

GESTÃO APLICADA DE INCERTEZAS HIDRÁULICAS

ÍNDICE

Tópicos	Responsabilidade/estudo
• Motivação	Aluno
• Objetivo	Aluno
• Relevância	Aluno
• Base legal	Aluno
• Definições	Docente
• Incertezas hidrológicas	Docente
▪ Histórico	Docente
▪ Classificação	Docente
▪ Análise	Docente
• Gestão	Aluno
▪ Gerenciamento	Aluno
▪ Princípios básicos	Aluno
▪ Instrumentos de gestão	Aluno
▪ Processo de gestão	Aluno
• Gestão aplicada de incertezas hidrológicas	Aluno
• Metodologia	Docente
• Exemplos práticos	Docente
• Exemplo 1	Docente
• Exemplo 2	Docente
• Bibliografia de apoio	Docente

Histórico

O histórico da hidrologia e hidráulica é marcada pela observação e quantificação de incertezas. Os engenheiros da antiguidade, entre eles os chineses do século X a.C., os indianos do século IV, os persas do século X a.C. e autores greco-romanos como Anaxágoras de Clazomene (500-428 a.C.), Teofrasto (372-287 a.C.) e engenheiro-arquiteto Marco Vitruvio (33 a.C.- 15 A.D.) atualizaram a versão de ciclo hidrológico a partir das incertezas na observação. Leonardo da Vinci dedicou mais de 8.000 páginas no seu tratado para as incertezas hidráulicas (Fig. 1). Barnard Palissy (1510-1589) e Pierre Perrault (1608-1680) observaram e quantificaram as incertezas dos coeficientes de chuva-deflúvio. A partir do século XVIII, com os princípios hidráulicos de Bernoulli e Chezy e instrumentos como pluviógrafos de cubas e correntômetro as incertezas foram sistematizadas. A cultura hidráulica-hidrológica marcada por engenheiros como, entre outros, Dalton (1802: evaporação), Hagen-Poiseuille (1839: fluxo capilar), Mulvaney (1850: cheias máximas), Ripple (1883: armazenamento), Manning (1891: escoamento em canais abertos), Green e Ampt (1911: infiltração), Hazen (1914: análise de frequência), Horton (1945: drenagem superficial), Gumbel (1941: lei de extremos), permitiram avançar no estudo e classificação de incertezas hidrológicas.



Figura 1. Leonardo da Vinci avaliando as incertezas da velocidade de um rio. Método: vara lastrada boiando na água (peso + bexiga animal inflada), medindo a distância com uma carriola metrada (odômetro) e com canções rítmicas. Fonte: Chow et al (1988).

Classificação

Em geral, as incertezas hidrológicas podem ser divididas conforme a Figura 2 (de Haan, 1977, p.4; Chow et al, 1994; p.438; Chbab et al., 2000; p.F-51):

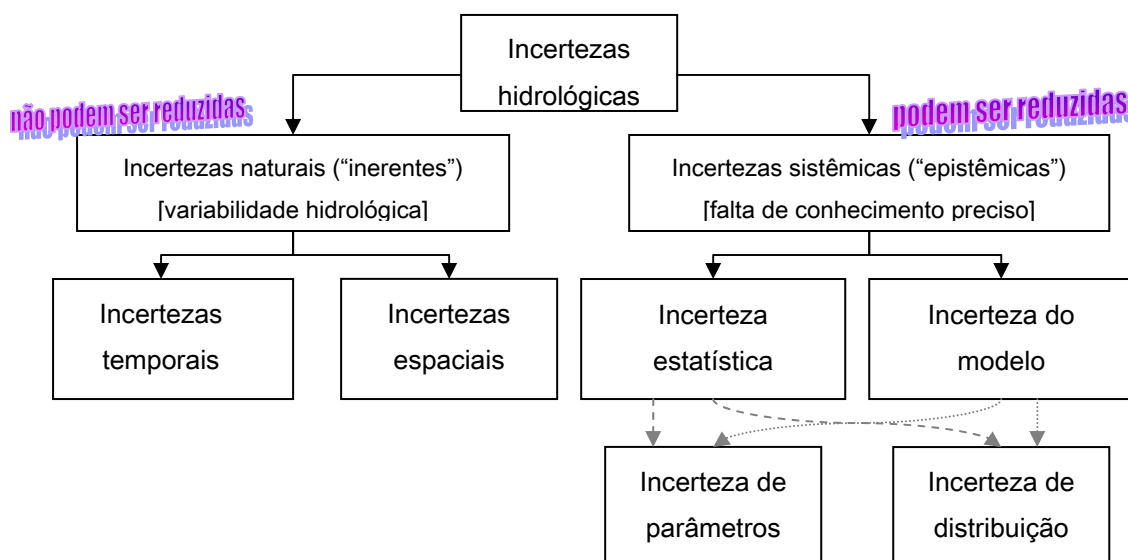


Figura 2. Classificação de incertezas hidrológicas

Incerteza natural (“inerente”): não pode ser reduzida devido à variabilidade aleatória de fenômenos hidrológicos; p.ex. incerteza da magnitude do evento de tempo de retorno (T) no risco natural esperado de probabilidade de falha durante a vida útil (n) da obra hidráulica :

