga = Superfície livre + carga cinética

Fundo, Superfície livre (L. P.), Linha energia : paralelas no escoamento permanente uniforme

Escoamento permanente e uniforme

Porquê é possível o escoamento permanente e uniforme?

Escoamento permanente e uniforme

Porquê é possível o escoamento permanente e uniforme?

Equilíbrio dinâmico

Força aceleradora = Força de resistência

Escoamento permanente e uniforme

Porquê é possível o escoamento permanente e uniforme?

Equilíbrio dinâmico

Força aceleradora = Força de resistência

F. gravidade = F. pela tensão cisalhamento

Escoamento permanente e uniforme

Porquê é possível o escoamento permanente e uniforme?

Equilíbrio dinâmico

Força aceleradora = Força de resistência

F. gravidade = F. pela tensão cisalhamento

$$f_1(A, I_o) = f_2(\nu, V, rugosidade)$$

Escoamento permanente e uniforme

Porquê é possível o escoamento permanente e uniforme?

Equilíbrio dinâmico

Força aceleradora = Força de resistência

F. gravidade = F. pela tensão cisalhamento

$$f_1(A, I_o) = f_2(\nu, V, rugosidade)$$

- Só existe em canais prismáticos, trechos longos, rugosidade constante
- Não muito comum na realidade (a rigor), mas muitas vezes essa aproximação é usada

Escoamento permanente e uniforme

Pelo equilíbrio dinâmico...

Escoamento permanente e uniforme

Pelo equilíbrio dinâmico...

$$W \operatorname{sen}(\alpha) = \tau_0 P dL$$
$$\gamma A dL \operatorname{sen}(\alpha) = \tau_0 P dL$$

Escoamento permanente e uniforme

Pelo equilíbrio dinâmico...

$$W \operatorname{sen}(\alpha) = \tau_0 P dL$$

$$\gamma A dL \operatorname{sen}(\alpha) = \tau_0 P dL$$

Para α pequeno, $\operatorname{sen}(\alpha) \approx \tan(\alpha) = I_o$

Em escoamento uniforme $I_o = I_f$

Escoamento permanente e uniforme

Pelo equilíbrio dinâmico...

$$W \operatorname{sen}(\alpha) = \tau_0 P dL$$

$$\gamma A dL \operatorname{sen}(\alpha) = \tau_0 P dL$$

Para α pequeno, $\operatorname{sen}(\alpha) \approx \tan(\alpha) = I_o$

Em escoamento uniforme $I_o = I_f$

$$\tau_0 = \gamma R_h I_o$$

Exemplo

O projeto de um canal trapezoidal com $b = 2m$, $Z = 3$, para transportar $Q = 10m^3/s$, impõe que para não haver processo erosivo nas paredes e fundo, a tensão média de cisalhamento τ_0 não deve ultrapassar $10Pa$. Se a declividade de fundo é $I_0 = 1.3 \cdot 10^{-3} m/m$ e o regime permanente e uniforme, determine a altura d'água e classifique o escoamento.

Equações de resistência

$$\tau_0 = \gamma R_h I_f$$

Equações de resistência

$$\tau_0 = \gamma R_h I_f$$

Conforme definido para a equação universal:

$$\tau_0 = \gamma R_h I_f = \frac{\rho f V^2}{8}$$

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{R_h I_f}$$

Equações de resistência

$$\tau_0 = \gamma R_h I_f$$

Conforme definido para a equação universal:

$$\tau_0 = \gamma R_h I_f = \frac{\rho f V^2}{8}$$

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{R_h I_f}$$

Fórmula de Chézy

$$V = C \sqrt{R_h I_f}$$

$$Q = CA \sqrt{R_h I_f}$$

Aplicável a escoamento uniforme ($I_f = I_o$) e não uniforme ($I_f \neq I_o$).

