

## **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **DETERMINAÇÃO DA ZONA DE IMPACTO DE UM JATO VERTICAL INCIDINDO EM UM CANAL DE FUNDO PLANO**

*Mariane Kempka<sup>1</sup>; Joice Cristini Kuritza<sup>2</sup>, Marcelo Giulian Marques<sup>3</sup> & Luis Augusto Magalhães  
Endres<sup>4</sup>*

**RESUMO** – Este artigo apresenta os resultados de um modelo físico de laboratório, na tentativa de determinar a zona de impacto de um jato retangular vertical incidente em um canal de fundo plano. O conhecimento da zona de impacto, bem como das cargas que atuam na parte inferior do canal, é importante porque grandes descargas, juntamente com altas quedas, causam erosão no leito do rio, podendo desestabilizar as fundações das obras de engenharia civil. Para tanto, foram propostas quatro metodologias, sendo a primeira o conceito ampliado do jato submerso, a segunda propondo a delimitação da zona de impacto pela região onde ocorrem as pressões mínimas, a delimitação da zona de impacto pelos ângulos de difusão do jato. e, finalmente, a proposta de Beltaos (1976), que define a zona de impacto pela posição em que a pressão dinâmica (P) atinge metade do valor da pressão no ponto de estagnação (P<sub>máx</sub>), para perfis de pressão que não exibem valores negativos. No caso em que os perfis têm valores negativos, a zona de impacto é definida por  $(P - P_{mín}) = 0,5 (P_{máx} - P_{mín})$ . Os resultados corroboram os obtidos por Beltaos (1976) e, portanto, uma equação é proposta para o cálculo da zona de impacto do jato.

**Palavras-Chave** – Zona de Impacto, Jato Livre, Pressões Máximas

**ABSTRACT**– This article presents the results of a physical laboratory model in an attempt to determine the impact zone of a vertical rectangular jet incident on a flat bottom channel. Knowledge of the impact zone, as well as of the loads acting on the bottom of the channel, are important because large discharges, coupled with high heads, cause erosion in the river bed, which could destabilize the foundations of civil engineering works. For this purpose, four methodologies were proposed, the first one being the extended concept of the submersed jet, the second proposing the delimitation of the impact zone by the region where the minimum pressures occur, the delimitation of the impact zone by the jet diffusion angles and, finally, the proposal of Beltaos (1976), which defines the impact zone by the position where the dynamic pressure (P) reaches half of value of the pressure at the point of stagnation (P<sub>máx</sub>), for pressure profiles which do not exhibit negative values. In the case in which the profiles have negative values, the impact zone is defined by  $(P - P_{mín}) = 0.5(P_{máx} - P_{mín})$ . The results corroborate those obtained by Beltaos (1976) and, therefore, an equation is proposed for the calculation of the jet impact zone.

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Avenida Professora Laura Pacheco de Bastos, 860. Guarapuava – PR. 42 3035 – 8079, marianekempka@utfpr.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Avenida Professora Laura Pacheco de Bastos, 860. Guarapuava – PR. 42 3035 – 8079, joicekuritza@utfpr.edu.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Avenida Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre – RS. 51 3064 – 6114, mmarques@iph.ufrgs.br

<sup>4</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Avenida Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre – RS. 51 3064 – 6114, endres@ufrgs.br

## INTRODUÇÃO

As estruturas de dissipação de energia constituem, por sua função e dimensões, um dos elementos-chave na concepção de projetos ligados às obras hidráulicas, juntamente com o controle e a regulação das vazões de cheia (RAMOS, 1982; MANSO ET AL., 2009; DAI PRÁ, 2011; PFISTER, LUCAS, HAGER, 2011; BORJA ET AL., 2013 E PEREIRA, 2015).

A dissipação de energia através de jatos livres provenientes de estruturas dissipadoras, tais como saltos de esqui, dissipadores de orifícios e descargas de superfície livre, constituem as estruturas mais usadas em situações onde o rio está localizado em vales estreitos e solo rochoso.