$$\bar{R} = 1 - [1 - \Pr(X \geq x_T)]^n$$

Incerteza sistêmica (“epistêmica”): devido à falta de conhecimento acerca de um sistema hidrológico. Pode ser sub-dividida em: a) incerteza estatística, devido a insuficiente número de dados para testes confiáveis, e b) incerteza do modelo, devido à falta de conhecimento físico do sistema. Estas incertezas sistêmicas podem ser reduzidas e têm uma sub-divisão em:

- **incertezas de parâmetros**: devido à natureza desconhecida dos coeficientes das equações, p.ex. rugosidade do leito do rio,
- **incertezas do tipo da distribuição** probabilística.

Devido a esta natureza, as metodologias usadas para gestão aplicada de incertezas são baseadas em métodos simples como forma aproximativa do problema. Não existem metodologias de quantificação exata de incertezas hidrológicas.

Metodologia

Considerando uma função $f(\cdot)$, a qual depende de um parâmetro x , a expansão da série de Taylor até a primeira ordem pode ser aproximada por:

$$f(x) \cong f(\bar{x}) + \frac{1}{1!} \frac{\partial f}{\partial x} (x - \bar{x}) + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} (x - \bar{x})^2 + \frac{1}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} (x - \bar{x})^3 + \dots$$

O erro resultante na função $f(x)$ é:

$$f(x) - f(\bar{x}) = \frac{\partial f}{\partial x} (x - \bar{x})$$

Usando o operador esperança matemática $E[\cdot]$, a variância do erro é:

$$s_f^2 = E[[f(x) - f(\bar{x})]^2] = E\left[\left[\frac{df}{dx} (x - \bar{x})\right]^2\right] = \left(\frac{df}{dx}\right)^2 s_x^2$$

Assumindo pequenas perturbações da variável ao redor da sua média, pode-se escrever:

$$E[f(x)] \cong f(\bar{x}) = \mu_f$$

Se $f(\cdot)$ é função de várias variáveis independentes x_1, x_2, \dots, x_n , a variância fica:

$$s_f^2 = \left(\frac{df}{dx_1}\right)^2 s_{x_1}^2 + \left(\frac{df}{dx_2}\right)^2 s_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{df}{dx_n}\right)^2 s_{x_n}^2 = \sum_{i=1}^n a_i^2 s_{x_i}^2$$

O coeficiente de variação Ω_f relaciona-se com os coeficientes de variação das variáveis independentes através da equação :

$$\Omega_f^2 \equiv \left(\frac{s_f}{\mu_f} \right)^2 = \left[\sum_{i=1}^n a_i^2 \left(\frac{\bar{x}_i}{\mu_f} \right)^2 \Omega_{x_i}^2 \right]^{1/2}$$

Se $f()$ é função de várias variáveis dependentes x_1, x_2, \dots, x_n , a variância fica:

$$s_f^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{df}{dx_i} \right)^2 s_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n \left(\frac{df}{dx_i} \right) \left(\frac{df}{dx_j} \right) \text{cov}[x_i, x_j]$$

onde $\text{cov}[x_i, x_j]$ representa a covariância entre x_i e x_j , isto é $E[(x_i - x_{oi})(x_j - x_{oj})]$

Problemas práticos

Os exemplos práticos de incertezas hidrológicas, como a quantificação do escoamento (Figura 3 e 4), permitem introduzir a aplicação de incertezas.

