

COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES PARA SIMULAÇÃO DE CHEIAS EM RIOS DECLIVOSOS UTILIZANDO O HEC-RAS

*Marina Refatti Fagundes¹; Fernando Mainardi Fan¹; Masato Kobiyama¹; Karla Campagnolo¹
& Maurício Andrades Paixão¹*

Palavras-Chave – simulação hidrodinâmica, Puls Modificado, vertedouro.

INTRODUÇÃO

A simulação matemática da propagação da onda de cheia é uma peça chave para o estudo de desastres hidrológicos (PETACCIA *et al.*, 2013). Através dos modelos matemáticos, é possível obter informações relativas às características do escoamento como níveis de água, tempo de chegada da onda de cheia, perfil de velocidades e também permite a geração de manchas de inundação (QUEDI *et al.*, 2018). Entre outras funcionalidades, os resultados obtidos por essas simulações podem ser utilizados a fim de gerar mapas de perigo e também como base para o desenvolvimento de sistemas de alerta, que são caracterizados por serem medidas não estruturais e que auxiliam na gestão de risco e desastres.

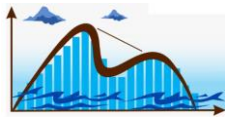
Um dos modelos hidrodinâmicos muito utilizados e que permite realizar simulações de propagação do escoamento é o HEC-RAS (USACE-RAS, 2016). Esse modelo utiliza as equações da continuidade e da conservação da quantidade de movimento para determinar como ocorre a propagação da onda de cheia nos corpos hídricos. Entretanto, a aplicação do modelo em rios que possuem elevadas declividades pode apresentar problemas relativos à estabilidade das soluções. Além disso, USACE-RAS (2016) afirma que são encontrados bons resultados para as simulações realizadas em rios que apresentam declividades de até 10%.

A fim de contornar os problemas relativos à estabilidade dos modelos em locais com elevada declividade, Brunner (2014) indica realizar ajustes nos coeficientes de rugosidade, no distanciamento das seções transversais utilizadas e efetuar as simulações em regime misto (variando entre subcrítico e supercrítico). Segundo esse autor também pode ser adicionada uma vazão de base ou um canal piloto e podem ser realizados ajustes no intervalo do tempo computacional utilizado.

Entretanto, para simular a propagação da onda de cheia em locais que possuem quedas d'água, esses ajustes não são suficientes, sendo necessário aplicar outras metodologias (BRUNNER, 2014). Nesses casos, uma das possíveis soluções é através da inserção de estruturas hidráulicas para representar as quedas d'água ou cachoeiras existentes nos rios. Assim, ao invés de utilizar as Equações de Saint Venant para propagar o escoamento no trecho de maior declividade, o HEC-RAS utiliza a equação dos vertedouros, o que deixa o modelo mais estável (USACE-RAS, 2016).

Outra técnica que também está disponível no HEC-RAS e que pode ser utilizada para simular quedas d'água é o método de Puls Modificado. Esse método permite que as simulações em regime não permanente sejam executadas através de uma rotina hidrológica, ao invés de resolver as Equações de Saint Venant completas, sendo aplicável nos casos em que as declividades são elevadas ou quando as soluções são instáveis (USACE-RAS, 2016). Partindo dessas considerações, o objetivo desse trabalho foi comparar os resultados obtidos através da aplicação das duas metodologias, vertedouro e Puls Modificado, na propagação de uma onda de cheia para o caso da bacia hidrográfica do Rio do Boi.

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Avenida Bento Gonçalves 9500, (51) 3308-6686, marinarf95@hotmail.com.br