O problema com a utilização da dissipação de jatos livres está no fluxo, que tem uma grande quantidade de energia devido às altas quedas e velocidades, além da proximidade do ponto de impacto, no solo, com a estrutura. Portanto, é necessário dissipar parte dessa energia, pois a maneira como o jato de água impacta a massa rochosa pode gerar pressões dinâmicas muito altas e, conseqüentemente, criar buracos profundos que podem desestabilizar as fundações comprometendo a segurança da estrutura (PINTO, 1994; CASTILLO, 2006; MANSO et al. 2009 e BORJA et al., 2013). Bollaert e Schleiss, (2003), Melo et al. (2006) e Federspiel (2011) complementam ainda que a estabilidade das lajes de concreto ou blocos rochosos no fundo do canal depende do campo de pressão instantânea.

Quanto menor a intensidade do campo de pressão, menor a carga na região de impacto. Esta diminuição no campo de pressão, segundo Puertas e Dolz (2005), Manso et al (2007) e Kempka (2017), pode ser obtida construindo-se uma pequena barragem para elevar o nível de água a jusante ou por pré-escavação no local do impacto. Melo, Pinheiro e Ramos (2006) concluem que uma análise de forças hidrodinâmicas pode auxiliar na concepção de lajes de concreto que revestem o fundo da bacia.

Beltaos (1976) ressalta que, nas regiões mais distantes do ponto de impacto, as pressões não apresentam gradientes elevados e, nessa região, o fluxo apresenta um comportamento semelhante ao dos jatos de parede. No entanto, do ponto de vista do projeto, a zona de influência e o comprimento da zona de impacto são desconhecidos.

Este estudo tem como objetivo investigar o alcance de impacto do jato através de medidas de pressão e propor uma metodologia para sua determinação, além de compará-lo com o proposto por Beltaos (1976).

A compreensão do campo de pressão, especialmente no ponto de impacto ou de estagnação, é importante para o projeto de lajes (soleiras de fundo) e também na estimativa da profundidade da fossa de erosão. Assim, há vários anos, pesquisadores de todo o mundo dedicam-se ao estudo das pressões induzidas pelo impacto de jatos com o objetivo de desenvolver uma metodologia para prever as pressões de atuação na parte inferior da fossa, como exemplos disso podem ser

localizados Cola (1965), Aki (1969), Beltaos (1976), Hartung e Hausler (1973), Castillo (1989), Puertas (1994), Castillo (2002), Fiorotto, Barjastehmaleki e Caroni, (2016) e Kempka (2017).

É importante ressaltar que, apesar de muitos autores se dedicarem a este estudo, somente no século XXI, com o advento da tecnologia, a aquisição e o registro de resultados foram mais precisos. Além disso, os modelos que subsidiaram os estudos dos autores têm pouco em comum, o que muitas vezes limita o uso dos resultados.

Por outro lado, o uso de parâmetros adimensionais para a análise dá aos resultados um caráter universal, que dentro da faixa de valores testada permite seu uso no nível do projeto. Nesta situação, é unânime o uso do número adimensional de Euler, conhecido na hidráulica como coeficiente de pressão ( $C_p$ ), calculado de acordo com a equação 1.

$$C_p = \frac{[(P - P_{ATM})/\gamma] - h}{V_j^2 / (2 \cdot g)} \quad (1)$$

Onde:  $P$  é pressão (Pa);  $P_{ATM}$  é a pressão atmosférica (Pa);  $\gamma$  é o peso específico da água ( $N/m^3$ );  $h$  é a espessura do colchão de água (m);  $V_j$  é a velocidade do jato na entrada do colchão de água (m/s);  $g$  é a aceleração gravitacional ( $m/s^2$ ).