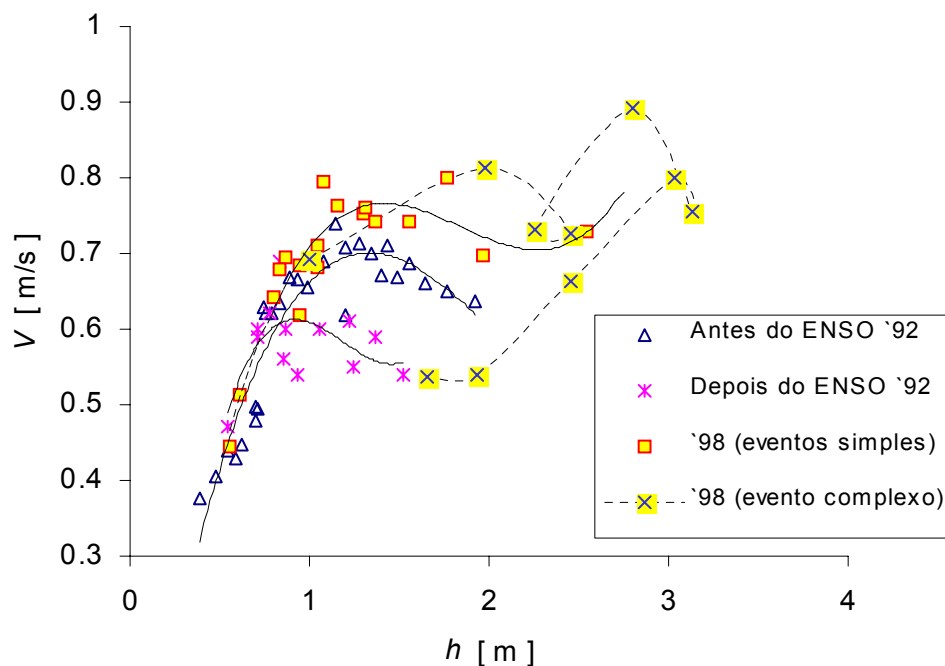


Figura 3- Mudanças da velocidade média V , conforme o nível d'água h da curva chave de bacia de 20 km² e o efeito dinâmico do evento complexo com múltiplos picos.

