

DETERMINAÇÃO DO PERFIL LONGITUDINAL DO RESSALTO HIDRÁULICO LIVRE EM CANAL DIDÁTICO

JOANA SOUZA DE GUSMÃO¹; BRUNA MOREIRA SELL²; GUSTAVO WILLY NAGEL³; JOÃO PEDRO DE MORAIS DA SILVEIRA⁴; PRISCILA DOS SANTOS PRIEBE⁵; MAURÍCIO DAI PRÁ⁶.

¹Universidade Federal de Pelotas – joana.de.gusmao@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – brunamoreirasell@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – gustavoonagel@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – jpdrrslvr@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – priscilaspriebe@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – mdaipra@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

No Brasil ocorrem diversas situações de danos em bacias de dissipação causados pelos efeitos macroturbulentos do escoamento. A ocorrência desses problemas reforça a importância para o dimensionamento hidráulico e estrutural das bacias de dissipação e do conhecimento das características internas e externas do ressalto hidráulico (TEIXEIRA, 2008).

De acordo com Baptista & Lara (2013), o ressalto hidráulico é um fenômeno que corresponde a uma brusca elevação do nível d'água em um canal funcionando em regime permanente, ou seja, quando ocorre a passagem do escoamento supercrítico para subcrítico em uma curta distância, com o aparecimento de grande turbulência e dissipação de energia.

Cerezer (2008) também diz que o escoamento é caracterizado por uma elevação brusca no nível d'água acompanhada de uma instabilidade na superfície com ondulações e entrada de ar do ambiente e por uma consequente perda de energia em forma de grande turbulência. Na passagem do regime supercrítico para subcrítico, ocorre a formação de rolos d'água. A agitação da massa d'água favorece a penetração de ar no escoamento com o aparecimento de bolhas de ar. A turbulência criada no interior do ressalto e o movimento dos rolos produzem a dissipação de energia.

O ressalto hidráulico, atualmente, é aplicado com diferentes finalidades, como misturar produtos químicos em estações de tratamento de água, aerar águas de escoamento e aumentar a carga de um canal, sendo que uma das mais usadas é a dissipação de energia a jusante de estruturas hidráulicas (vertedouros, comportas, canais de macro drenagem), apresentando formas geométricas mais variadas (QUEVEDO, 2008).

Dada a sua importância, distintos autores propuseram a avaliação das profundidades do escoamento, dada a sua relação direta com a dissipação de energia, enfatizando aqui as propostas de Haddad et al. (1992), Equação 1, e de Hager (1992), Equação 2. A primeira por relacionar o ressalto hidráulico a uma onda estacionária e a segunda por considerar a diferença das alturas conjugadas do ressalto hidráulico fazendo relação com o comprimento do mesmo (DAI PRÁ, 2011).

$$\frac{Y}{Y_1} = \left[1 + \left(\frac{Y_2}{Y_1} - 1 \right) \cdot \sin \left(\frac{\pi X}{2 L_j} \right) \right] \quad \text{Equação 1}$$

$$\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = 1,5 \cdot \tanh \left(\frac{X}{L_r} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde,

Y_2 = altura conjugada lenta;

Y_1 = altura conjugada rápida;

X = comprimento de escala horizontal tomado a partir do início do ressalto;

Y = altura do nível d'água para cada comprimento X ;

L_r = comprimento do rolo;

L_j = comprimento total do ressalto.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi comparar os resultados experimentais do ressalto hidráulico em um canal retangular didático com as propostas teóricas dos autores Haddad et al. (1992) e Hager (1992).

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica do curso de Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas. Para a realização do experimento utilizou-se um canal didático retangular constituído de uma bomba e um medidor de vazão do tipo diafragma para a simulação de um ressalto hidráulico, conforme a Figura 1.



Figura 1 - Ressalto hidráulico no canal didático utilizado no experimento.

Através do canal foram medidos os dados experimentais deste estudo. Tendo em vista a grande oscilação e turbulência da superfície d'água, foi feita, visualmente, uma linha média ao longo do perfil longitudinal e, a partir desta, foram medidas as alturas conjugadas (Y_1 e Y_2) com o auxílio de uma trena.

A determinação dos comprimentos total do ressalto (L_j) e do rolo (L_r) foi realizada visualmente, observando-se as bolhas de ar e agitação da água para delimitar o L_r e a distância horizontal até o ponto em que a superfície d'água é normalizada para determinar L_j .

A partir destes comprimentos, calculou-se as alturas Y pelas Equações 1 e 2, comparando-as com as alturas Y , medidas visualmente a cada 5 cm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados na Tabela 1 os valores das alturas encontrados para cada posição horizontal, calculada através da Equação 2 de Hager (1992). Nota-se que a partir da distância de 40 cm, as alturas calculadas são mais próximas, variando

milímetros entre uma e outra, podendo ser relacionado com o L_r igual a 45 cm. A altura conjugada rápida encontrada foi de 3,1 cm no início do ressalto e a altura conjugada lenta foi de 16,5 cm.

Analisando os resultados encontrados através da Equação 1, pode-se observar que a variação entre as alturas diminui a partir dos 30 cm, sendo a altura conjugada rápida igual a 3,1 cm e a altura conjugada lenta de 12,2 cm ao final do ressalto, valor este menor que ao encontrado pelo modelo de Hager (1992).

