

Curitiba, 23.04.2017

Exercício 2
Mecânica dos Fluidos II
(Parte A: Laboratório Canais)

Tobias Bleninger

Departamento de Engenharia Ambiental (DEA)
Centro Politécnico, Bloco V, Caixa Postal 19011, 81531-990, Curitiba - PR, Brasil

Data de entrega (no max. até 12h): 14.06.2017

(trabalhos atrasados receberão a nota 0)

As questões são distribuídas para 4 grupos

1	2	3	4
BEATRIZ ARNOLD	MATEUS BONETTO	LUAN RUBIO TOZIM	GUSTAVO CARVALHO LOPES DE PAULA
DORIS REGINA FALCADE PEREIRA	ANA LUIZA SLAPNIG MARTINS	EMANUELLE CRAVO	LUIZA NATALINO
NATALIA NADOLNY UNGARATTI	CAROLINA KALINOWSKI DE SOUZA	BEATRIZ CASSEMIRO BISPO	VIVIANE DE LIMA
LUIS FERNANDO SPOLADORE AMARAL	Juliane Aparecida de Camargo	ALESSANDRA POLLI DA LUZ	JESSICA PRISCILLA PEREIRA DA ROCHA
			LUCAS APOENA VERCESTI DO ROSARIO

As **soluções** deverão ser entregues **impressas em forma de relatório e em forma digital (pdf email) e formatação profissional** (texto digitado, equações numeradas, numerações de paginas e figuras, referencias bibliográficas e as figuras, titulo, introdução, resumo, conclusões e discussão e análise detalhada dos resultados).

Adicionalmente haverá uma **apresentação obrigatória dos resultados nas aulas de 1 e 2: 26/06/17, 3 e 4: 28/06/17** com presença obrigatória de todos os alunos (não presença receberá nota 0 no item apresentação e arguição). O arquivo da apresentação (pdf ou ppt, tempo maximo de 20min, ultrapassar tempo custa pontos) deve ser encaminhado por email (ou download) até **23/06/17 (no max. 24h)** e não pode ser modificado posteriormente.

O trabalho escrito (50%), a apresentação (20%), as perguntas aos colegas e a arguição (30%) receberá nota que conta para nota final.

Informações adicionais (software, etc.): <http://people.ufpr.br/~bleninger/mecfluII.htm>

Nomes e assinaturas dos participantes do grupo (garantindo que foi contribuído ao trabalho, sem assinatura: nota 0, *pontuação preenchido pelo professor*):

Nome	Assinatura		Apresentação	Arguição	Total

Pontuação da parte escrita (preenchido pelo Professor):

Item	Pontos	Pontos	
Conteúdo/respostas (60%)			
Discussão/análise (20%)			
Forma (20%)			
Soma			Nota parte escrita

Questões (somente parte Laboratório/Canais)

Todos os grupos: Aula em laboratório didático de mecânica dos fluidos

- Descrevem e explicam e desenhem o sistema experimental do canal onde foi medida durante a aula de laboratório.
- Descrevem e explicam e desenhem os equipamentos de medição que utilizarem.
- Visualizem os dados medidos
- Interpretem e discutam os resultados e métodos de medição.

Grupo 1 e 2: Canal de paredes transparentes e fundo ajustável com 4 cm de largura.

(fazendo e descrevendo o experimento juntos, mas elaborando a parte teórica separadamente, Grupo 1: Teste 1, Grupo 2: Teste 2)

Teste 1ª (Grupo 1)

1 CONTROLE EM ESCOAMENTOS FLUVIAIS

OBJETIVO

Estudo de controles em escoamentos fluviais.