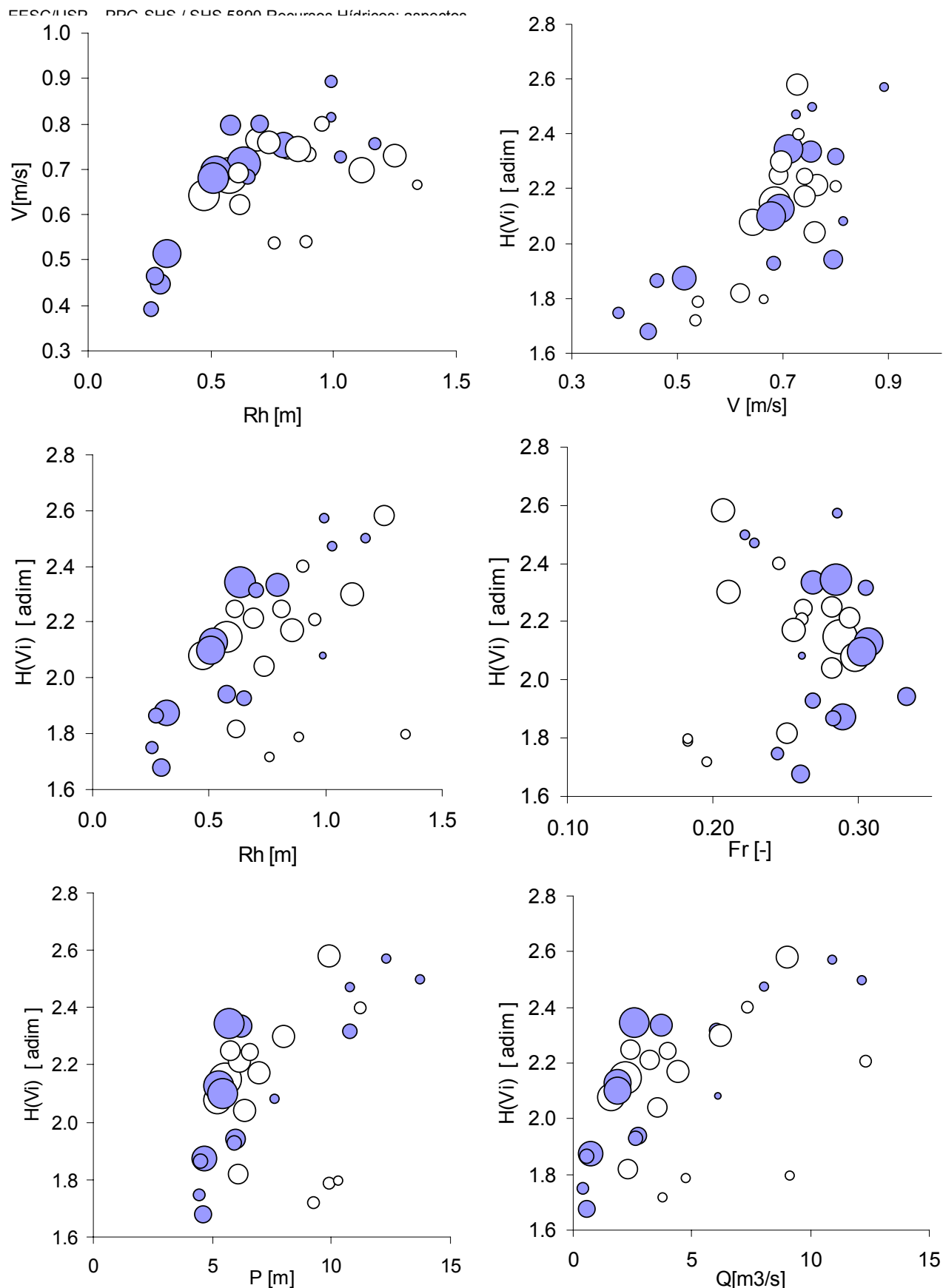


Figura 4 Velocidade média V , raio hidráulico Rh , Froude Fr , perímetro molhado P , vazão Q e informação de cada amostra das velocidades instantâneas $H(Vi)$, para $N_{hQ} = 30$ medições da curva chave. O tamanho dos círculos é proporcional ao tamanho da amostra $N(Vi)$, das medições de transientes durante a ascensão, $\Delta h/\Delta t \geq 0$ (●), e a recessão, $\Delta h/\Delta t < 0$ (○), dos hidrogramas de cheia.

Aplicação 1 – Equação de Manning com profundidade como variável dependente

Para o dimensionamento de um canal calcula-se a profundidade do fluxo “y” para um dado valor de vazão “Q”, um dado coeficiente de rugosidade “n” e uma dada declividade de energia “Sf”, a partir da equação de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2}, \quad (1)$$

sendo A e R a área e o raio hidráulico da seção transversal. Utilizando a equação de propagação da variância temos:

$$s_y^2 = \left(\frac{dy}{dQ} \right)^2 s_Q^2 \quad (2)$$

Demonstra-se que:

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dy} &= \frac{1}{n} S_f^{1/2} \left(\frac{dA}{dy} R^{2/3} + \frac{2}{3} AR^{-1/3} \frac{dR}{dy} \right) = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} \left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dy} + \frac{2}{3} \frac{1}{R} \frac{dR}{dy} \right) \\ \frac{dQ}{dy} &= Q \left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dy} + \frac{2}{3R} \frac{dR}{dy} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Substituindo a (3) na (2), temos:

$$s_y^2 = \frac{s_Q^2}{Q^2 \left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dy} + \frac{2}{3R} \frac{dR}{dy} \right)^2} = \frac{\Omega_Q^2}{\left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dy} + \frac{2}{3R} \frac{dR}{dy} \right)^2}$$

Para incluir as incertezas da declividade e rugosidade a equação fica:

$$s_y^2 = \frac{\Omega_Q^2 + \Omega_n^2 + (1/4)\Omega_{S_f}^2}{\left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dy} + \frac{2}{3R} \frac{dR}{dy} \right)^2}$$

Exemplo 1: um canal retangular de 15 metros de base será dimensionado para uma vazão máxima de 135 m³/s, com uma rugosidade média de Manning de 0,035 e uma declividade de 1%. Os coeficientes de variação para essas variáveis são, respectivamente, de 30%, 15 e 20%. Um novo loteamento residencial com zoneamento orienta que as cotas das casas se localizem em cotas meio metro acima do nível de água do canal. Determinar: a) a incerteza da estimativa da altura de água; b) probabilidade que as residências sejam alcançadas pela inundação.

Solução:

a) Qual é a incerteza na estimativa da altura de água?

a.1) encontra-se o valor de profundidade, convergindo para $y = 2,055$ m:

$$135 = \frac{1}{0,035} (15 \cdot y) \left(\frac{b \cdot y}{b + 2 \cdot y} \right)^{2/3} 0,01^{1/2}$$

a.2) Para um canal retangular é comprovado que (Chow et al, 1988;p.168):

$$\left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dy} + \frac{2}{3R} \frac{dR}{dy} \right) = \frac{5B + 6y}{3y(B + 2y)} = \frac{5 \cdot 15 + 6 \cdot 2,055}{3 \cdot 2,055 \cdot (15 + 2 \cdot 2,055)} = 0,74$$

e, portanto, a equação de propagação de variância fica:

$$s_y^2 = \frac{\Omega_Q^2 + \Omega_n^2 + (1/4)\Omega_{S_f}^2}{\left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dy} + \frac{2}{3R} \frac{dR}{dy} \right)^2} = \frac{(0,3)^2 + (0,15)^2 + (1/4)(0,2)^2}{0,74} = 0,16$$

$$s_y = 0,406 \text{ m.}$$

Resposta: para essa vazão e esses parâmetros, o nível d'água é $2,055 \pm 0,406$ m.

B) Qual é a possibilidade de que as casas sejam alcançadas pela inundação?