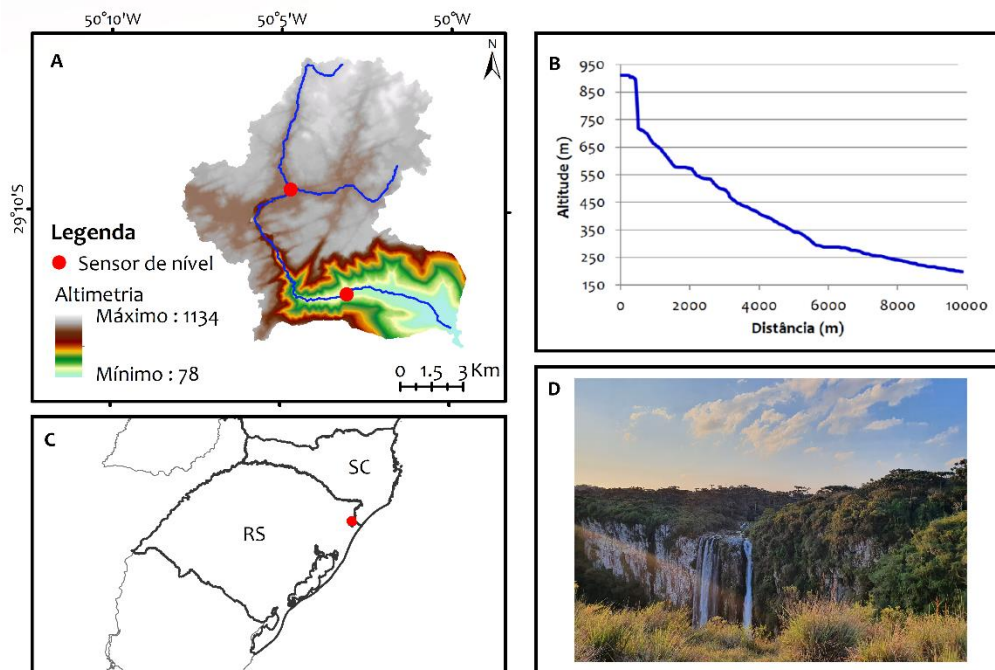


METODOLOGIA

Área de estudo

A área escolhida para realizar esse estudo foi a bacia hidrográfica do Rio do Boi (112,87 km²) que fica localizada nos municípios de Cambará do Sul (RS) e Praia Grande (SC). Essa bacia está inserida na região dos cânions, fazendo parte dos Parques Nacionais de Aparados da Serra e Serra Geral. As simulações foram realizadas em um trecho do Rio do Boi que fica compreendido entre dois sensores de nível, sendo que um está instalado no próprio Rio do Boi e outro no Rio Perdizes, que é seu principal afluente. A declividade média desse trecho é de 0,07231 m/m, sendo que logo após o primeiro sensor existe uma grande queda d'água (Figura 1). Vale ressaltar que esses sensores foram instalados e se encontram sob responsabilidade do Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais (GPDEN/UFRGS - <https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/?author=1>).

Figura 1 – a) Bacia hidrográfica do Rio do Boi e localização dos sensores fluviométricos utilizados nesse estudo. b) Altimetria do terreno no trecho em análise. c) Localização da bacia do Rio do Boi nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. d) Queda d'água considerada na simulação.

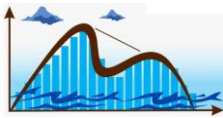


Modelagem hidrodinâmica no HEC-RAS

As simulações foram realizadas no *software* HEC-RAS 5.0.4 e consideraram o fluxo em 1D. Para representar o terreno, foi utilizado como base o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido a partir do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) que possui resolução espacial de 1m x 1m (<http://sigsc.sds.sc.gov.br/download/index.jsp>).

Após a aquisição desse dado, a primeira etapa para a aplicação do modelo é a criação de uma geometria contendo as informações relativas às características do canal e de suas planícies de inundação. Nessa etapa, dois cenários foram considerados. O Cenário I utilizou estruturas hidráulicas para representar as quedas d'água existentes logo após o sensor de nível do Rio Perdizes. No Cenário II, as quedas d'água foram simuladas através do método de Puls Modificado. À exceção desse trecho, em ambos os cenários as geometrias utilizadas foram idênticas.

