Aula 9. Aplicações dos conceitos de energia específica e seções de controle

Hidráulica II

Maria M. Gamboa

1° Semestre de 2019. 07/05/2019

Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Canal prismático que em um mesmo trecho muda a largura e o fundo, e depois volta à seção original.

Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Canal prismático que em um mesmo trecho muda a largura e o fundo, e depois volta à seção original.

Exemplo:
Em um canal retangular de fraca declividade, largura $3m$, escoa uma vazão de $7.2m^3/s$, com altura d'água $1.85m$ no regime uniforme. Em uma determinada seção a largura é reduzida suavemente para $1.70m$ e colocado um degrau de $0.30m$ de altura. Após um trecho curto, o canal é retornado suavemente à largura e altura de fundo originais
Determine o tipo de escoamento, altura d'água e energia específica nas seções anterior (1), na garganta (2) e após sair da transição (3).

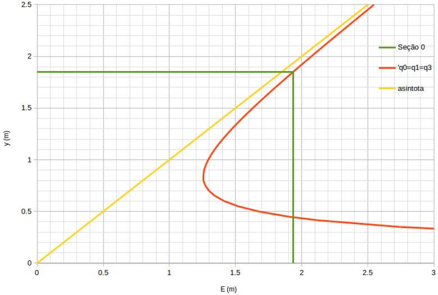
Problema 'clássico': mudança largura e fundo

- Seção 0: Muito a montante da transição
- Seção 1: Logo a montante da transição
- Seção 2: Seção modificada
- Seção 3: Logo a jusante da transição
- Seção 4: Muito a jusante da transição

Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

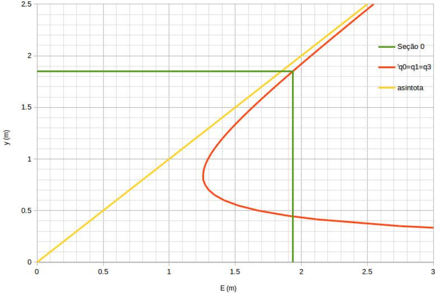
- Seção 0:
  Escoamento fluvial (sabemos por ser fraca declividade, ou poderiamos calcular)
  $E_0 = y_0 + \frac{Q^2}{2gA_0^2} = y_0 + \frac{q_0^2}{2gy_0^2}$
  Adicionalmente, é possível calcular: $y_c, E_c, Fr, y_{alternada} \cdots$



Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

- Seção 0: E_0✓
- Seção 1:
  $E_1 = E_2 + \Delta Z$, mas é preciso saber primeiro E_2 (Como fluvial, estará controlado a jusante)



Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

- Seção 0: $E_0 \checkmark$
- Seção 1: $E_1 = E_2 + \Delta Z = ?$
- Seção 2:
  Se E se mantivesse (alteração 'pequena'), existiria y_2 tal que $E_0 - \Delta Z = E_2 = y_2 + \frac{q_2^2}{2gy_2^2} - \Delta Z$. Pode não existir (indicando um fenomeno diferente), mas é confuso avaliar assim.

Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

- Seção 0: $E_0 \checkmark$
- Seção 1: $E_1 = E_2 + \Delta Z = ?$
- Seção 2:
  Melhor método para análise:
  - Calcular E minima necessária em 2

$$E_{2min} = E_{c2} = y_{c2} + \frac{q_2^2}{2gy_{c2}^2} = \frac{3}{2}y_c = \frac{3}{2}\left(\frac{q_2^2}{g}\right)^{1/3}$$

  - Se $E_0 - \Delta Z \geq E_{c2} \quad \rightarrow \quad E_2 = E_0 - \Delta Z$

Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

- Seção 0: $E_0 \checkmark$
- Seção 1: $E_1 = E_2 + \Delta Z = ?$
- Seção 2:
  Melhor método para análise:
  - Calcular E minima necessária em 2

$$E_{2min} = E_{c2} = y_{c2} + \frac{q_2^2}{2gy_{c2}^2} = \frac{3}{2}y_c = \frac{3}{2}\left(\frac{q_2^2}{g}\right)^{1/3}$$

