

COMPARAÇÃO DA DISSIPAÇÃO DE ENERGIA AO LONGO DE UMA CALHA EM DEGRAUS COM AERAÇÃO NATURAL E AERAÇÃO FORÇADA

Carolina Kuhn Novakoski, Priscila dos Santos Priebe, Eder Daniel Teixeira, Augusto Ceron Reginatto, Eliane Conterato, Guilherme Santana Castiglio, Alba Valéria Brandão Canellas, ,
Fabrício Prates Desessards, Marcelo Giulian Marques e Aline Saupe Abreu

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: carolkn04@gmail.com, priscilaspriebe@gmail.com, eder.teixeira@ufrgs.br, augusto.creginatto@gmail.com,
conterato.eliane@gmail.com, guilhermecastiglio@gmail.com, alba.canellas@gmail.com,
fabricio.desessards@gmail.com, mmarques@iph.ufrgs.br

Resumo

Os vertedouros em degraus têm por objetivo descarregar a água em excesso do reservatório para jusante da barragem, garantindo a segurança das obras hidráulicas e permitindo a dissipação de grande parte da energia potencial proveniente do desnível ocasionado pela construção do barramento. Apesar das vantagens relacionadas a essas estruturas, sua utilização é limitada a vazões em torno de $15\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ devido à possibilidade de danos por erosão e cavitação nos degraus e a não garantia de dissipação de energia. A inserção de pilares, defletores e chaminés (aeradores) na calha em degraus pode possibilitar a descarga de maiores vazões específicas. O presente artigo tem por objetivo analisar a dissipação de energia de um vertedouro em degraus com a implantação dos elementos citados, através de medições de pressões e cálculo de comprimento do ressalto hidráulico na bacia de dissipação instalada a jusante. Concluiu-se que a inserção de pilar com defletor, chaminé e chaminé com defletor resulta em pressões mais baixas e comprimentos de ressalto hidráulico menores se comparados a uma situação com calha em degraus sem estes elementos.

Introdução

Vertedouros são estruturas que fazem parte do sistema extravasor de barragens, responsáveis por conduzir o excesso de água do reservatório para jusante do maciço de forma segura. A utilização de degraus com função de dissipar energia foi consolidada a partir dos anos 1970, com o aprimoramento da técnica de CCR (concreto compactado a rolo). A grande vantagem das estruturas escalonadas é a dissipação da energia de montante, que ocorre, em sua maior parte, durante a passagem do escoamento pela calha. Assim, as estruturas de dissipação da energia residual, como bacias de dissipação por ressalto hidráulico, instaladas a jusante dos vertedouros, podem ter suas dimensões e custos reduzidos.

De acordo com Matos (2000), Amador (2005), Gomes (2006), entre outros, a utilização dos vertedouros em degraus é limitada a vazões específicas em torno de $15\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$, a fim de evitar cavitação e erosão nos degraus. Além disso, para vazões específicas acima desse valor não se pode garantir uma boa eficiência na dissipação de energia durante a passagem do escoamento pela calha. Nesses casos é necessária uma grande altura de calha para que a aeração total do escoamento seja desenvolvida, resultando em uma dissipação de energia significativa.

Tendo em vista a demanda por vazões mais altas nos vertedouros de barragens e as vantagens associadas às estruturas escalonadas, estão sendo desenvolvidas pesquisas com o intuito de ampliar a faixa de vazões específicas possíveis de serem escoadas nos vertedouros em degraus sem causar danos às estruturas e sem prejudicar a dissipação da energia de montante. Uma alternativa para isso é a implementação de elementos na calha em degraus que aumentem a aeração do escoamento. Autores como Pfister et. al (2011) e Terrier (2016) estudaram o comportamento do escoamento sobre vertedouros em degraus

com inserção de defletores e aeradores (chaminés) na calha.

Uma forma de avaliar a dissipação de energia de uma calha em degraus é a verificação das pressões na bacia de dissipação em local próximo à incidência do escoamento advindo da calha e do comprimento do ressalto hidráulico formado. Novakoski et al. (2017) estudou o comportamento do ressalto hidráulico a jusante de um vertedouro em degraus através da medição de pressões na bacia de dissipação a jusante e constatou que a equação proposta por Marques, Drapeau e Verrette (1997) (equação 1) para o cálculo do comprimento do ressalto hidráulico desenvolvido a jusante de uma calha lisa, pode ser aplicada para vertedouros em degraus.

$$L_j = 8,5 * (y_l - y_r) \quad [1]$$

Onde: L_j = Comprimento do ressalto hidráulico (m); y_l = altura conjugada lenta (m); y_r = altura conjugada rápida (m).

O presente artigo tem por objetivo a verificação da dissipação de energia ao longo de uma calha com aeração forçada por diferentes elementos como defletores e chaminé e a comparação com uma calha em degraus com aeração natural.

Metodologia

Para a verificação da dissipação da energia ao longo de uma calha em degraus com aeração forçada utilizou-se um modelo físico de um vertedouro em degraus seguido de bacia de dissipação instalada no Laboratório de Obras Hidráulicas do IPH – UFRGS. As características gerais do modelo estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1.- Características gerais do modelo físico de vertedouro em degraus seguido de bacia de dissipação.

Características	Medidas
Escala	1:10
Altura do vertedouro	2,45m
Altura do degrau	0,06m
Comprimento do degrau	0,045m
Largura do vertedouro	0,40m
Declividade da calha	1,00V:0,75H

No modelo, foram implantados diferentes elementos para a realização dos ensaios com aeração forçada. Os elementos implantados foram: 1) pilares de 3 cm de espessura até o primeiro degrau junto às paredes do vertedouro com defletor de 6mm também no primeiro degrau, 2) chaminé no primeiro degrau e 3) chaminé com defletor de 6mm no primeiro degrau. Para a comparação com a aeração natural foram utilizados os dados de Novakoski (2016), que obteve seus dados com o mesmo modelo físico utilizado para a presente pesquisa, porém sem nenhum elemento na calha, configurando, assim, a aeração natural.

Nos ensaios realizados foram calculados o comprimento do ressalto hidráulico livre desenvolvido para as vazões de 20, 40, 50, 60, 80, 100 e 110 l/s. O cálculo foi realizado através da equação 1. A altura conjugada lenta (y_l) foi medida e a altura conjugada rápida (y_r) foi calculada através da equação de Bélanger. Também foram medidas as pressões médias desenvolvidas no início do ressalto hidráulico. Para a configuração com pilar e defletor, foram medidas pressões médias em três pontos a partir do final da calha em degraus distanciadas 17,4, 27,4 e 37,4 cm do final da calha. Porém notou-se que apenas a tomada de pressão mais próxima do vertedouro sofre influência do jato. Sendo assim, para as outras configurações de elementos, foram medidas as pressões médias apenas para essa posição (17,4 cm d final da calha).

Resultados e discussões

A figura 2 apresenta os resultados de pressões médias, em m.c.a. para cada configuração em função das vazões ensaiadas.

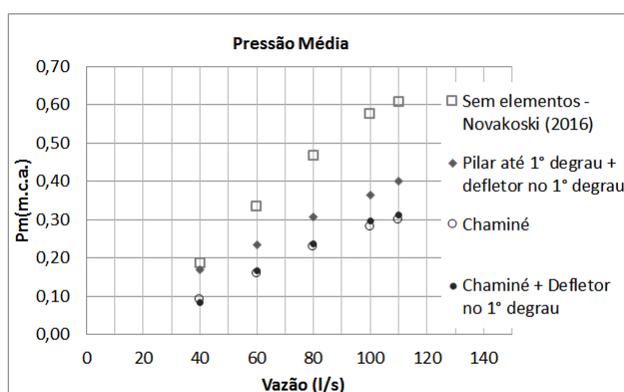


Figura 2.- Pressões médias (em m.c.a.) para todas as configurações e vazões ensaiadas.

Analisando a figura 2, pode-se perceber que, em todas as configurações com aerção forçada, as pressões médias são significativamente reduzidas em relação à aerção natural. Com destaque para as configurações com chaminé e chaminé com defletor que apresentaram uma redução ainda mais significativa no valor das pressões médias. Percebe-se, também, que quanto maior a vazão ensaiada, maior a diferença entre as pressões médias resultantes de calha em degraus com aerção forçada e natural.

A figura 3 apresenta os comprimentos do ressalto hidráulico livre desenvolvido na bacia de dissipação a jusante do vertedouro em degraus para cada configuração e vazão ensaiada.

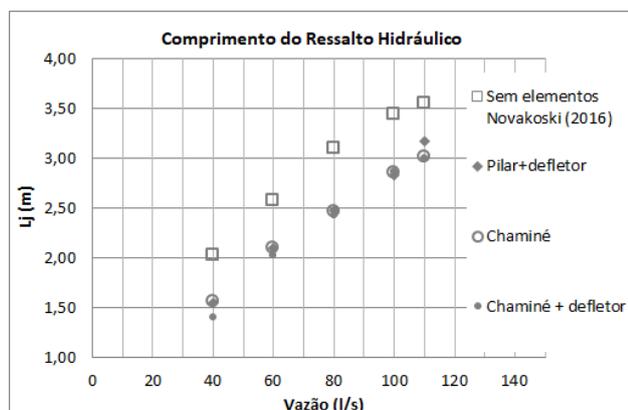


Figura 3.- Comprimento do ressalto (em metros) para todas as configurações e vazões ensaiadas.

Através da figura 3 se pode perceber uma redução significativa do comprimento do ressalto hidráulico desenvolvido a jusante nas configurações com aerção forçada, embora não se note

diferença significativa entre elas. Com o aumento das vazões não se observa maior diferença do comprimento do ressalto entre a aerção natural e com elementos.

Conclusões e recomendações

Através das análises desenvolvidas, foi possível concluir que tanto as pressões como o comprimento do ressalto hidráulico desenvolvido a jusante de um vertedouro com calha em degraus com elementos que possibilitam a aerção forçada são menores, o que indica que a dissipação de energia ao longo da calha foi maior.

A configuração com pilares e defletor forneceu, como as demais, reduções significativas referentes às pressões médias e comprimento do ressalto, porém, deve-se observar que a estrutura (modelo físico) tem largura de 40 cm, o que indica que a distância entre os pilares é menor do que seria em protótipo. Sendo assim recomenda-se o estudo dessa configuração em um modelo físico com maior largura.

Além disso, sugere-se a caracterização das pressões médias e instantâneas ao longo da calha para essas mesmas configurações apresentadas bem como para outras configurações que possibilitem a aerção forçada no escoamento ao longo de um vertedouro em degraus.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições e empresas que contribuíram com apoio financeiro parcial para realização da pesquisa relacionada ao presente artigo, sendo elas, a Furnas Centrais Elétricas S. A. (Eletrobras Furnas), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/Brasil), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Brasil), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP/Brasil), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS/Brasil) e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (IPH/UFRGS).

Referencias bibliográficas

- Amador, A. (2005). "Comportamento Hidráulico de los Aliaderos escalonados em presas de hormigón compactado". Tese de Doutorado, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Gomes, A.J.F. (2006). "Campo de Pressões: Condições de Incipência à Cavitação em Vertedouros em Degraus com Declividade $1V:0,75H$ ". Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Matos, J.S.G. (2000). "Discussion of Hydraulics of skimming flow on modeled stepped spillways". *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Pfister, M.D.; Lucas, J.; Hager, W.H. (2011). "Chute Aerators: Preaerated Approach Flow". *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Terrier, S. (2016). "Hydraulic performance of stepped spillway aerators and related downstream flow features". Tese de Doutorado, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausanne.
- Novakoski, C.K.; Conterato, E.; Marques, M.G.; Teixeira, E.D.; Lima, G.A.; Mees, A. (2017). "Macro-turbulent characteristics of pressures in hydraulic jump formed downstream of a stepped spillway". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol.22, Fevereiro 2017.
- Novakoski, C.K. (2016). "Análise da Distribuição Longitudinal das Pressões em um Ressalto Hidráulico Formado a Jusante de Vertedouro em Degraus". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.