A determinação do coeficiente de Manning foi feita para os diferentes trechos do rio e se baseou na equação proposta por Jarrett (1984), que é indicada para realizar a estimativa desse coeficiente em rios declivosos e de montanha. Além disso, foi considerada uma variação nos valores de Manning conforme a vazão que passa pelo canal, sendo que essa variação foi calibrada de forma automática através de ferramentas oferecidas pelo HEC-RAS. Isso é extremamente importante já que, em vazões



mais baixas, a influência da rugosidade do canal no escoamento é maior do que em vazões mais elevadas, ocorrendo uma redução nos valores do coeficiente de Manning com o aumento do fluxo (ASANO & UCHIDA, 2016).

Outro ajuste realizado na geometria foi a inserção de um canal piloto, de dimensões 30,48cm x 60cm (largura x profundidade). Brunner (2014) indica a utilização desse tipo de canal em situações em que não existem dados relativos à batimetria do rio e também para manter a estabilidade do modelo em vazões mais baixas, como as que ocorrem no início e no final de um hidrograma de cheia.

Como condição de contorno de montante foi utilizado o cotograma de um evento de cheia ocorrido entre os dias 23 e 26 de dezembro de 2017, registrado pelo sensor de nível do Rio Perdizes. Nesse evento, foi registrado um nível máximo de 1,69 m, bem acima dos valores normalmente observados. Já como condição de contorno de jusante foi utilizada a declividade do leito do rio no trecho.

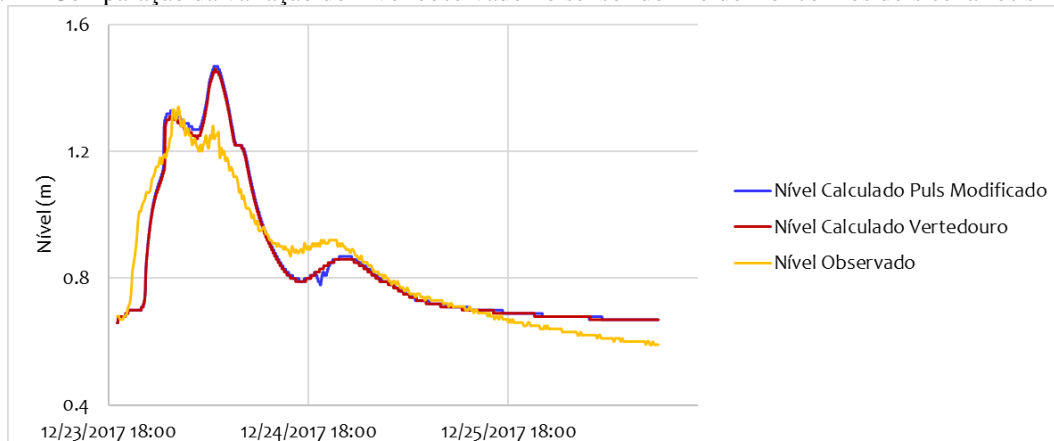
As simulações foram realizadas em regime misto e consideraram um período de 30 horas como *warming up* do modelo. Com relação ao intervalo computacional utilizado, esse foi baseado na variação do Número de Courant ao longo das iterações. Os demais parâmetros da simulação foram deixados nas configurações padrão do HEC-RAS. Os resultados dos dois cenários considerados foram comparados com a variação do nível observada na seção de controle à jusante, onde está instalado o sensor de nível do Rio do Boi. Também foram avaliados o tempo de chegada da onda de cheia e diferenças nas velocidades, níveis e vazões máximas atingidas na seção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

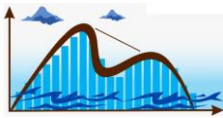
Os dados referentes à variação de nível na seção de controle à jusante, obtidos a partir das simulações realizadas estão apresentados juntamente com os dados observados na Figura 2. Percebe-se que as diferenças nos resultados dos dois cenários considerados não foram elevadas. O erro médio absoluto e o viés obtido entre os dados observados e o Cenário I foram, respectivamente, de 0,0084 m e 0,0042%. Já para o Cenário II, os valores obtidos foram de 0,0134 m e 0,0067%.