  - Se $E_0 - \Delta Z \geq E_{c2} \quad \rightarrow \quad E_2 = E_0 - \Delta Z$
  - Se $E_0 - \Delta Z < E_{c2} \quad \rightarrow \quad E_2 = E_{c2}$

Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

- Seção 0: $E_0\checkmark$
- Seção 1: $E_1 = E_2 + \Delta Z = ?$
- Seção 2:
  Melhor método para análise:
  - Calcular E minima necessária em 2

$$E_{2min} = E_{c2} = y_{c2} + \frac{q_2^2}{2gy_{c2}^2} = \frac{3}{2}y_c = \frac{3}{2}\left(\frac{q_2^2}{g}\right)^{1/3}$$

  - Se $E_0 - \Delta Z \geq E_{c2} \quad \rightarrow \quad E_2 = E_0 - \Delta Z$
  - Se $E_0 - \Delta Z < E_{c2} \quad \rightarrow \quad E_2 = E_{c2}$
  - Calcular y_2, com E_2 que corresponde. Cuidado de não supor uma mudança de regime irreal!

Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

- Seção 0: $E_0 \checkmark$
- Seção 1: $E_1 = E_2 + \Delta Z = ?$
- Seção 2:
  Melhor método para análise:
  - Calcular E minima necessária em 2

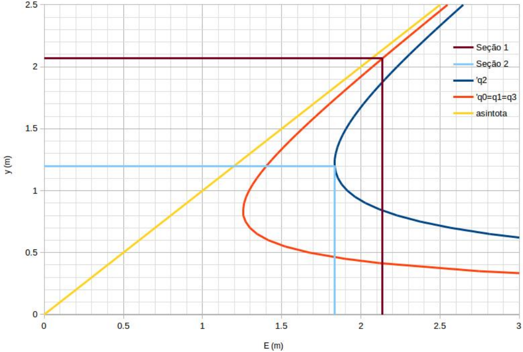
$$E_{2min} = E_{c2} = y_{c2} + \frac{q_2^2}{2gy_{c2}^2} = \frac{3}{2}y_c = \frac{3}{2}\left(\frac{q_2^2}{g}\right)^{1/3}$$

  - Se $E_0 - \Delta Z \geq E_{c2} \quad \rightarrow \quad E_2 = E_0 - \Delta Z$
  - Se $E_0 - \Delta Z < E_{c2} \quad \rightarrow \quad E_2 = E_{c2}$
  - Calcular y_2, com E_2 que corresponde. Cuidado de não supor uma mudança de regime irreal!
  - Calcular $E_1 = E_2 + \Delta Z$, com o E_2 que corresponde

Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

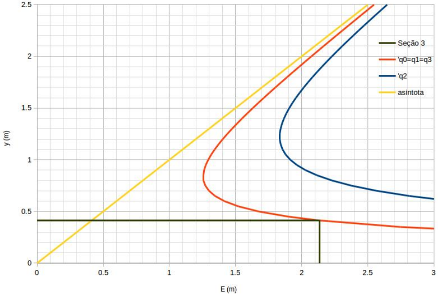
- Seção 0: $E_0 \checkmark$
- Seção 1: $E_1 = E_2 + \Delta Z = ?$
- Seção 2: $E_2 \checkmark \quad \rightarrow y_2 \checkmark \, E_1 \checkmark$



Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

- Seção 0: $E_0 \checkmark$
- Seção 1: $E_1 = E_2 + \Delta Z = ?$
- Seção 2: $E_2 \checkmark \quad \rightarrow y_2 \checkmark E_1 \checkmark$
- Seção 3: $E_3 = E_2 + \Delta Z$
  Cuidado com o novo regime! Calcular y_3 com E_3, regime certo.