MATERIAIS & EQUIPAMENTOS

Canal de paredes transparentes e fundo ajustável com 4 cm de largura.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- Levantar a comporta de jusante de modo que fique a 8 cm do leito do canal;
- Ligar o conjunto moto-bomba;
- Impor a vazão aproximada de 40 l min^{-1} com auxílio do registro A (utilizar a curva de descarga do medidor de vazão registrando o desnível Δh e a vazão a vazão Q);
- Medir as profundidades do escoamento (h_1 , h_2 e h_3) nas três seções onde estão situados os tubos de estagnação;
- Elevar o fundo do trecho central do canal, criando uma soleira de 2 cm de altura ($Z = 2 \text{ cm}$) e repetir as leituras de profundidades.
- Repetir o passo anterior para $Z = 4 \text{ cm}$, $Z = 6 \text{ cm}$, $Z = 8 \text{ cm}$; $Z = 10 \text{ cm}$ e $Z = 11 \text{ cm}$.
- Apenas para verificação, remover a comporta de jusante para a última situação testada ($Z = 11 \text{ cm}$).

ANÁLISE & DISCUSSÃO

- Calcular a vazão específica pelo canal, em $\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$.
- Calcular (indicando detalhadamente os cálculos) as energias específicas E_1 , E_2 e E_3 , e os números de Froude Fr_1 , Fr_2 e Fr_3 , para as seções 1, 2 e 3 onde foram medidas as profundidades, lembrando que:

$$E = h + \frac{U^2}{2g} = h + \frac{q^2}{2gh^2} \quad (1.1)$$

TESTE	Δh (mm)	Q ($l \text{ min}^{-1}$)	Z (cm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)
1			0,0			
2			2,0			
3			4,0			
4			6,0			
5			8,0			
6			10,0			
7			11,0			

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} = \frac{q}{\sqrt{gh^3}} \quad (1.2)$$

- Calcular a profundidade crítica h_C e a energia mínima E_{min} para o escoamento imposto, lembrando que:

$$h_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (1.3)$$

$$E_{min} = \frac{3}{2} h_C \quad (1.4)$$

- Plotar as curvas $E_1 \times Z$, $E_2 \times Z$ e $E_3 \times Z$ em um gráfico.
- Explicar, com base nos gráficos, o efeito da soleira sobre o nível de água na seção 1 (a montante da soleira). Verificar quando e como a soleira começa a atuar como controle. Explicar também o efeito da soleira sobre o nível a jusante dela.
- Verificar se o escoamento se comporta de acordo com a teoria.

TESTE	Z (cm)	E_1 (m)	E_2 (m)	E_3 (m)	Fr_1	Fr_2	Fr_3
1	0,0						
2	2,0						
3	4,0						
4	6,0						
5	8,0						
6	10,0						
7	11,0						

Teste 1b (Grupo 1)

1 CONTROLE EM ESCOAMENTOS TORRENCIAIS

OBJETIVO

Estudo de controles em escoamentos torrenciais.

MATERIAIS & EQUIPAMENTOS

Canal de paredes transparentes e fundo ajustável com 4 cm de largura.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- (a) Inserir a comporta plana na extremidade de montante do canal e fixar abertura de 30 mm. Abaixar completamente a soleira ($Z = 0$);
- (b) Abaixar completamente a comporta de jusante;
- (c) Impor a vazão aproximada de 80 l min^{-1} com auxílio do registro A (utilizar a curva de descarga do medidor de vazão registrando o desnível Δh e a vazão a vazão Q);
- (d) Medir o nível de água a montante da comporta (N) e as profundidades do escoamento (h_1 , h_2 e h_3) nas três seções onde estão situados os tubos de estagnação e, apenas nesta condição inicial, a profundidade h_{5C} (na seção contraída);
- (e) Elevar o fundo do trecho central do canal, criando uma soleira de 2 cm de altura ($Z = 2 \text{ cm}$) e repetir as leituras de profundidades;
- (f) Repetir o passo anterior para $Z = 4 \text{ cm}$, $Z = 6 \text{ cm}$, $Z = 8 \text{ cm}$ e $Z = 11 \text{ cm}$.

