

# ANÁLISE PRELIMINAR DO ALCANCE DE REMOÇÃO DE SEDIMENTOS POR DESCARREGADORES DE FUNDO EM PEQUENAS BARRAGENS.

Aline Saupe Abreu<sup>1</sup>, Vinicius Lima de Oliveira<sup>2</sup>, Pietro Gabriel Ramos Cunico<sup>2</sup>, Pedro Luis Bernardi de Camargo<sup>2</sup>, Rute Ferla<sup>2</sup>, Carlos Barreira Martinez<sup>3</sup>, Luiz Augusto Magalhães Endres<sup>2</sup>, Daniela Guzzon Sanagiotto<sup>2</sup>, Mauricio Dai Prá<sup>2</sup>, Eder Daniel Teixeira<sup>2</sup> e Marcelo Giulian Marques<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos- Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

<sup>2</sup>Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

<sup>3</sup>Instituto de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

E-mail: alsaupe@gmail.com, oliveira.vinicius@ufrgs.br, pietro.cunico@ufrgs.br, pedroluisbernardidecamargo@gmail.com, ruteferla@gmail.com, endres@ufrgs.br, dsanagiotto@ufrgs.br, mdaipra@gmail.com, eder.teixeira@ufrgs.br, mmarques@iph.ufrgs.br, cmartinez@unifei.edu.br

## Resumo

O presente artigo compõem algumas das análises preliminares desenvolvidas no Laboratório de Obras Hidráulicas (LOH) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) visando a compreensão dos mecanismos de funcionamento e remoção de sedimentos através da utilização de descarregadores de fundo em pequenas barragens. Desta forma, foi avaliado por meio de um modelo físico experimental o alcance da remoção de sedimentos no reservatório quando acionada a estrutura do descarregador de fundo, bem como, a compreensão desses resultados quando aplicadas as diferentes equações de previsão presentes na literatura. Considerando os resultados obtidos até o presente momento pode-se constatar a necessidade de avaliação de um novo parâmetro adimensional que considere a massa específica do material a ser removido e/ou a velocidade do escoamento no interior da descarga de fundo.

## Introdução

A inserção de barragens ao longo de cursos d'água propiciam a deposição de sedimentos e, conseqüentemente, o processo gradativo e inerente de assoreamento em seus reservatórios, tornando-se responsável pela redução da capacidade de armazenamento de água e da vida útil do empreendimento. Bataca e Jordaan Jr. (2000), analisando dados de 127 reservatórios onde o processo de assoreamento ocorreu entre o 2° e o 74° anos após a construção do empreendimento, indicam que a redução da capacidade de volume útil variou entre 0,3% e 100%.

A remoção dos depósitos de sedimentos é normalmente realizada através da inserção de descarregadores de fundo que, incorporados ao paramento de montante da barragem, geralmente na porção inferior do volume útil do reservatório, permitem a retirada de material por meio da capacidade de arraste do escoamento. Entretanto, com o objetivo de avaliar a eficiência dessas estruturas hidráulicas torna-se necessário o conhecimento e posterior predição do alcance e dimensões da “fossa” ou “cone” de depressão gerado durante o acionamento dos descarregadores em relação a tomada de água presente nos barramentos de geração de energia ou reservação de água.

Desta forma, este trabalho visa apresentar os resultados preliminares obtidos a partir de um modelo físico experimental desenvolvido no Laboratório de Obras Hidráulicas (LOH) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), visando identificar o alcance da remoção de sedimentos por meio de análises dimensionais dos principais parâmetros hidráulicos envolvidos nos escoamentos em descarregadores de fundo de pequenas barragens (com altura inferior a 15 m) e em reservatório de nível d'água constante (*Pressure Flushing*).

## Materiais e métodos

Os ensaios foram realizados em um modelo físico experimental que simula a utilização de descarregadores de fundo em barragens. O modelo é composto de dois segmentos distintos, sendo um canal sem declividade, nas dimensões de 16 m de comprimento, 2 m de largura e 0,80 m de altura, e o modelo reduzido propriamente dito composto por uma barragem, com 0,6 m de altura e 2 m de largura, construída em concreto com a presença de um orifício, o qual representa a estrutura do descarregador de fundo. A estrutura da barragem no modelo permite mudanças de diâmetro dos orifícios, tendo sido avaliados os diâmetros nominais de DN 33, 50, 75 e 100 mm. As vazões de ensaio variaram de 1,0 a 12,6 l/s de acordo com o diâmetro definido. A geratriz inferior do orifício (com relação ao diâmetro nominal de 100 mm) utilizado foi posicionada a uma altura de 0,17 m do fundo, próximo ao centro da estrutura de concreto (considerando sua largura). O material utilizado como sedimento foram grânulos de borracha processada, que possui uma massa específica de ( $\rho_s$ ) de 1080 kg/m<sup>3</sup> e diâmetro de partícula médio de aproximadamente 1 mm.