No intuito de identificar a zona de impacto, Beltaos (1976), por meio de 10 experimentos em escala reduzida, variou o ângulo de impacto do jato ( $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $60^\circ$ ) e número de Reynolds entre 8.550 e 12.000, propôs que, para perfis de pressão, na região de impacto do jato, que não exibissem valores negativos, a zona de impacto ( $b_{inf}$ ) poderia ser definida pela distância do ponto de estagnação ( $y$ ), onde o valor da pressão dinâmica ( $P$ ) atinge metade do valor da pressão máxima de trabalho ( $P_{max}$ ), ou seja,  $P = 0,5P_{max}$ . Para os casos em que os perfis de pressão apresentem valores de pressão que são menores que zero ( $P < 0$ ), o autor propõe que  $b_{inf}$  é a distância onde a igualdade a seguir é satisfeita:  $(P - P_{mín}) = 0,5(P_{max} - P_{mín})$ .

## METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados no modelo físico de um canal de 10 metros de comprimento e 0,4 metros de largura, localizado no Laboratório de Obras Hidráulicas (IPH / UFRGS). O bocal retangular através do qual o jato foi liberado tinha uma largura de 400 mm, uma espessura de 25 mm (Bt) e uma distância de 920 mm (H) da parte inferior do canal (Figura 1).

Os perfis de pressão obtidos da incidência do jato foram registrados utilizando-se transdutores de pressão localizados na linha central do fundo do canal, espaçados de 75 mm. Os testes totalizaram 20 condições diferentes, nas quais a vazão ( $Q$ ), a espessura do colchão de água ( $h$ ) e a Distância da superfície de água até a saída do bocal ( $Z = H - h$ ) foram variadas. Cada ensaio foi registrado por 5 minutos com posterior análise de imagem. O tempo para adquirir as pressões instantâneas foi de 10 minutos a uma frequência de 128 Hz.

As descargas de teste, os níveis de água a jusante e os números característicos adimensionais utilizados no estudo, são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos ensaios.

Vazão (m³/s)	Submergência (Equação 2)		Espessura do colchão da água	Distância da superfície de água até a saída do bocal	Fr <sub>1</sub> (Equação 3)
Q (m³/s)	S	H/Bt	h (m)	(H-h)	-
0,050	1,5	14,8	0,37	0,55	14,23
	2	19,6	0,49	0,43	
	2,5	24,8	0,62	0,30	
0,0427	1	8,4	0,21	0,71	12,12
	1,5	12,4	0,31	0,61	
	2	16,8	0,42	0,50	
	2,5	20,8	0,52	0,40	
0,0366	1	7,2	0,18	0,74	10,35
	1,5	10,8	0,27	0,65	
	2	14,4	0,36	0,56	
	2,5	17,6	0,44	0,48	
0,030	1	6	0,15	0,77	8,51
	1,5	8,8	0,22	0,70	
	2	11,6	0,29	0,63	
	2,5	14,4	0,36	0,56	
0,025	0	0	0,00	0,92	7,12
	1	4,8	0,12	0,80	
	1,5	7,2	0,18	0,74	
	2	9,6	0,24	0,68	
	2,5	12	0,30	0,62	

$$S = \frac{h}{h_2} \quad (2)$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} \quad (3)$$

Onde: h é a espessura do colchão de água; h<sub>2</sub> é a altura conjugada lenta, correspondente ao ressalto hidráulico clássico; V<sub>1</sub> é a velocidade na entrada do colchão de água; h<sub>1</sub> é a altura conjugada rápida e g é a aceleração gravitacional.

A espessura do colchão de água (h<sub>2</sub>), medida por meio de um piezômetro, foi imposta através de uma comporta localizada a 3 m do ponto de impacto do jato. A partir da altura h<sub>2</sub>, medida, para cada vazão testada, a altura (h<sub>1</sub>) foi calculada de acordo com a equação de Bélanger, equação 4.