ANÁLISE & DISCUSSÃO

- Calcular a vazão específica pelo canal, em $\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$.
- Tendo em conta os níveis N e h_{5C} medidos a montante e a jusante da comporta no teste 1, calcular a vazão específica teórica aplicando a equação de Bernoulli. Calcular a diferença percentual entre vazão experimental e da vazão teórica. Usar o valor experimental como referência.

$$E = h + \frac{U^2}{2g} = h + \frac{q^2}{2gh^2} \quad (1.1)$$

TESTE	Δh (mm)	Q ($l \text{ min}^{-1}$)	Z (cm)	N (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)
1			0,0				
2			2,0				
3			4,0				
4			6,0				
5			8,0				
6			11,0				

- Usando a vazão específica experimental obtida no início dos cálculos, determinar a profundidade crítica h_C e a energia mínima E_{min} para o escoamento imposto, lembrando que:

$$h_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (1.2)$$

$$E_{min} = \frac{3}{2} h_C \quad (1.3)$$

- Para os 6 testes realizados, determinar a energia específica E_2 e o número de Froude Fr_2 sobre a seção da soleira, usando a vazão experimental para os cálculos.

$Q_{EXPERIMENTAL}$ ($m^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$)	$Q_{TEÓRICA}$ ($m^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$)	Diferença (%)	h_C (m)	E_{min} (m)

- Plotar as curvas $N \times Z$, $h_1 \times Z$, $h_2 \times Z$ e $h_3 \times Z$ em um gráfico.
- Explicar, com base nos gráficos, a influência da soleira sobre os níveis de água a montante e a jusante dela. Explicar, também, o efeito da soleira sobre o nível de água a montante da comporta.

TESTE	Z (cm)	E (m)	Fr
1	0,0		
2	2,0		
3	4,0		
4	6,0		
5	8,0		
6	11,0		

Teste 2ª (Grupo 2)

1 CONTROLE EM ESCOAMENTOS TORRENCIAIS

OBJETIVO

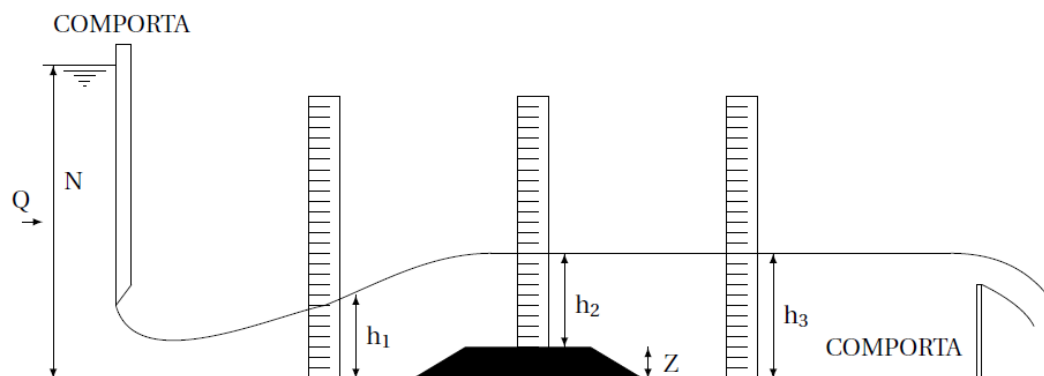
Estudo de controles em escoamentos torrenciais.