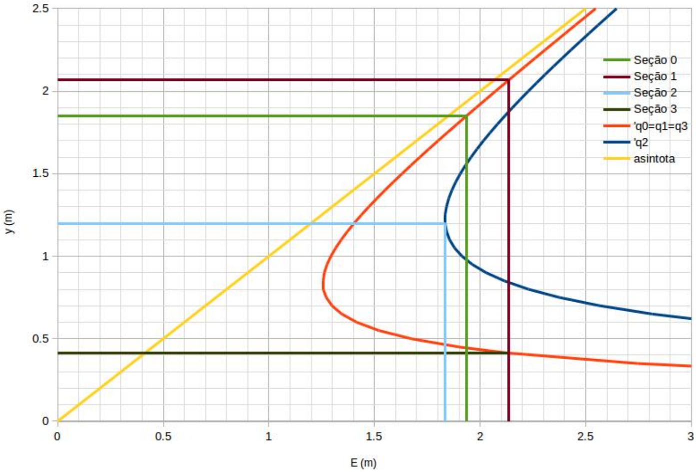


Problema 'clássico': mudança largura e fundo

Todas as seções: $Q = 7.2m^3/s$

- Seção 0: $E_0 \checkmark$
- Seção 1: $E_1 = E_2 + \Delta Z = ?$
- Seção 2: $E_2 \checkmark \quad \rightarrow y_2 \checkmark E_1 \checkmark$
- Seção 3: $E_3 \checkmark \quad \rightarrow y_3 \checkmark$
- Seção 4: Se muito longo, volta a ser uniforme (outro controle)
  Se há mudança de Torrencial a Fluvial $\rightarrow$ Ressalto hidráulico $\rightarrow$ $E_4 \neq E_3$
  Se não há mudança Torrencial a Fluvial, não ressalto, curva suave.

Problema 'clássico': mudança largura e fundo



Reforçando...

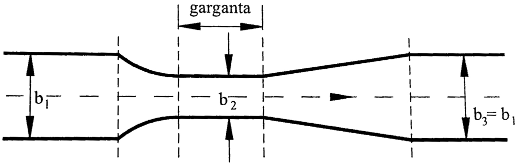
A análises de energia específica para transições permitem a aplicação na prática de estruturas muito comuns para medição de vazão: Calhas medidoras (Venturi ou Parshal) e vertedores de parede espessa.

Seguem as equações dessas estruturas, que podem ser compreendidas completamente com base nos conceitos anteriores.

Calha medidora de vazão

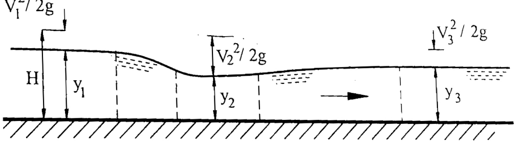
Efeito na altura devido à redução de largura depende de $Q \rightarrow$ medidores de vazão.

- Se redução não faz mudar energia e entrada é fluvial
  Calha Venturi. Comum para irrigação.
- Se redução da largura pasa do crítico $\rightarrow$ seção de controle por crítico, $y_c \rightarrow$ medidores de regime crítico
  Calha Parshall. Em estações de tratamento.



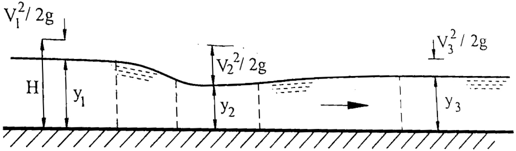
Calha Venturi (medidora de vazão)

Mesmo funcionamento do tubo Venturi. Escoamento fluvial.
Precisa de duas medidas (y_1 e y_2)



Calha Venturi (medidora de vazão)

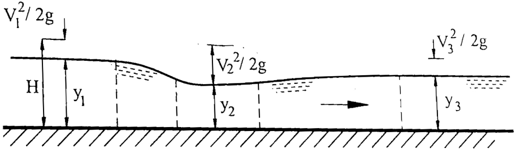
Mesmo funcionamento do tubo Venturi. Escoamento fluvial.
Precisa de duas medidas (y_1 e y_2)



$$y_1 + \frac{Q^2}{2g(b_1 y_1)^2} = y_2 + \frac{Q^2}{2g(b_2 y_2)^2}$$

Calha Venturi (medidora de vazão)

Mesmo funcionamento do tubo Venturi. Escoamento fluvial.
Precisa de duas medidas (y_1 e y_2)