$$h_1 = \frac{h_2}{2} \cdot [\sqrt{1 + 8 \cdot Fr_2} - 1] \quad (4)$$

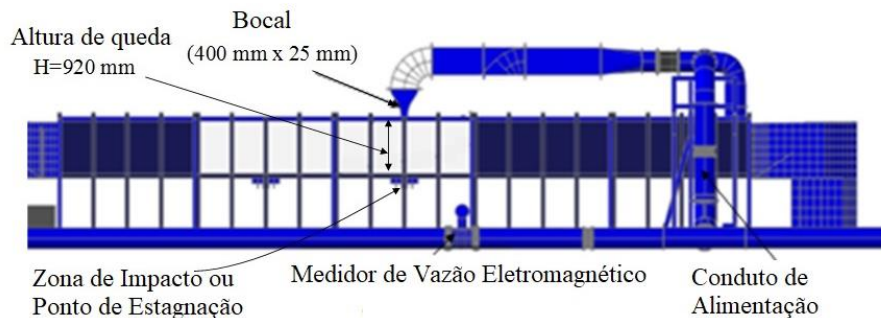


Figura 1 – Esquema do modelo físico utilizado na pesquisa.

(FONTE: Arquivo do Laboratório de Obras Hidráulicas)

Para a determinação da zona de impacto, 4 propostas foram analisadas, conforme:

- Proposta 1 – baseada em Pinto (1994). O autor ressalta que a profundidade em que não ocorrem mais pressões dinâmicas determina o comprimento do jato submerso. Assim, este conceito foi estendido para a zona de impacto do jato. A posição  $y$ , para a situação em que a pressão dinâmica era nula ( $P_d = 0$ ), determinaria o valor de  $b$ .
- Proposta 2 – A zona de impacto do jato  $b$  seria definida pela posição  $y$ , onde a pressão dinâmica apresentava o menor valor ( $P_{d\text{mín}}$ ).
- Proposta 3 – A zona de impacto do jato ( $b$ ) seria definida a partir da análise do ângulo de propagação do jato. A partir das filmagens dos ensaios, foram selecionadas 5 imagens (1 para cada minuto). Esse número está ligado ao número mínimo de imagens a serem analisadas, de modo que a média das medições não foi alterada. A partir dessas imagens, foi medido, através do software AutoCAD, o ângulo de propagação do jato (Figura 2). O valor de  $b$  foi determinado por meio da geometria.
- Proposta 4 (Beltaos, 1976) – o autor recomenda a igualdade  $(P - P_{\text{mín}}) = 0,5 (P_{\text{d\text{máx}}} - P_{\text{mín}})$ , na qual a largura seria então definida pela distância  $b$  que satisfaz a igualdade.

Para comparação dos resultados, foram utilizados elementos adimensionais expressos pelas equações 5 e 6.

$$C_p = \frac{P_{d\text{máx}}}{\frac{\gamma}{V_j^2 / (2 \cdot g)}} \quad (5)$$

$$\zeta = \frac{b}{(H - h)} \quad (6)$$

Onde:  $P_{d\text{máx}}$  é a pressão dinâmica no ponto de impacto (Pa);  $\gamma$  é o peso específico da água ( $\text{N}/\text{m}^3$ );  $V_j$  é a velocidade do jato na entrada do colchão d'água (m/s);  $g$  é a aceleração gravitacional ( $\text{m}/\text{s}^2$ );  $\zeta$  é o elemento adimensional que caracteriza a zona de impacto (-);  $b$  é a largura da

influência do jato (m); H é a distância vertical entre o bocal e a parte inferior do canal (m); h é a espessura do colchão de água (m).

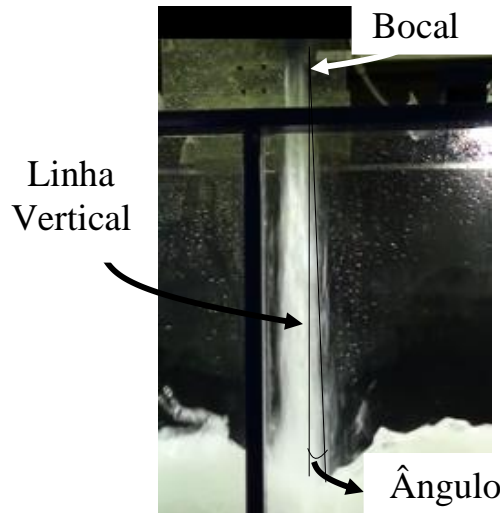


Figura 2—Medição do ângulo de dispersão do jato para  $Fr_1 = 10.35$ .