MATERIAIS & EQUIPAMENTOS

Canal de paredes transparentes e fundo ajustável com 4 cm de largura.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- (a) Inserir a comporta plana na extremidade de montante do canal e fixar abertura de 30 mm. Abaixar completamente a soleira ($Z = 0$);



- (b) Abaixar completamente a comporta de jusante;
- (c) Impor a vazão aproximada de 80 l min^{-1} com auxílio do registro A (utilizar a curva de descarga do medidor de vazão registrando o desnível Δh e a vazão a vazão Q);
- (d) Medir o nível de água a montante da comporta (N) e as profundidades do escoamento (h_1 , h_2 e h_3) nas três seções onde estão situados os tubos de estagnação e, apenas nesta condição inicial, a profundidade h_{SC} (na seção contraída);

- (e) Elevar o fundo do trecho central do canal, criando uma soleira de 2 cm de altura ($Z = 2$ cm) e repetir as leituras de profundidades;
- (f) Repetir o passo anterior para $Z = 4$ cm, $Z = 6$ cm, $Z = 8$ cm e $Z = 11$ cm.

TESTE	Δh (mm)	Q ($l \text{ min}^{-1}$)	Z (cm)	N (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)
1			0,0				
2			2,0				
3			4,0				
4			6,0				
5			8,0				
6			11,0				

ANÁLISE & DISCUSSÃO

- Calcular a vazão específica pelo canal, em $\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$.
- Tendo em conta os níveis N e h_{SC} medidos a montante e a jusante da comporta no teste 1, calcular a vazão específica teórica aplicando a equação de Bernoulli. Transcrever, ao final dos cálculos, os valores da vazão experimental e da vazão teórica e calcular a diferença percentual entre os dois valores. Usar o valor experimental como referência.

$$E = h + \frac{U^2}{2g} = h + \frac{q^2}{2gh^2} \quad (1.1)$$

- Usando a vazão específica experimental obtida no início dos cálculos, determinar a profundidade crítica h_C e a energia mínima E_{min} para o escoamento imposto, lembrando que:

$$h_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (1.2)$$

$$E_{min} = \frac{3}{2} h_C \quad (1.3)$$

- Para os 6 testes realizados, determinar a energia específica E_2 e o número de Froude Fr_2 sobre a seção da soleira, usando a vazão experimental para os cálculos.
- Plotar as curvas $N \times Z$, $h_1 \times Z$, $h_2 \times Z$ e $h_3 \times Z$ em um gráfico.

$q_{EXPERIMENTAL}$ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$)	$q_{TEÓRICA}$ ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$)	Diferença (%)	h_C (m)	E_{min} (m)

TESTE	Z (cm)	E (m)	Fr
1	0,0		
2	2,0		
3	4,0		
4	6,0		
5	8,0		
6	11,0		

- Explicar, com base nas plotagens efetuadas, a influência da soleira sobre os níveis de água a montante e a jusante dela. Explicar, também, o efeito da soleira sobre o nível de água a montante da comporta.

Teste 2b

1 RESSALTO HIDRÁULICO

OBJETIVO

Estudo do ressalto hidráulico.