Apesar dos valores das métricas estatísticas serem satisfatórios, houve uma diferença no tempo de subida e descida do cotograma entre os dados observados e os dados obtidos através das simulações e, em geral, os níveis calculados foram superestimados. Outra consideração interessante é o fato de que o primeiro pico da cheia foi bem representado pelo modelo, mas o segundo não. Isso ocorreu muito provavelmente porque o cotograma observado na seção de montante, utilizado como dado de entrada do modelo, também teve um maior nível registrado no segundo pico. Dessa forma, ao propagar a onda de cheia para jusante, a variação de nível calculada pelo modelo se assemelhou muito à variação de nível observada na seção de montante.

Figura 2 – Comparação da variação do nível observado no sensor do Rio do Boi com os dois cenários simulados.



Na Tabela 1 estão apresentados alguns dados relativos às características do escoamento, referentes à seção de controle à jusante para ambos os cenários. Embora as diferenças obtidas sejam



pequenas, é possível perceber maior amortecimento da onda de cheia no Cenário I. Se o método de Puls Modificado fosse aplicado em trechos maiores e não somente para representar as quedas d'água, provavelmente as diferenças dos resultados a serem obtidos entre os dois cenários fossem maiores.

Tabela 1 – Comparação dos resultados obtidos através da aplicação das duas técnicas de propagação da onda de cheia.

Método	Vazão máxima (m ³ /s)	Velocidade máxima (m/s)	Nível máximo (m)	Tempo (min)*
Cenário I	36,87	2,42	1,46	1:17
Cenário II	37,79	2,45	1,47	1:17

*Tempo transcorrido entre o máximo nível registrado na seção de controle de montante e de jusante.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos por meio das simulações realizadas, conclui-se:

- Ambos os cenários representaram adequadamente a propagação de uma onda de cheia na bacia hidrográfica do Rio do Boi e visualmente não apresentaram instabilidades significativas;
- Apesar da pequena diferença obtida entre os dois cenários, no caso em estudo a utilização dos vertedouros apresentou os melhores valores relativos às métricas de desempenho;
- Uma das desvantagens da utilização de vertedouros para representar quedas d'água é pela obrigatoriedade na definição de uma geometria e um coeficiente para uma estrutura hidráulica inexistente;
- As simulações utilizando o método de Puls Modificado apresentam como desvantagem o fato de o programa ter que ser rodado em regime permanente para vários valores de vazão antes de fazer as simulações em regime não permanente. Isso aumenta o tempo necessário para obtenção dos resultados das simulações, bem como inviabiliza a utilização de modelos em 2D, já que as simulações em 2D podem ser realizadas apenas em regime não permanente.

Os resultados obtidos a partir desse estudo servirão de base para o desenvolvimento de um sistema de alerta para a bacia hidrográfica do Rio do Boi.

REFERÊNCIAS

- ASANO, Y.; UCHIDA, T. (2016). "Detailed documentation of dynamic changes in flow depth and surface velocity during a large flood in a steep mountain stream". *Journal of Hydrology*, v. 541, p. 127-135.
- BRUNNER G. (2014). "Common Model Stability Problems When Performing an Unsteady Flow Analysis." *Hydraulic Engineers, Part 2, Research and Theory*, 87, 571-582.
- JARRETT, R.D. (1984). "Hydraulics of high gradient streams". *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 110, nº 11.
- PETACCIA, G.; NATALE, L.; SAVI, F.; VELICKOVIC, M.; ZECH, Y.; FRAZÃO, S.S. (2013). "Flood wave propagation in steep mountain rivers." *Journal of Hydroinformatics*, v. 15, n. 1, p. 120-137.
- QUEDI, E.S.; CAMPOS, J.A.; FAN, F.M. (2018). "Avaliação do desempenho do modelo HEC-RAS 1D em rio com quedas d'água variando os parâmetros do método local partial inertia (LPI)." In: *Congreso Latinoamericano de Hidráulica (28.: 2018: Buenos Aires)*. Trabajos completos. Ezeida: Instituto Nacional del Agua.
- USACE-RAS. (2016). "River Analysis System, HEC-RAS v5.0 – User's Manual." US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 960p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes pela bolsa de pesquisa, ao Grupo de Pesquisas Hidráulicas (GPDEN/UFRGS) e aos servidores do ICMBio pelo suporte recebido com o monitoramento instalado no Parque.