As casas serão inundadas se $y > (2,055 + 0,500 = 2,555 \text{ m})$. Se a altura da água do canal estiver distribuída normalmente, a probabilidade é:

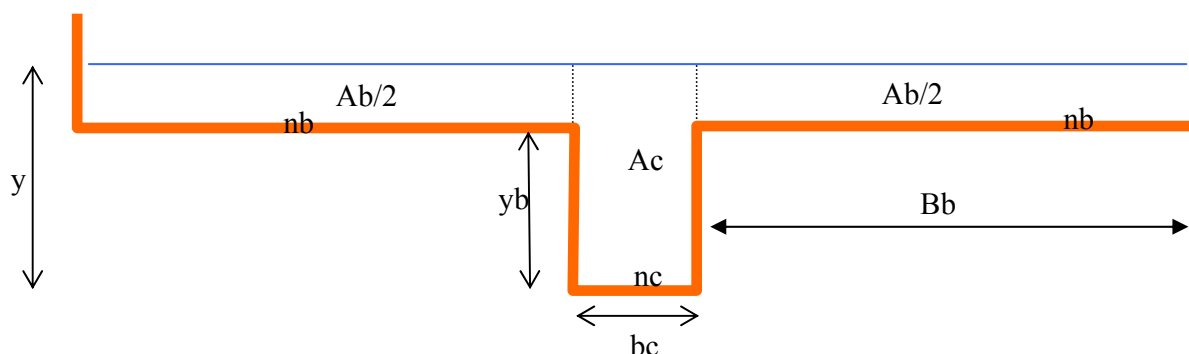
$$\Pr(y > 2,555) = \Pr\left(\frac{y - 2,055}{0,406} > \frac{2,555 - 2,055}{0,406} \right) = \Pr(z > 1,23)$$

$$\Pr(z > 1,23) = 1 - F(1,23) = 1 - 0,8907 = 0,1093 = 11,9\%$$

Resposta: há uma probabilidade de 11,9 % de inundação nas casas.

Aplicação 2 – Equação de Manning com vazão como variável dependente

A vazão de um canal ou de uma estrutura hidráulica é função da profundidade de fluxo, do coeficiente de rugosidade, da declividade do leito e da geometria da seção transversal. A través da equação de *Manning*, puede ser avalido o coeficiente de variação para canais (geometrias) simples e também com planícies de inundação com geometrias compostas (indicando “c”: canal, “b”: planície).



Canal simples:

Capacidade :
$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} = \frac{1}{n} KS_f^{1/2}$$

Coeficiente de variação:
$$\Omega_Q^2 = \Omega_n^2 + \Omega_k^2 + (1/4)\Omega_{S_f}^2$$

Canais compostos, com planícies de inundação simétricas:

Capacidade:
$$Q = \left(\frac{1}{n_c} A_c^{5/3} P_c^{-2/3} + \frac{2}{n_b} A_b^{5/3} P_b^{-2/3} \right) S_f^{1/2}$$

Coeficiente de variação:
$$\Omega_Q^2 = (1/4)\Omega_{S_f}^2 + \Psi^{-2}\Omega_{n_c}^2 + (\Psi - 1)^2 \Psi^{-2} \Omega_{n_b}^2$$

para

$$\Psi = 1 + 2 \left(\frac{n_c}{n_b} \right) \left(\frac{A_b}{A_c} \right)^{5/3} \left(\frac{P_c}{P_b} \right)^{2/3},$$

$\Omega_{A_c}, \Omega_{P_c}, \Omega_{A_b}, \Omega_{P_b}$ muitos pequenos, quando as paredes são regulares.

Exemplo 2: um TAC (Termo de Ajustamento de Conduta) do **Ministério Público** exige revitalização de um riacho urbano, desapropriando as áreas adjacentes até 30 m de cada lado. O Plano de Macro-drenagem da **Prefeitura** somente inclui esse caso quando a geometria do canal é regular; p.ex. seção transversal composta com canal e áreas laterais retangulares para diminuir a possibilidade de erro no cálculo de área e perímetro molhado. O TAC indica que, para atender ao equilíbrio ecológico do rio, o canal principal terá uma largura $b_c = 4\text{m}$ e altura $y = 5\text{m}$. A área lateral de inundação começa para $y > 5\text{m}$. Uma **Consultora** contratada sugere intervalos de variação $n_c = 0,036 \pm 0,005$, $n_b = 0,360 \pm 0,144$ e $S_f = 0,010 \pm 0,002$ m/m. Porém, a **Empreiteira/Construtora** só garante a estabilidade do canal se vazão e velocidade médias não superarem $85\text{ m}^3/\text{s}$ e 5 m/s , respectivamente, incluindo os limites das próprias incertezas. Avalie se há possibilidades de acordo entre **Ministério Público, Prefeitura, Consultora e Construtora**.