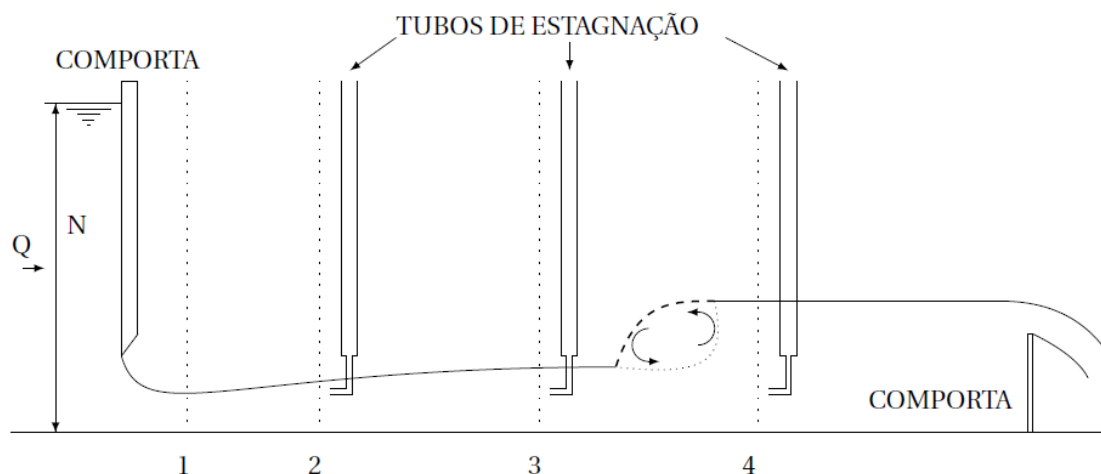
MATERIAIS & EQUIPAMENTOS

Canal de paredes transparentes e fundo ajustável com 4 cm de largura.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Mantendo a comporta de montante na mesma posição da Atividade 11 e a mesma vazão:

- (a) Utilizar a comporta da extremidade de jusante para elevar o nível de água, estabelecendo um ressalto hidráulico, que deve começar na seção onde se situa o segundo tubo de estagnação, como esquematizado abaixo;



- (b) Medir o nível de água a montante da comporta (N) e as profundidades do escoamento (h_1 , h_2 , h_3 e h_4) nas quatro seções indicadas na figura;
- (c) Efetuar as leituras nos três tubos de estagnação.

Δh (mm)	Q (l min ⁻¹)	Profundidade					Leituras nos tubos de estagnação		
		N (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	h_4 (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)

ANÁLISE & DISCUSSÃO

- Usando o valor experimental da vazão anotada acima, calcular o número de Froude nas seções 3 e 4, lembrando que:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} = \frac{q}{\sqrt{gh^3}} \quad (1.1)$$

- Tomando como profundidade de montante do ressalto hidráulico o valor h_3 , registrado no teste, calcular a profundidade conjugada para comparação com o valor h_4 . Usar o valor experimental da vazão.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) \quad (1.2)$$

- Calcular a perda de energia devida ao ressalto hidráulico, usando os valores experimentais da vazão e das profundidades h_3 e h_4 .

$$\Delta E = E_3 - E_4 = \frac{(h_4 - h_3)^3}{4h_3h_4} \quad (1.3)$$

Fr_3	Regime de escoamento	Fr_4	Regime de escoamento

$h_{4\text{exper.}}$ (m)	$h_{4\text{calculado}}$ (m)	Diferença (m ou %)	$\Delta E = E_3 - E_4$ (m)	$\Delta E = L_3 - L_4$ (m)	Diferença (m ou %)

- Esboçar a linha de energia usando os valores de N e de L.
- Fazer o confronto entre os resultados teóricos e experimentais, tecendo considerações sobre as possíveis razões das diferenças.

Grupo 3 e Grupo 4: Canal horizontal de fundo fixo com soleira e estreitamento

(fazendo e descrevendo os experimento juntos, mas elaborando a parte teórica separadamente, Grupo 2: variando as vazões estudadas aleatoriamente, mas diferente do Grupo 1)

1 CONTROLE

OBJETIVO

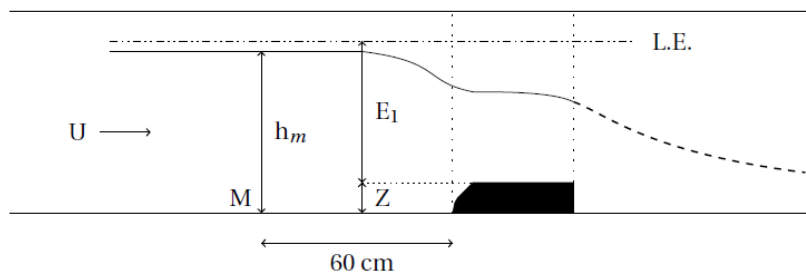
Estudo de controles em escoamentos em canais (estreitamento e soleira).