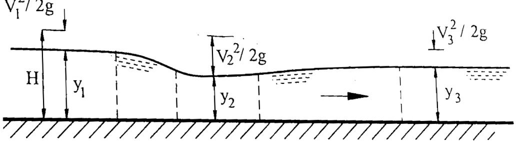
$$y_1+\frac{Q^2}{2g(b_1y_1)^2} = y_2 + \frac{Q^2}{2g(b_2y_2)^2}$$

$$\rightarrow \quad Q = y_2b_2\sqrt{\frac{2g(y_1-y_2)}{(1-(y_2b_2/y_1b_1)^2)}}$$

agregando C_d: $$Q = C_dy_2b_2\sqrt{\frac{2g(y_1-y_2)}{(1-(y_2b_2/y_1b_1)^2)}}$$

Calha Venturi (medidora de vazão)

Mesmo funcionamento do tubo Venturi. Escoamento fluvial.
Precisa de duas medidas (y_1 e y_2)

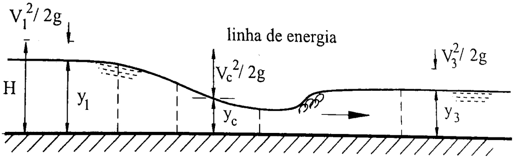


agregando C_d: $$Q = C_d y_2 b_2 \sqrt{\frac{2g(y_1 - y_2)}{(1 - (y_2 b_2 / y_1 b_1)^2)}}$$

C_d: Coeficiente de vazão, por perda de carga e não uniformidade da velocidade. Aproximadamente 0.97

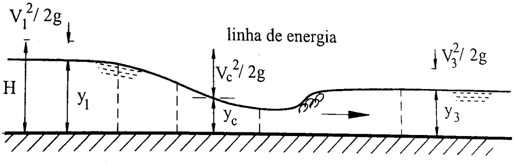
Calha Parshall (calha de onda estacionaria medidora de vazão)

Contração até largura menor à limite $\rightarrow$ mudança de E $\rightarrow y_2 = y_c$
Precisa de somente uma medida, y_1



Calha Parshall (calha de onda estacionaria medidora de vazão)

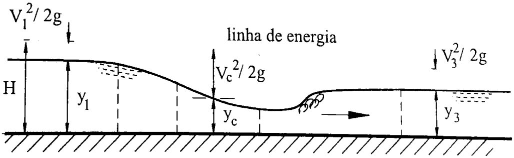
Contração até largura menor à limite $\rightarrow$ mudança de E $\rightarrow y_2 = y_c$
Precisa de somente uma medida, y_1



$$y_1 + \frac{q_1^2}{2gy_1^2} = E_{c2} = \frac{3}{2} y_{c2} = \frac{3}{2}\left(\frac{q_2^2}{g}\right)^{1/3}$$

Calha Parshall (calha de onda estacionaria medidora de vazão)

Contração até largura menor à limite $\rightarrow$ mudança de E $\rightarrow y_2 = y_c$
Precisa de somente uma medida, y_1



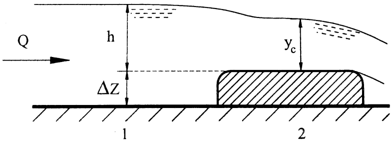
$$y_1 + \frac{q_1^2}{2gy_1^2} = E_{c2} = \frac{3}{2}y_{c2} = \frac{3}{2}\left(\frac{q_2^2}{g}\right)^{1/3}$$

$$\text{se : } \frac{q_1^2}{2gy_1^2} << y_1 \quad \rightarrow q_2 = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}\sqrt{g}y_1^{3/2}$$

$$Q = 1.704\, b_2\, y_1^{3/2}$$

Vertedor de parede espessa

Elevação $\Delta Z > limite$, altera condições a montante e obriga $y_2 = y_c$



$$E_1 = E_c + \Delta Z$$

$$\text{com } \frac{q_1^2}{2gy_1^2} << y_1 \rightarrow E_1 \approx y_1$$

$$(y_1 - \Delta Z) = h = Ec = \frac{3}{2}\left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

$$Q = 1.704\, b\, h^{3/2}$$

Se saída livre e borda suave