Solução:

a) cômputo dos coeficientes de variação: $\Omega_{x_i} \equiv \left(\frac{S_{x_i}}{\bar{x}_i} \right)$

$$\Omega_{n_c} \equiv \left(\frac{S_{n_c}}{\bar{n}_c} \right) = \frac{0,005}{0,036} = 0,15 = 15\%$$

$$\Omega_{n_b} \equiv \left(\frac{S_{n_b}}{\bar{n}_b} \right) = \frac{0,144}{0,36} = 0,40 = 40\%$$

$$\Omega_{S_f} \equiv \left(\frac{S_{S_f}}{\bar{n}_{S_f}} \right) = \frac{0,002}{0,001} = 0,20 = 20\%$$

b) cômputo das variáveis $Ac=f_{Ac}(y)$, $Ab=f_{Ab}(y)$, $Pc=f_{Pc}(y)$, $Pb=f_{Pb}(y)$ e $Q=f_Q(y)$.

c) cálculo do fator $\psi_Q(y)$ e $\Omega_Q(y)$

$$y \leq 5\text{m}, \quad \Psi = 1; \quad \Omega_Q^2 = 0,25 \cdot \Omega_{S_f}^2 + \Omega_{n_c}^2,$$

$$y > 5\text{m}, \quad \Psi = 1 + 2 \left(\frac{n_c}{n_b} \right) \left(\frac{A_b}{A_c} \right)^{5/3} \left(\frac{P_c}{P_b} \right)^{2/3}, \quad \Omega_Q^2 = (1/4)\Omega_{S_f}^2 + \Psi^{-2}\Omega_{n_c}^2 + (\Psi - 1)^2 \Psi^{-2}\Omega_{n_b}^2,$$

Os resultados aparecem na Tabela 1 e Tabela 2. Na Figura 5 são apresentadas as estimativas e incertezas da vazão e velocidade média. Nota-se que próximo ao valor de $y=5$, próximo ao extravazamento, a vazão está compreendida no intervalo 57,8 e 83,2 m^3/s ; e a velocidade média está compreendida no intervalo (2,90;4,16) m/s . Os valores esperados estão na região de segurança necessária para a garantia da obra. Estes resultados indicariam, preliminarmente, que haveria possibilidade de acordo do entre Prefeitura, Ministério Público, Empreiteira e Consultora.

Tabela 1. Procedimento de cálculo da incerteza da vazão.

y (m)	A_c (m^2)	P_c (m)	A_b (m^2)	P_b (m)	Q (m^3/s)	ψ (-)	Ω^2_Q (-)	Ω_Q (-)	S_Q (m^3/s)
1,00	4,0	6,0	0,0	0,0	8,5	1,0000	0,033	0,180	1,5
2,00	8,0	8,0	0,0	0,0	22,2	1,0000	0,033	0,180	4,0
3,00	12,0	10,0	0,0	0,0	37,6	1,0000	0,033	0,180	6,8
4,00	16,0	12,0	0,0	0,0	53,8	1,0000	0,033	0,180	9,7
5,00	20,0	14,0	0,0	0,0	70,5	1,0000	0,033	0,180	12,7
5,25	21,0	14,0	15,0	60,5	79,7	1,0430	0,031	0,176	14,0
5,50	22,0	14,0	30,0	61,0	93,0	1,1257	0,030	0,172	16,0
5,75	23,0	14,0	45,0	61,5	109,3	1,2282	0,030	0,174	19,1
6,00	24,0	14,0	60,0	62,0	128,1	1,3415	0,033	0,181	23,2

Tabela 2. Roteiro de cálculo da incerteza da velocidade média.

y (m)	Q^- (m^3/s)	Q^+ (m^3/s)	dQ^- (m^3/s)	dQ^+ (m^3/s)	V_m (m/s)	V_{m^-} (m/s)	V_{m^+} (m/s)	dV_{m^-} (m/s)	dV_{m^+} (m/s)
1,00	7,0	10,0	1,5	1,5	2,12	1,74	2,50	0,38	0,76
2,00	18,2	26,2	4,0	4,0	2,78	2,28	3,28	0,50	1,00
3,00	30,9	44,4	6,8	6,8	3,14	2,57	3,70	0,57	1,13
4,00	44,1	63,5	9,7	9,7	3,37	2,76	3,97	0,61	1,21
5,00	57,8	83,2	12,7	12,7	3,52	2,89	4,16	0,64	1,27
5,25	65,7	93,8	14,0	14,0	2,21	1,83	2,60	0,39	0,78
5,50	77,0	109,0	16,0	16,0	1,79	1,48	2,10	0,31	0,62
5,75	90,3	128,3	19,1	19,1	1,61	1,33	1,89	0,28	0,56
6,00	105,3	151,3	23,2	23,2	1,53	1,25	1,80	0,28	0,55