Coeficiente de rugosidade de Chezy

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

- Valores de f em canais não está definido como em tubulações

Coefficiente de rugosidade de Chezy

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

- Valores de f em canais não está definido como em tubulações
- Depende, também, de ϵ , R_h e Rey

Equações de resistência

Coeficiente de rugosidade de Chezy

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

- Valores de f em canais não está definido como em tubulações
- Depende, também, de ϵ , R_h e Rey
- Fica constante (dependendo só de ϵ e R_h) para escoamento hidráulicamente rugoso:

$$Rey^* = \frac{u_* \epsilon}{\nu} > 70 \quad \text{com :} \quad u_* = \frac{\tau_0}{\rho} = \sqrt{g R_h I_f}$$

Equações de resistência

Procurando, empiricamente, coeficiente que caracterize a rugosidade, independente do escoamento:

Equações de resistência

Procurando, empiricamente, coeficiente que caracterize a rugosidade, independente do escoamento:

Coeficiente de rugosidade de Manning:

$$n^{-1} = CR_h^{-1/6}$$

Equações de resistência

Procurando, empiricamente, coeficiente que caracterize a rugosidade, independente do escoamento:

Coeficiente de rugosidade de Manning:

$$n^{-1} = CR_h^{-1/6}$$

Substituindo na fórmula de Chezy, obtém-se a **fórmula de Manning**

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I_0^{1/2}$$

$$Q = \frac{A}{n} R_h^{2/3} I_0^{1/2}$$

Equações de resistência

Procurando, empiricamente, coeficiente que caracterize a rugosidade, independente do escoamento:

Coeficiente de rugosidade de Manning:

$$n^{-1} = C R_h^{-1/6}$$

Substituindo na fórmula de Chezy, obtém-se a **fórmula de Manning**

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I_0^{1/2}$$

$$Q = \frac{A}{n} R_h^{2/3} I_0^{1/2}$$

Válida para escoamento permanente, uniforme, turbulento com $Rey \gg 2000$, e rugoso $Rey^* > 70$

Equações de resistência

Coeficiente de Chézy, C :

- Depende (para rugoso) de ϵ e de R_h
- ϵ tem sentido físico, unidades comprimento
- ϵ menor sensibilidade da velocidade
- menos informações de valores empíricos disponíveis

Equações de resistência

Coeficiente de Chézy, C :

- Depende (para rugoso) de ϵ e de R_h
- ϵ tem sentido físico, unidades comprimento
- ϵ menor sensibilidade da velocidade
- menos informações de valores empíricos disponíveis

O coeficiente de Manning, n :

- Tem origem empírica, não tem significado físico
- Não é adimensional
- Valores médios obtidos empiricamente, tabelados, segundo revestimento
- Muito comum. Grandes bases de dados.

Coeficiente n de Manning

Natureza das Paredes	Condições			
	Muito Boas	Boas	Regulares	Más
Tubos de ferro fundido sem revestimento.....	0,012	0,013	0,014	0,015
Idem. com revestimento de alcatrão.....	0,011	0,012*	0,013*	---
Tubos de ferro galvanizado.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Tubos de bronze ou de vidro.....	0,009	0,010	0,011	0,013
Condutos de barro vitrificado, de esgotos.....	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de barro, de drenagem.....	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento: condutos de esgoto, de tijolos.....	0,012	0,013	0,015*	0,017
Superfícies de cimento alisado.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Superfícies de argamassa de cimento.....	0,011	0,012	0,013*	0,015
Tubos de concreto.....	0,012	0,013	0,015	0,016
Condutos e aduelas de madeira.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Calhas de prancha de madeira aplainada.....	0,010	0,012*	0,013	0,014
Idem, não aplainada.....	0,011	0,013*	0,014	0,015
Idem. com pranchões.....	0,012	0,015*	0,016	---
Canais com revestimento de concreto.....	0,012	0,014*	0,016	0,018
Alvenaria de pedra argamassa.....	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra seca.....	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares).....	0,011	0,012	0,013	0,015
Idem, corrugadas.....	0,023	0,025	0,028	0,030
Canais de terra, retilíneos e uniformes.....	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes.....	0,025	0,030	0,033*	0,035
Canais abertos em rocha, irregulares, ou de paredes de pedra irregulares e mal-arrumadas.....	0,035	0,040	0,045	---
Canais dragados.....	0,025	0,028	0,030	0,033
Canais curvilíneos e lamosos.....	0,023	0,025*	0,028	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes.....	0,025	0,030	0,035*	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedrados.....	0,028	0,030	0,033	0,035
ARROIOS E RIOS				
1. Limpos, retilíneos e uniformes.....	0,025	0,028	0,030	0,033
2. Como em 1, porém com vegetação e pedras.....	0,030	0,033	0,035	0,040
3. Com meandros, bancos e poços pouco profundos, limpos.....	0,035	0,040	0,045	0,050
4. Como em 3, águas baixas, declividade fraca.....	0,040	0,045	0,050	0,055
5. Como em 3, com vegetação e pedras.....	0,033	0,035	0,040	0,045
6. Como em 4, com pedras.....	0,045	0,050	0,055	0,060
7. Com margens espriadas, pouca vegetação.....	0,050	0,060	0,070	0,080
8. Com margens espriadas, muita vegetação.....	0,075	0,100	0,125	0,150