## RESULTADOS

A figura 3 mostra o comportamento do coeficiente de pressão ( $C_p$ ) no ponto de impacto do jato, em função da relação entre a espessura do colchão da água ( $h$ ) e a espessura do jato ( $B_t$ ), somado aos resultados obtidos de Alberston (1950), Cola (1965), Castillo (1989), Gates (1994), Ervine et al. (1997) e Castillo (1989). Quanto aos resultados desta pesquisa, é possível identificar um patamar em torno de 0,6 para a posição  $h/B_t = 5$ . Esse patamar corresponde aos respectivos valores de pressão para submergências 0 (zero) e 1, o que permite a conclusão que não há amortecimento significativo para colchões de água abaixo da submersão 1. À medida que o colchão de água cresce, o valor de  $C_p$  diminui exponencialmente. Ainda, conforme mostrado na Figura 3, o conjunto de dados permite verificar que os resultados apresentam o mesmo comportamento que os dados oriundos dos estudos de outros autores, especialmente Castillo (1989).

Deve-se notar que, para a submergência 1, foi utilizada a pressão média, ou seja, a espessura do colchão de água não foi subtraída da pressão medida. O ajuste proposto é expresso pela Equação 7 e válido para  $h / B_t \geq 5$  com  $R^2 = 0,88$ .

$$C_p = e^{-0,095 \cdot \frac{h}{B_t}} \quad (7)$$

Onde:  $h$  é a espessura do colchão da água (m);  $B_t$  é a espessura do jato (m).



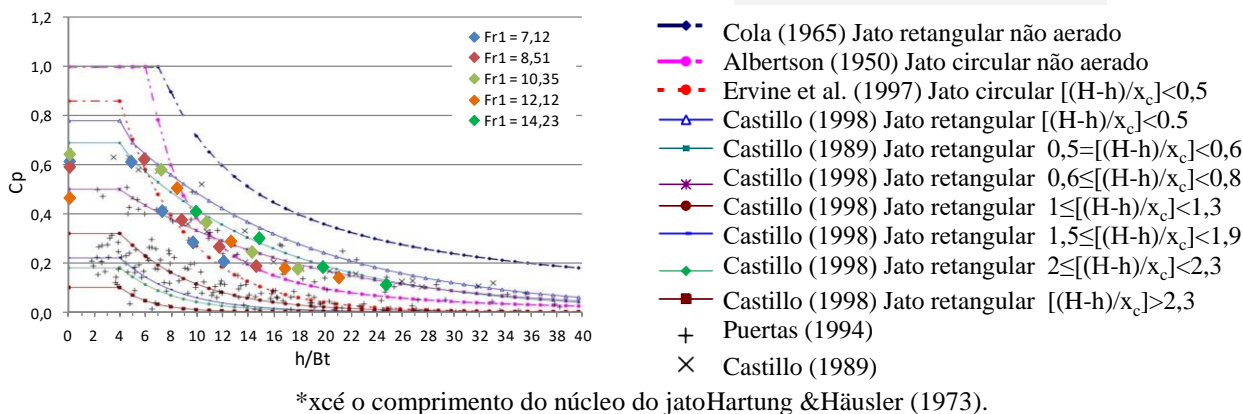


Figura 3—Comparação entre os resultados da presente pesquisa com os resultados dos demais pesquisadores citados.