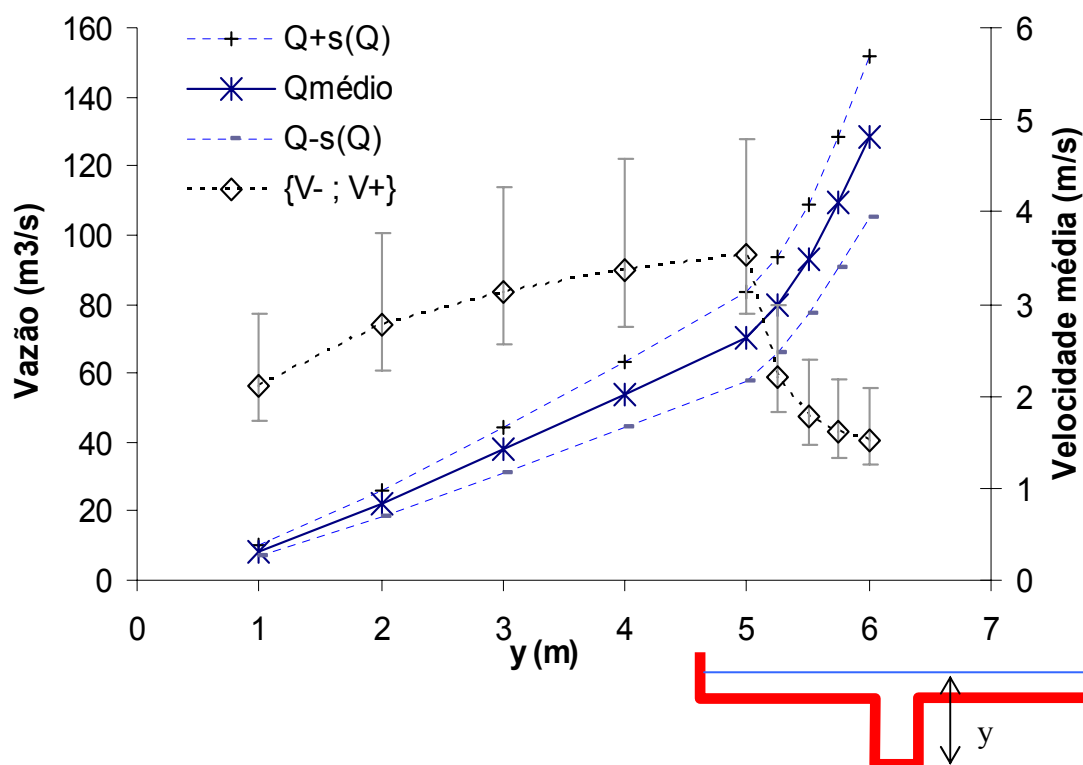


Figura 5. Incertezas da vazão média e velocidade média estimadas.

Comentário: No entanto, as margens de segurança são muito pequenas. Devem-se avaliar estudos de: 1) impermanência do escoamento durante a passagem da cheia (foi usada uma fórmula para regime uniforme e permanente); 2) pode haver correlação entre os parâmetros indicados (o que pode aumentar o intervalo de variação das variáveis); 3) erros construtivos são comuns na fase de execução (geometria não-uniforme), 4) cálculo para leito móvel (existe transporte e deposição de sedimentos ao longo de canais, o que cria incertezas na geometria da seção transversal verdadeira); 5) as áreas laterais normalmente são ocupadas por praças públicas com obstáculos pontuais ao escoamento (criação de vórtices 3D); 6) o escoamento com planície de inundação não é unidimensional (a tensão de corte modifica conforme a altura e geometria, assim como a não linearidade dos coeficientes de rugosidade e linha de energia na medida que varia o nível de água).

Exercícios para resolver

1. Cite exemplos das incertezas hidrológicas que podem e das que não podem ser reduzidas.
2. Um modelo tem duas variáveis x_1 e x_2 correlacionadas. Pela análise de primeira ordem de série de Taylor, demonstre que a incerteza da função f é: $var[f] = (\partial f/\partial x_1)^2 var[x_1] + 2. (\partial f/\partial x_1) (\partial f/\partial x_2) [var[x_1] var[x_2]]^{1/2} + (\partial f/\partial x_2)^2 var[x_2]$.
3. Relatório: para o modelo de Chèzy $Q_i = C_i K_i S f_i^{1/2}$, produto entre a rugosidade C_i , o fator geométrico K_i e a declividade da linha de energia $S f_i$, demonstre que se os fatores são dependentes, a incerteza total da vazão é, para canal simples, e sob condição de transiente durante a passagem da onda de cheia quando está se medindo vazão, é:

$$[CV_M(Q)]^2 = VAR_M(Q)_i + COV_M(Q)_i$$

sendo:

$$VAR_M(Q)_i = [CV(C)]^2 + \frac{1}{4} [CV(Sf)]^2 + [CV(K)]^2,$$

$$COV_M(Q)_i = 2 [CV(C)_i CV(K)_i + \frac{1}{2} CV(C)_i CV(Sf)_i + \frac{1}{2} CV(Sf)_i CV(K)_i],$$

$$CV(C)_i = [(|\Delta h_i| h_i^{-1} + 1)^{1/b} - 1],$$

$$CV(Sf)_i = (Vc_i)^{-1} |(\Delta h_i)| (\Delta t_i)^{-1} (1 - 4/9 (Fr_i)^2),$$

$$CV(K)_i = |(\Delta K_i)| K_i^{-1},$$

h_i : cota média d'água durante da i -ésima medição de vazão,

$Fr_i = V_i (g Rh_i)^{-1/2}$: número de Froude,

V_i : velocidade média na seção,

Rh_i : raio hidráulico,

b o expoente da curva chave expressa por $h_i = (Q/a)^b$ ou $(Q/\hat{\alpha})^{1/\hat{\beta}}$ (Fread, 1988)

Vc_i : celeridade da onda (Knight, 1989).

Bibliografia

Bibliografia para exercícios de incertezas hidrológicas (geral)

- CHOW, V. T, D. MAIDMENT, L. MAYS. 1994. Applied Hydrology. New York: Mc Graw Hill, 583 p.
- CLARKE, R. T. 1994 Statistical modelling in hydrology. Chichester: J. Wiley.
- HAAN, C. T. 1977. Statistical methods in hydrology. Iowa Univ. Press/Ames
- MAYS, L.W. 2001. Water Resources Engineering. New York : John Wiley & Sons
- PORTO, R. M. 2004. Hidráulica Básica. Projeto Reenge. Sao Carlos: EESC – USP
- RIGHETTO, A. M. 1998. Hidrologia e Recursos Hídricos. Projeto Reenge. Sao Carlos: EESC – USP
- TUCCI, C. E. M. 1998. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: ABRH/Ed.UFRGS

Bibliografia para estudo de incertezas hidrológicas (ênfase em enchentes)

- CHANG, H. 1989. Fluvial process in river engineering. New York : Wiley.
- CHBAB, J. M. van NOORTWIJK, M.T DUIJS (2000) Bayesian approach to statistical uncertainties. In: F. Toensmann & M. Kock (eds.) River Flood Defence. Kassel: Herkules Vg.
- CUNGE, A.J., HOLLY Jr, F.M., VERWEY, A. 1980. Practical aspects of computational river hydraulics. London: Pitman Publ., 419p.
- FREAD, J. 1991. Flood routing and Manning “n”. In: T. Yen (ed.) Channel Flow Resistance: Centennial of Manning’s Formula, 421-435..
- HERSCHY, R. W. 1985. Streamflow measurement. London: Elsevier, 553p.
- KNIGHT, D. 1989. Hydraulics of flood channels. In Beven, K., Carling, P. (eds.) *Floods : Hydro-sedimentological and geomorphological implications*, Chichester, Wiley, 83-105.
- KOUTITAS, C. G. 1983. *Elements of computational hydraulics*. London: Pentech Press, 138p.
- LEE, H.-L., MAYS, L. 1984. Hydraulic uncertainties in flood levee capacity. *Journal of Hydraulic Engineering*, 112(10), 928-934.
- MENDIONDO, E. M. 2001. Contribuições da análise de incertezas para a recuperação ambiental de bacias hidrográficas. Tese Dout. Porto Alegre, IPH-UFRGS, Progr. Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 287 p. + an.
- MENDIONDO, E. M., F. TOENSMANN, R. T. CLARKE 2000. River restoration, discharge uncertainties and floods. In: F. Toensmann & M. Kock (eds.) River Flood Defence. Kassel.

Bibliografia sobre necessidade de gestão da incerteza.

- BRASIL. Lei Federal 9.433 (8/1/1997). Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF.
- BRASIL. Lei Federal 10.406 (11/01/2002). Novo Código Civil Brasileiro, Brasília, DF.
- SAO PAULO. Lei Estadual 7.663. (30/12/1991). Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Sao Paulo, SP.
- Da SILVA, D. D., PRUSKI, F. 2000. Gerenciamento de Recursos Hídricos. MMA-SRH/UFV/ABRH

Links

- Departamento de Hidráulica e Saneamento / EESC-USP www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica
- Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies <http://www.floodsite.net/>
- Flood Risk & Map Information FEMA - National Flood Insurance Program <http://www.fema.gov/>