Considerando as principais variáveis que influenciam no alcance da remoção de sedimentos no sentido do escoamento ( $L_{sm\acute{a}x}$ ) foram, então, determinados os principais parâmetros dimensionais (Equação 1) a serem verificados nas características dos ensaios realizados em laboratório.

$$f(Fr_d, \rho_w; g; d_s; \rho_s; H_W; D; v; Z; L_{sm\acute{a}x}) = 0 \quad [1]$$

Onde:  $Fr_d$  é o número de Froude (adm);  $\rho_w$  é a massa específica da água (kg/m<sup>3</sup>);  $g$  é a aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);  $d_s$  é o diâmetro médio do sedimento (m);  $\rho_s$  é a massa específica do sedimento (kg/m<sup>3</sup>);  $H_W$  é a carga hidráulica total acima do centro do orifício (m);  $D$  é o diâmetro do orifício (m);  $v$  é a velocidade média do escoamento (m/s);  $Z$  é a cota máxima de sedimentos a partir da geratriz inferior do orifício (m) e  $L_{sm\acute{a}x}$  é o comprimento máximo de remoção do sedimento (m).

Determinados os principais grupos adimensionais por meio das informações obtidas em laboratório, Equação 2 e Equação 3, aplicaram-se as relações estabelecidas pelas equações de Meshkati et al. (2009), Meshkati et al. (2010) e Emamgholizadeh et al. (2013), Fathi-Moghadam et al. (2010) e Emamgholizadeh e Fathi-Moghadam (2014) para a determinação do  $L_{sm\acute{a}x}$  estimado, onde, a partir dos novos comprimentos de alcance gerados, verificou-se o comportamento dos adimensionais propostos.

$$\pi_Z = (Z/D) \times Fr_d^B \quad [2]$$

$$\pi_L = (L_{sm\acute{a}x}/D) \times Fr_d^A \quad [3]$$

## Resultados

Analisando os resultados obtidos experimentalmente foi possível observar que a conformação de fundo assumida pelo

depósito de sedimentos após o acionamento dos descarregadores de fundo é a mesma daquela verificada por Emamgholizadeh et al. (2006), Madadi et al. (2016) e Saraiva (2017), sendo o parâmetro de forma da “fossa” ou “cava” um fator independente das diferenças gerais do tipo de material, da altura de lâmina d’água ou mesmo da geometria dos descarregadores de fundo entre estes autores.

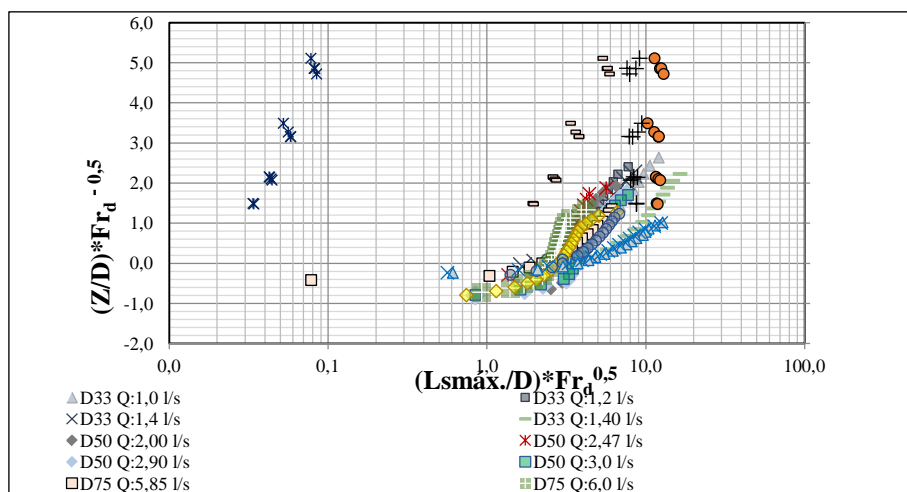
Os parâmetros adimensionais foram estabelecidos através das relações entre a cota de sedimentos ( $Z$ ), os diâmetros dos descarregadores de fundo, o comprimento atingido pela remoção de sedimentos, estes tendo sido definidos por meio de correlações com os seus respectivos coeficientes de ajuste “A” e “B” nos valores de  $e$  0,5 e -0,5, respectivamente.

Comparando os resultados obtidos em laboratório com os dados extraídos diretamente das equações propostas pelos autores percebe-se uma discrepância dos resultados, podendo ser atribuída as diferenças de altura de lâmina d’água ( $H_w$ ) e da altura de depósito de sedimentos ( $H_s$ ) oriundos das características originais de definição dos  $L_{smax}$  estimados por Meshkati et al. (2009), Fathi-Moghadam et al. (2010),

Emamgholizadeh e Fathi-Moghadam (2014), Figura 1. As características de ensaios utilizadas para a definição das equações de  $L_{smax}$  estimadas foram superiores as limitadas pela característica estrutural do modelo reduzido do descarregador de fundo, exceto quando comparadas ao Meshkati et al. (2010) em Emamgholizadeh et al. (2013) que não são informadas durante a definição de previsão do  $L_{smax}$ .

Outro aspecto relevante foram as diferenças encontradas na verificação das adimensionalizações estabelecidas por Fathi-Moghadam et al. (2010) e Meshkati et al. (2009), uma vez que ambas, mesmo considerando em suas formulações relações de massa específica, utilizaram em seus ensaios materiais de densidades distintas, de 2,65 e 1,80, respectivamente.

As diferenças expressas entre o comportamento dos adimensionais desenvolvidos neste estudo e os resultados encontrados a partir da estimativa de alcance da remoção de sedimentos propostos por outros autores evidenciam a necessidade de inserção e ajuste de novos parâmetros adimensionais, baseados principalmente nas relações de massa específica e altura de lâmina d’água.



**Figura 1**-Resultados obtidos através da aplicação dos adimensionais desenvolvidos a partir dos ensaios realizados em laboratório (LOH) e das equações disponíveis em literatura. Fonte: Autores.

## Conclusões e recomendações

Durante a verificação das estimativas dos  $L_{smax}$  extraídos pelas equações de Meshkati et al. (2009), Meshkati et al. (2010), Emamgholizadeh et al. (2013), Fathi-Moghadam et al. (2010) e Emamgholizadeh e Fathi-Moghadam (2014) observou-se a necessidade da inserção de novos parâmetros adimensionais ao estudo, uma vez que a massa específica seria uma das possíveis justificativas das diferenças encontradas entre as séries de dados experimentais e as estimadas através de literatura.

Os adimensionais previstos apresentaram boa correlação com os parâmetros utilizados por diferentes autores, porém evidencia-se a necessidade de estudos futuros para diferentes materiais e granulometrias de sedimentos distintos ao utilizado neste estudo na previsão do alcance máximo da remoção de sedimentos.

## Referências bibliográficas

- Batucu D.G., Jordaan J.M.Jr. (2000). *Silting and desilting of reservoirs*. CRC Press.
- Emamgholizadeh S., Fathi-Moghadam M. (2014). *Pressure Flushing of Cohesive Sediment in Large Dam Reservoirs*. ASCE. Journal of Hydrologic Engineering 19(4), pp. 674-681.
- Emamgholizadeh S., Bateni S.M, Jeng D.S. (2013). *Artificial*

*intelligence-based estimation of flushing half-cone geometry*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, n. 26, pp.2551-2558.

Fathi-Moghadam M. et al. (2010). *Physical modelling of pressure flushing for desilting of non-cohesive sediment*. Journal of Hydraulic Research, v. 48, n. 4, pp.509-514.

Madadi M.R., Rahimpour M., Qaderi K. (2016). *Sediment flushing upstream of large orifices: An experimental study*, in *Flow Measurement and Instrumentation* 52, pp.180-189.

Mahmood, K. (1987). *Reservoir sedimentation: impact, extent, and mitigation*. [S.l.]: [s.n.].

Meshkati M.E., Dehghani A. A., Naser G., Emamgholizadeh S., Mosaedi A. (2009). *Evolution of Developing Flushing Cone during the Pressurized Flushing in Reservoir Storage*. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Scholarly and Scientific Research & Innovation, Vol.3, No 10, pp.355-359.

Saraiva L.S., Abreu A.S., Silveira D.S., Desessards F.P., Ferla R., Dai Prá, M., Teixeira E.D., Endres L.A.M., Marques M.G., (2017). *Previsão do Alcance da Remoção de Sedimentos por Descarregadores de Fundo de Pequenas Barragens*. 13º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, Portugal.

Talebbeydokhti N., Naghshineh A. (2004). *Flushing Sediment Through Reservoirs*. Iranian Journal of Science & Technology, Dept. of Civil Engineering, Shiraz University, Shiraz, I. R. of Iran. Transaction B, 28(B1), pp. 119-136