(FONTE: adaptado de Castillo, 2006)

As Figuras 4a e 4b mostram os resultados obtidos com as propostas 1 e 2, respectivamente. A Figura 5 apresenta uma comparação entre os resultados obtidos com a proposta 3 e a recomendação de Beltaos (1976). Os resultados permitem constatar que as propostas 1 e 2 apresentaram comportamento semelhante, porém, com valores diferentes dos encontrados por Beltaos (1976). A proposição 3 apresentou valores e tendências iguais. Deve-se notar que à medida que a submersão aumenta, a relação  $b/(H-h)$  aumenta e a pressão dinâmica máxima diminui ( $P_{d\text{máx}}$ ). Isso pode ser explicado pelo ângulo de espalhamento do jato. Quando o jato entra no colchão de água, o ângulo de espalhamento aumenta, aumentando também a zona de impacto. Neste estudo, o ângulo médio de entrada do jato foi de  $2^\circ$ . No entanto, deve-se notar que, mesmo que a zona de impacto aumente, as pressões dinâmicas são atenuadas pelo colchão de água.

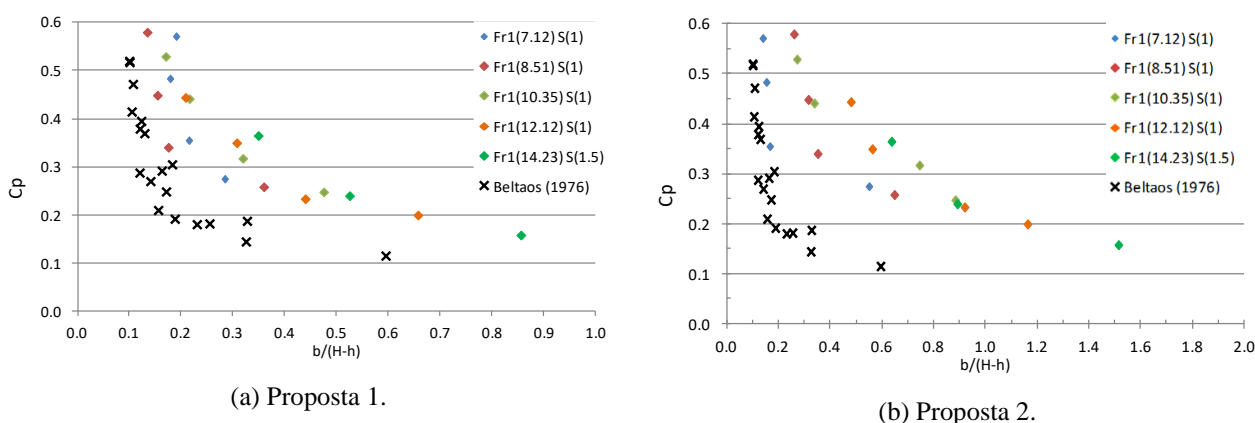


Figura 4 – Comparação entre os elementos adimensionais obtidos com as propostas 1 (a) e 2 (b) com os valores indicados por Beltaos (1976).

A partir da análise, é possível verificar que os resultados estão de acordo com a proposta de Beltaos (1976). Como mencionado acima, o ângulo de espalhamento aumenta à medida que o jato entra no colchão de água, aumentando assim a zona de impacto. Da mesma forma que as propostas 1 e 2, o uso deste resultado é limitado ao comprimento do jato submerso. Se o comprimento do jato

submerso for menor que a espessura do colchão de água, não há razão para calcular a zona de impacto, pois as pressões dinâmicas e as flutuações de pressão não atingirão o fundo do canal.

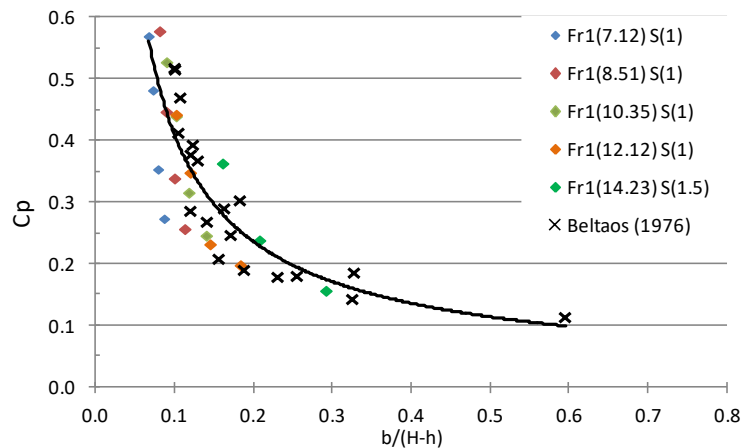


Figura 5 – Comparação entre os adimensionais de acordo com a proposta 3 e os indicados por Beltaos (1976).

O terceiro procedimento corrobora as sugestões de Beltaos (1976), quanto à determinação da zona de impacto do jato. Assim, para facilitar o uso dos resultados, é indicado o ajuste expresso pela Equação 8.

$$\frac{\frac{P_{m\acute{a}x}}{\gamma}}{V_j^2/2 \cdot g} = \frac{1}{16} \cdot \left(\frac{b}{H-h}\right)^{-0.8} \quad R^2 = 0.8 \quad (8)$$

Deve-se notar que a equação é válida para o intervalo de  $0,1 \leq b / (H-h) \leq 0,6$  com um coeficiente de determinação igual a 0,8. A determinação da zona de impacto em função das pressões dinâmicas com as propostas 1 ( $P_d = 0$ ) e 2 ( $P_{min}$ ) obteve o mesmo resultado. Essas sugestões são mais conservadoras que as recomendadas por Beltaos (1976) e mais conservadoras que a proposta 3. A zona de impacto obtida através da medição dos ângulos de espalhamento apresentou o mesmo comportamento sugerido na bibliografia.

## CONCLUSÕES

A zona de impacto de um jato retangular vertical em um canal de fundo plano foi avaliada de acordo com o perfil de pressão longitudinal obtido em um modelo de laboratório. Os resultados permitem concluir que:

- no ponto de impacto, o parâmetro adimensional apresenta o valor de 0,6, permanecendo constante até a posição  $h/Bt = 5$ , quando decai exponencialmente.
- a área de impacto, em função das pressões dinâmicas com as propostas 1 ( $P_d = 0$ ) e 2 ( $P_{min}$ ), obtiveram os mesmos resultados. Tais sugestões são mais conservadoras que as recomendadas por Beltaos (1976);
- a zona de impacto, a partir dos ângulos de dispersão, produziu o mesmo comportamento sugerido na bibliografia. Portanto, os resultados confirmam as recomendações de Beltaos (1976).



A fim de promover o uso desses resultados, os autores recomendam o uso da Equação 8 para a predição das pressões dinâmicas em função da altura da queda para o fundo (H-h). Portanto, é possível analisar e verificar a necessidade de uma pré-escavação, visando minimizar as pressões dinâmicas.

**AGRADECIMENTOS** - Os autores agradecem ao apoio financeiro de Furnas Centrais Elétricas e da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao CNPq pela bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS

ALBERSTON, M. et al. *Diffusion of submerged jets*. Transactions of The ASCE. Paper n. 2409. p. 639-664. 1948.

AKI, S. *Estudio de la eficiencia de los colchones de agua em relación a los chorros libres*. J. Inst. Investigación de lãs Cetrales Hidroeléctricas, 1969.

BELTAOS, S. *Oblique impingement of plane turbulent jets*. Journal Of Hydraulic Engineering: ASCE, Reston, v. 102, n. 9, p.1177-1192, set. 1976. Mensal.

BOLLAERT, E.; SCHLEISS, A. *Scourof rock due to the impact of plunging high velocity jets Part I: A state-of-the-art review*. Journal of Hydraulic Research. p. 451-464. 24 abr. 2003.

BORJA, J. G. et al. *Energia Residual a Jusante de vertedouro tipo salto esqui*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p.205-2014, jul. 2013. Trimestral.

CASTILLO, L. G. *Metodología experimental y numérica para La caracterización del campo de presiones em los disipadores de energía hidráulica*. Aplicación al vertido libre en presas bóveda. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya (Espanya),214 f., 1989.

CASTILLO, E. L. G. *Parametrical analysis of the ultimate scour and mean dynamic pressures at plunge pools*. In: International Workshop on Rock Scour due to High-velocity Jets. 2002, Lousanne. Proceedings of International Workshop on rock scour due to high-velocity jets. Lisse: Schleiss-bollaert, 2002. v. 1, p. 1 - 11.

CASTILLO, E. L. G. *Aerated jets and pressure fluctuation in plunge pools*. 2006. Philadelphia. 7<sup>th</sup> In

COLA, R. *Energy Dissipation of High Velocity Vertical Jet Entering a Basin*. Proceeding softhe 11th IAHR. Congress, Leningrad. 1965.

DAI PRÁ, M. Uma abordagem para determinação das pressões junto ao fundo de dissipadores de energia por ressalto hidráulico. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia, 208 f., 2011.

ERVINE, A.; et al. (1997). Pressure fluctuations on plunge pool floors. Journal Hydraulic Research, 35(2): 257-279.

FEDERSPIEL, M.P., 2011. Response of an Embedded Block Impacted by High-Velocity Jets. PhD Thesis. École Politechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.

FIOROTTO V.; BARJASTEHMALEKI, S. and CARONI E. Stability Analysis of Plunge Pool Linings. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*. Technical Papers, 2016, 142 (11): 1 – 11.

HARTUNG, F.; HÄUSLER, E. Scours, stilling basins and downstream protection under free overfall jets at dams. In: Congresso Internacional De Grandes Barragens, 11º, ICOLD, Madrid, Espanha, 1973. Transactions of the XI International Congress on Large Dams. Madrid: ICOLD, 1973. Question 41, Rep. 3, p. 39-56.

KEMPKA, M. *Caracterização do escoamento provocado pela incidência de um jato vertical em um fundo plano*. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 179 f., 2017.

MANSO, P. F. de A. *The influence of pool geometry and induced flow patterns in rock scour by high-velocity plunging jets*. Thèse présentée à la faculté Environnement naturel, architectural et construit (ENAC) pour l'obtention du grade de Docteurs Sciences, 345 f., 2006.

MANSO, P. A.; BOLLAERT, E.; SCHLEISS, A. J. *Influence of Plunge Pool Geometry on High-Velocity Jet Impact Pressures and Pressure Propagation inside Fissured Rock Media*. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2009, 135(10): 783–792.

MELO, J. F.; PINHEIRO, A. N.; RAMOS, C. M. *Forces on plunge pool slabs: influence of joints location and width*. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 132(1): 49-60.

PEREIRA, G. M. *Projeto de Usinas Hidrelétricas passo a passo*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PINTO, L. C. S. *Estudo teórico-experimental das pressões dinâmicas desenvolvidas no fundo de pré-escavações a jusante de estrutura tipo Salto Esqui*. Tese de Doutorado Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP, Brasil. 376 páginas, 1994.

PFISTER, M., LUCAS, J., HAGER, W.H. *Effect of pre-aerated approach flow on deflector-generated jets*. In 34<sup>th</sup> IAHR World Congress. Brisbane: 2011. (Jul).

PUERTAS, J. *Critérios hidráulicos para el diseño de cuencos de disipación de energia en presas bóveda con vertido libre por coronación*. Tesis presentada para la obtención Del grado de Doctor pela Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. 1994.

PUERTAS, J. DOLZ, J. *Plunge pool pressures due to a falling rectangular jet*. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*. Technical Notes. 404 - 407 p. 2005

RAMOS, C. Matias. *Estruturas de Dissipação de Energia por Jatos Cruzados: Critérios de Dimensionamento*. Lisboa: Ministério da Habitação, Obras Públicas e Transportes – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1982. 17 p. (Memória n° 577).