MATERIAIS & EQUIPAMENTOS

Canal horizontal de fundo fixo com soleira e estreitamento.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- (a) Zerar a ponta linimétrica na posição M, 60 cm a montante da soleira, como indicado na figura abaixo (Com a ponta no fundo do canal, ajustar o Vernier para que a leitura resulte um número cheio: este será o ZERO da ponta linimétrica);



- (b) Posicionar a ponta linimétrica sobre a soleira e determinar sua cota Z_S ;
- (c) Medir a largura L do canal na posição M e a largura B do estreitamento sobre a soleira;
- (d) Reposicionar a ponta linimétrica na posição M e abaixar a comporta instalada no extremo de jusante do canal;
- (e) Ligar a bomba.

TESTE N° 1:

- (a) Utilizando o registro de controle, impor uma vazão tal que a leitura na ponta linimétrica seja de aproximadamente 5,5 cm acima do fundo do canal;
- (b) Cronometrar o tempo necessário para que o hidrômetro complete a passagem de cerca de 500 litros e anotar os valores do tempo e do volume escoado;
- (c) Efetuar a leitura do nível de água a montante da soleira (h_m).

TESTE Nº 2:

- Utilizando o registro de controle, impor uma vazão tal que a leitura na ponta linimétrica seja de aproximadamente 9 cm acima do fundo do canal;
- Cronometrar o tempo necessário para que o hidrômetro complete a passagem de cerca de 800 litros (ΔV) e anotar os valores do tempo e do volume escoado;
- Efetuar a leitura do nível de água a montante da soleira (h_m).

Ao final do teste nº 2, aumentar gradativamente o nível de jusante com auxílio da comporta e observar que, inicialmente, esta não controla o nível de montante; a comporta passará a exercer controle a partir de determinada posição, quando afoga o controle estabelecido pela soleira/estreitamento.

Zero da Ponta Linimétrica (cm)	Z_s (cm)	Largura do canal L (cm)	Largura do estreitamento B (cm)

TESTE	ΔV (l)	t (s)	h_m
1			
2			

ANÁLISE & DISCUSSÃO

- Calcular as vazões Q_1 e Q_2 (em $l\ s^{-1}$) obtidas nos testes 1 e 2 a partir dos valores de volume escoado e tempo transcorrido registrados na medição com o hidrômetro;
- Com a cota da soleira Z_s , larguras B e L e a profundidade h_m , determinadas em cada teste, calcular teoricamente as vazões correspondentes e anotá-las no quadro resumo, confrontando-as com os valores medidos (pelo hidrômetro). Calcular as diferenças percentuais entre os valores teóricos e os experimentais, usando os valores experimentais como referência;

As vazões teóricas devem resultar de:

$$E_m = E_2 + Z_s \quad (1.1)$$

$$h_m + \frac{Q^2}{2gA_m^2} = E_{min} + Z_S \quad (1.2)$$

$$h_m + \frac{Q^2}{2gL^2h_m^2} = \frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{q_2^2}{g}} + Z_S \quad (1.3)$$

$$\frac{1}{2gL^2h_m^2}Q^2 - \frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{1}{gB^2}}Q^{\frac{2}{3}} + (h_m - Z_S) = 0 \quad (1.4)$$

- Calcular os números de Froude **Fr** na posição **M** para os dois testes e identifique o regime de escoamento nessa posição. Usar, para os cálculos, a vazão experimental (hidrômetro);
- Calcular qual seria o nível de montante h_m para a vazão de 6 l s^{-1} ;
- Calcular qual seria o nível de montante h_m no teste 2 se a soleira fosse elevada de 1 cm. Usar, para os cálculos, a vazão experimental (hidrômetro ou bocal).

TESTE	$Q_{EXPERIMENTAL}$ (l s^{-1})	$Q_{TEÓRICA}$ (l s^{-1})	ΔQ (%)	Fr_m	Regimento do escoamento
1					
2					

h_m para $Q = 6 \text{ l s}^{-1} =$	
h_m para $Z_S = Z_{Smedido} + 1 \text{ cm} =$	