* Valores aconselhados para projetos

Coeficiente n de Manning

Nº	Natureza das Paredes	n
01	Canais de chapas com rebites embutidos, juntas perfeitas e águas limpas. Tubos de cimento e de fundição em perfeitas condições....	0,011
02	Canais de cimento muito liso, de dimensões limitadas, de madeira aplainada e lixada, em ambos os casos; trechos retilíneos compridos e curvas de grande raio e água limpa. Tubos de fundição usados.....	0,012
03	Canais de reboco de cimento liso, porém com curvas de raio limitado e águas não completamente limpas; construídos com madeira lisa, mas com curvas de raio moderado.....	0,013
04	Canais com reboco de cimento não completamente liso; de madeira como no nº 2, porém com traçado tortuoso e curvas de pequeno raio e juntas imperfeitas.....	0,014
05	Canais com paredes de cimento não completamente lisas, com curvas estreitas e águas com detritos; construídos de madeira não aplainada de chapas rebitadas.....	0,015
06	Canais com reboco de cimento não muito alisado e pequenos depósitos no fundo; revestidos por madeira não aplainada; de alvenaria construída com esmero; de terra, sem vegetação.....	0,016
07	Canais com reboco de cimento incompleto, juntas irregulares, andamento tortuoso e depósitos no fundo; de alvenaria revestindo taludes não bem perfilados.....	0,017
08	Canais com reboco de cimento rugoso, depósitos no fundo, musgo nas paredes e traçado tortuoso.....	0,018
09	Canais de alvenaria em más condições de manutenção e fundo com barro, ou de alvenaria de pedregulhos; de terra, bem construídos, sem vegetação e com curvas de grande raio.....	0,020
10	Canais de chapas rebitadas e juntas irregulares; de terra, bem construídos com pequenos depósitos no fundo e vegetação rasteira nos taludes.....	0,022
11	Canais de terra, com vegetação rasteira no fundo e nos taludes.....	0,025
12	Canais de terra, com vegetação normal, fundo com cascalhos ou irregular por causa de erosões; revestidos com pedregulhos e vegetação.....	0,030
13	Álveos naturais, cobertos de cascalhos e vegetação.....	0,035
14	Álveos naturais, andamento tortuoso.....	0,040

Qual pode ser o material do canal do exemplo anterior?

(Lembrando: canal trapezoidal $b = 2m$, $Z = 3$, $Q = 10m^3/s$,
 $\tau_0 = 10Pa$, $I_0 = 1.3 \cdot 10^{-3}m/m$, regime permanente e uniforme)

Exercicio proposto

Um canal de seção triangular simétrica transporta em regime permanente e uniforme uma vazão de 376l/s de água, com declividade de fundo $I_0 = 0.001\text{m/m}$ e coeficiente de rugosidade $n = 0.02$. Sendo a altura média da seção molhada igual a 0.275m , determine a inclinação dos taludes.

Exercicio proposto

Determine a **mínima** declividade necessária para que um canal trapezoidal, de rugosidade $n = 0.025$, taludes $4H : 1V$, transporte $6m^3/s$, com velocidade média igual a $0.60m/s$. Classifique o escoamento. (seção de máximo Rh)