Para a comparação dos dois modelos teóricos descritos anteriormente, as alturas foram medidas experimentalmente no canal didático. Conforme descrito na Tabela 1, o valor encontrado para a altura conjugada rápida foi igual aos valores encontrados nos modelos teóricos, 3,1 cm. Já a altura conjugada lenta foi de 13,1 cm. Nota-se que a variação diminui a partir da distância de 35 cm.

Tabela 1 – Alturas de água encontradas experimentalmente e alturas calculadas através de Hager (1992) e Haddad et al. (1992) para cada distância X.

X (m)	Hager	Haddad	Experimental
	Y (m)	Y (m)	Y (m)
0,00	0,031	0,031	0,031
0,05	0,048	0,040	0,041
0,10	0,064	0,049	0,06
0,15	0,079	0,057	0,074
0,20	0,094	0,066	0,092
0,25	0,107	0,074	0,105
0,30	0,118	0,082	0,114
0,35	0,129	0,089	0,122
0,40	0,138	0,096	0,125
0,45	0,145	0,102	0,129
0,50	0,152	0,108	0,13
0,55	0,157	0,114	0,131
0,60	0,162	0,118	0,131
0,65	0,165	0,122	0,131

A Figura 2 apresenta a relação entre as alturas de água obtidas através do experimento e as alturas calculadas pelos modelos teóricos.

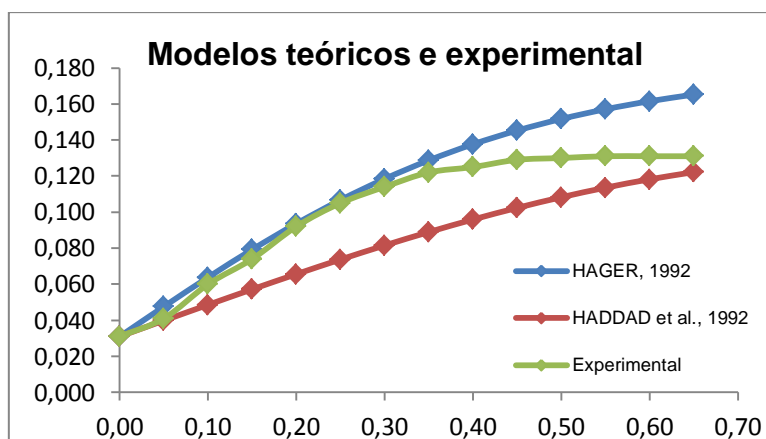


Figura 2 - Comparação entre as alturas de água experimentais e as alturas calculadas pelos modelos teóricos de Hager (1992) e Haddad et al. (1992) com as distâncias horizontais.

De acordo com Figura 2, observa-se que os valores das alturas obtidas experimentalmente tendem a concordar, especialmente no início do ressalto, com a proposta de Hager (1992). Porém, ao final do ressalto, os dados experimentais se aproximam mais com a proposta de Haddad et al. (1992). Percebe-se ainda que os dados experimentais refletem o que as propostas teóricas indicam, ou seja, os valores de Y aumentam para posições mais a jusante em direção ao final do ressalto.

4. CONCLUSÕES

O ressalto hidráulico constitui uma transição descontínua de escoamento, gerando grande oscilação na superfície d'água e fazendo com que seja um fenômeno com dificuldades de medição. Por esse motivo, a determinação das alturas conjugadas podem ser um ponto de incerteza nos métodos teóricos e experimental. Além disso, por se tratar de um canal didático de largura bastante reduzida, os efeitos da parede sobre o escoamento podem ser significativos em relação aos dados experimentais. Do mesmo modo, traçar visualmente a linha d'água do ressalto é um método muito impreciso devido às características do ressalto, pois utiliza-se de critérios visuais buscando comportamentos médios de um fenômeno altamente agitado e turbulento.

Tendo em conta o estudo desenvolvido e sendo apresentadas algumas dificuldades analisadas para a realização do trabalho, surge a importância da continuidade da pesquisa, sendo testadas novas vazões e inclinações do canal, assim como medições a partir da análise de imagens, pela necessidade de informações complementares sobre o ressalto hidráulico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. Belo Horizonte-MG: Editora UFMG, 2014.

CEREZER, S.M. **Uso da teoria dos valores extremos para estimar valores de pressões hidrodinâmicas em um ressalto hidráulico formado a jusante de um vertedouro: o caso da UHE Porto Colômbia**. 2008. 190f. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS.

DAI PRÁ, M. **Uma Abordagem Para a Determinação das Pressões Junto ao Fundo de Dissipadores de Energia por Ressalto Hidráulico**. 2011. 208f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS.

QUEVEDO, D.M. **Análise de pressões junto ao fundo no ressalto hidráulico formado a jusante de um vertedouro através da distribuição bivariada de valores extremos**. 2008. 185f. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS.

TEIXEIRA, E. D. **Efeito da Escala na Previsão dos Valores Extremos de Pressão Junto ao Fundo em Bacias de Dissipação por Ressalto Hidráulico**. 2008. 293f. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS.