DESEMPENHO HIDRÁULICO DO VERTEDOR DE UM DIQUE DE ENROCAMENTO UTILIZANDO MODELO REDUZIDO

Livia Jacobini[1], Vinícius Mendonça Galvão[2], Daniel Tuler Passos[2], Aloysio Portugal Maia Saliba[3], Edna Maria de Faria Viana[3] e Jorge Luis Zegarra Tarqui[3]

[1]Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SMARH) – EHR - UFMG, Brasil,
[2]Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Brasil.
[3]Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos (EHR) – UFMG, Brasil,
Centro de Pesquisas Hidráulicas (CPH)-UFMG
E-mail: livia.jacobini@gmail.com, vmgalvao90@gmail.com, danieltpassos@gmail.com, asaliba@ufmg.br, ednamfv@ufmg.br, jlztarqui@yahoo.com.br

Introdução

No Brasil, os tipos de barragens mais comuns, no que tange ao material de construção, são as de concreto, terra e enrocamento.

As barragens de enrocamento geralmente são construídas com algum tipo de vedação, como por exemplo um núcleo impermeável (argiloso ou asfáltico) ou o revestimento da face de montante em concreto. Este tipo de estrutura pode atingir alturas da ordem de 300 m e inclinações do talude de jusante mais íngremes, que variam de 1,2 a 1,6H:1,0V (Cruz *et al.*, 2014).

Um caso particular de barragem em enrocamento, são os diques de enrocamento galgáveis, que possuem um rebaixamento na porção central do maciço para passagem das cheias, ou seja, o sistema extravasor é incorporado no próprio dique. Estas estruturas são muito utilizadas na mineração brasileira para contenção dos sedimentos gerados nas áreas de mineração durante o período chuvoso. Geralmente possuem altura de 3 a 15 m, e inclinações de talude de jusante mais suaves, da ordem de 3,0H:1,0 V.

Os diques de enrocamento possuem a vantagem de reutilização dos blocos extraídos da lavra do minério (itabirito, gnaisse, hematita, dentre outros), os quais seriam descartados em pilhas de estéril, sendo uma alternativa construtiva na falta de material de empréstimo para execução de dique em solo. Adicionalmente, trazem o benefício de reduzir a área impactada e os custos referentes à área de empréstimo e implantação de um extravasor em superfície. Estes diques também podem ser executados em enrocamento proveniente de pedreiras, porém a custos mais elevados.

Estes diques geralmente estão localizados a jusante de áreas com elevado potencial de geração de sedimentos, sendo necessária a manutenção periódica de desassoreamento do reservatório (Pinheiro, 2011). Todavia, estas estruturas são drenantes, o que facilita o desaguamento nos períodos de seca para o processo de limpeza, e são executadas com uma camada de transição e/ou geotêxtil posicionada no talude de montante para retenção dos sólidos.

Durante o assoreamento, ocorre uma diminuição da vazão percolada, devido à colmatação da transição e, consequentemente, um aumento da vazão galgada.

A estabilidade dos blocos depende do seu diâmetro e da sua densidade específica, bem como da velocidade, que por sua vez, está relacionada à vazão de percolação; à vazão específica (vazão por unidade de largura do vertedouro) de galgamento e inclinação do talude de jusante do maciço, para o caso dos diques galgáveis drenantes. Nesse caso, admite-se que a região crítica de velocidade nestas estruturas é o pé do maciço.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é avaliar o desempenho hidráulico de vertedores de diques homogêneos de enrocamento galgáveis, por meio de modelo experimental.

Conforme citado por Saliba *et al.* (2017), os modelos reduzidos têm sido amplamente utilizados na engenharia hidráulica desde o século XIX, época em que os modelos numéricos não estavam disponíveis. Atualmente, os estudos estão focados nos modelos numéricos, os quais evoluíram rapidamente e são capazes de resolver problemas tridimensionais, produzindo resultados estáveis e consistentes. Todavia, é preciso calibrar e estimar parâmetros nos modelos numéricos, os quais, geralmente não são obtidos em campo, sendo então necessária a realização de ensaios de laboratório em escala reduzida.

Metodologia

Para avaliar a estabilidade hidráulica de diques homogêneos em enrocamento, serão realizados ensaios em dois canais existentes no Centro de Pesquisas Hidráulicas (CPH) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

O canal A possui fundo e paredes em acrílico e dimensões de 14 cm de base, 25 cm de altura e aproximadamente 2,70 m de comprimento, sendo que a vazão no modelo é regulada manualmente por meio de uma válvula tipo gaveta.

O canal B é construído em vidro com dimensões de 40 cm de base, 48,5 cm altura e aproximadamente 5,0 m de comprimento. A vazão afluente ao canal será regulada automaticamente por um inversor de frequências.

Os diques serão construídos com brita 0, que apresenta peso específico de aproximadamente 26,5 kN/m³, e inclinação do talude de montante de 2,0H:1,0V, sendo que o dique do canal A terá altura de 15 cm e serão utilizados blocos com diâmetro entre 2 e 8 mm, e o dique do canal B será construído com altura de 30 cm e o diâmetro variando entre 4 e 16 mm.

Os cenários que serão simulados nos canais A e B foram definidos visando avaliar a influência de alguns parâmetros na estabilidade hidráulica dos diques homogêneos de enrocamento galgáveis, a saber: inclinação do talude de jusante; assoreamento do paramento de montante e a compactação realizada durante a construção da estrutura.

A vazão percolada pelo maciço será determinada por meio da medição da vazão bombeada para o canal, quando o nível do reservatório estiver na mesma elevação da crista do dique. Os canais de testes são dotados de medidores de vazão eletromagnéticos para este fim.

Robinson *et al.* (1998) e Baptista e Coelho (2016) recomendam que os canais revestidos em enrocamento sejam executados com uma espessura equivalente a 2 vezes o diâmetro mediano (D_{50}) dos blocos. Neste sentido, definiu-se que a vazão específica limite, será aquela em que o deslocamento de blocos atinge este limite de espessura.

Para permitir a identificação desta camada foi realizada a pintura dos blocos em 4 faixas de cores diferentes para permitir a visualização dos locais onde ocorre deslocamento dos blocos.

A vazão será acrescida gradualmente, para determinar o valor máximo de vazão em que não ocorra danos à estrutura, ou seja, não haja deslocamento expressivo de blocos.

A cada acréscimo de vazão, o ensaio é interrompido para

verificar se o deslocamento de blocos atingiu a camada de enrocamento sem cores.

Para a vazão específica limite do sistema extravasor do dique de cada cenário, serão realizadas as seguintes medições: profundidade no reservatório, na crista e em determinadas seções do talude de jusante do dique e a jusante da estrutura; e mapeamento dos campos de velocidade com o uso de anemômetro Doppler.

Os resultados obtidos experimentalmente serão confrontados com as formulações e resultados disponíveis na literatura.

Pretende-se converter estes resultados em ábacos ou planilhas para uso em situações de projeto de diques com geometria típica de estruturas dessa natureza.

Resultados preliminares

Para os ensaios realizados até o momento foi construído um dique no canal A, com brita 0 (D_{50} = 5,35 mm), altura de 15 cm, inclinação do talude de montante de 2,0H:1,0V e de jusante de 3,0H:1,0V, considerando o reservatório sem assoreamento e maciço sem compactação e blocos secos.

Resultados obtidos de forma preliminar apontaram a vazão percolada de aproximadamente 0,37 L/s (2,64 L/s.m). Os ensaios serão realizados novamente para confirmar este valor.

Na Figura 1 e Figura 2 são apresentados os resultados de uma simulação considerando vazão de 0,40 L/s (2,85 L/s.m) e 0,55 L/s (3,93 L/s.m), respectivamente.

Figura 1.- Cenário A-I – Vista do talude de jusante - Q = 0,40 L/s.

Observa-se na Figura 2 que o deslocamento de blocos se iniciou no pé do talude de jusante (faixa mais clara) e avança até atingir a faixa mais escura e resultar na ruptura completa do maciço.

Para as próximas etapas serão simulados valores intermediários de vazões para estabelecer a vazão limite em que não ocorre danos na estrutura e serão realizadas as medidas de profundidade e mapeamento dos campos de velocidade com o uso de anemômetro Doppler.

Será calculado o número de Reynolds, verificando-se se o escoamento é turbulento rugoso e o efeito do atrito é preponderantemente influenciado pelo tamanho dos blocos, sendo predominante as forças gravitacionais. Neste caso, os resultados serão convertidos em ábacos ou planilhas para uso em situações de projeto de diques com geometria típica de estruturas dessa natureza, utilizando-se a semelhança pelo número de Froude.

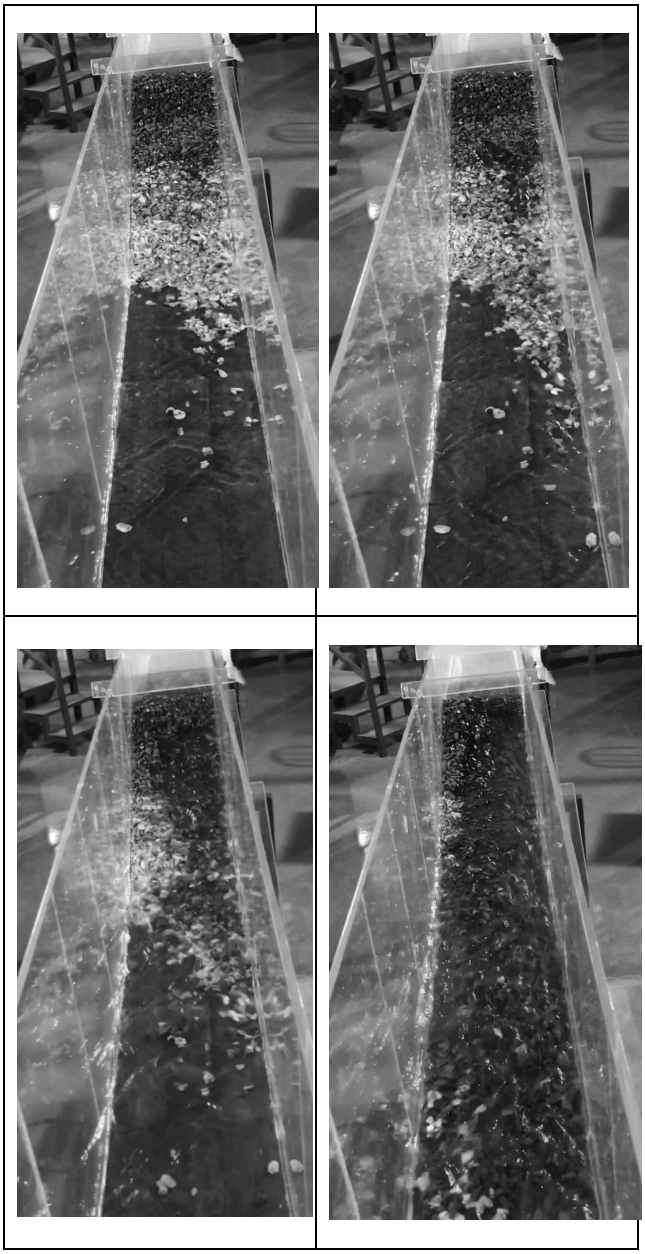

Figura 2.- Cenário A-I – Vista do talude de jusante - Q = 0,55 L/s.

Referências bibliográficas

Baptista, M. B.; Coelho, M. M. L. P. (2016). *Fundamentos de engenharia hidráulica*. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG. 477p.

Cruz, P.T.; Materón, B.; Freitas, M. (2014). *Barragens de enrocamento com face de concreto*. 2ed. São Paulo: Oficina de Textos. 359 p.

PINHEIRO, M.C. (2011). *Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração*. 1 ed. Porto Alegre: ABRH. 308 p.

Robinson, K.M.; Rice, C.E.; Kadavy, K.C. (1998). "Design of rock chutes". *American Society of Agricultural Engineers,* v. 41, n. 3, p. 621-626.

Saliba, A.P.M.; Viana, E. M. F.; Tarqui, J. L. Z.; Martinez, C. B.; Costa, M. E. F.; Ferreira Júnior, A. G. (2017). "Novos materiais e técnicas para construção de modelos reduzidos". In: *THE 12th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION – CLAGTEE.* Mar del Plata. Anais.