

## **XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA SIMULAR A PROPAGAÇÃO DE UMA ONDA DE CHEIA EM RIOS**

*Jéssica Ogassawara<sup>1</sup>; Thais Possa<sup>2</sup>; Marina Refatti Fagundes<sup>2</sup> & Sofia Royer Moraes<sup>2</sup>*

**Palavras-Chave** – Propagação de vazões; modelagem hidrológica; eventos extremos; HEC-HMS.

#### **INTRODUÇÃO**

Inúmeras regiões do mundo sofrem com problemas relacionados a cheias, os quais causam expressivos prejuízos de caráter material, social e ambiental (Ghumman et al., 2012). A ocorrência destes fenômenos está associada ao crescimento populacional, à ocupação de áreas de maior risco e aos efeitos das mudanças climáticas sobre o ciclo hidrológico (Brunda; Shivakumar, 2015; Ryu et al., 2016) que acaba influenciando na ocorrência de eventos extremos de chuva.

Gontijo (2007) define as cheias como fenômenos temporários que correspondem à ocorrência de vazões elevadas em um curso de água, com eventual inundação dos seus terrenos marginais. Já as enxurradas ou inundações bruscas podem ser definidas como eventos provocados por chuvas intensas e concentradas em regiões que possuem relevo acidentado e que causam um súbito aumento na vazão dos cursos de água que tende a escoar de forma rápida e com elevada energia (CASTRO, 2003). Conforme o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED-UFSC, 2013), no estado de Santa Catarina foram feitos 449 registros oficiais de inundações entre os anos de 1991 e 2012. A mesorregião do Vale do Itajaí foi a mais afetada, com um total de 104 registros, que representam 23% das ocorrências de desastres no estado. Na sequência, tem-se o Oeste Catarinense, com 93 registros e o Sul Catarinense, com 80 registros, destacando-se entre as demais. No Estado de Santa Catarina, mais da metade dos municípios já foi afetada pelo menos uma vez por inundações (aproximadamente 67%).

Em relação às enxurradas, Santa Catarina possui 1.696 registros oficiais entre os anos de 1991 e 2012, sendo que a Mesorregião Vale do Itajaí também foi a mais afetada, com 27% das mais de 1,5 mil enxurradas registradas, seguida pelo Oeste Catarinense, com 22% e pelo Sul Catarinense, com 19% (CEPED-UFSC, 2013). As demais mesorregiões registraram entre 13% e 7% de todas as enxurradas do estado. O Vale do Itajaí possui 54 municípios, ao passo que o Oeste Catarinense possui 118. Dessa maneira, um dos motivos para a Mesorregião Oeste Catarinense ser uma das mais afetadas encontra-se no seu elevado número de municípios, o que resulta em um maior número de desastres em relação às outras mesorregiões.

Nestes casos, o monitoramento hidrológico é de suma importância para a gestão de cheias em bacias hidrográficas. O monitoramento adequado da vazão fornece informações mais precisas do que as obtidas por modelos hidrológicos. Entretanto, na maioria das vezes, os sistemas de monitoramento e gerenciamento de informações hidrológicas geralmente abrangem apenas médias e grandes bacias

<sup>1</sup>) Afiliação: Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da UFPEL.

<sup>2</sup>) Afiliação: Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS.

com escala de dados diários. Sendo assim, têm-se estimulado cada vez mais o desenvolvimento e o uso de técnicas de estimativa de hidrogramas originados de modelos chuva-vazão, visto que estes modelos consideram que existe uma relação linear entre a parcela de chuva que gera escoamento superficial direto (ESD) e a vazão.

Inicialmente foi proposta uma técnica amplamente difundida para transformação de precipitação efetiva ( $R_E$ ) em hidrograma de ESD, sendo denominada de Hidrograma Unitário (HU) (Sherman, 1932). Posteriormente, o modelo de HU foi aprimorado, surgindo o conceito de Hidrograma Unitário Instantâneo (HUI) (Clark, 1945). Referente aos modelos de HUI destaca-se o modelo desenvolvido por Clark (1945). O modelo do HUI proposto por Clark (HUIC) faz referência a uma  $R_E$  unitária instantânea e elimina a necessidade de uniformidade da  $R_E$  em intervalos de tempo específicos do HU (Alemngus; Mathur, 2014).

Cabe destacar que o HU e o HUI podem ser avaliados de forma concentrada, semi-distribuída e distribuída. Segundo Lampert e Wu (2015), os modelos concentrados fazem uma representação simplificada da bacia hidrográfica para a transformação chuva-vazão e, geralmente, requerem menor quantidade de informações de entrada. Devido a isso, estes modelos são frequentemente aplicados. Todavia, modelos que representam a bacia de forma semi-distribuída (e.g. sub-bacias ou Unidades de Resposta Hidrológica) ou distribuída (e.g. célula) são capazes de representar mais detalhadamente os processos simulados (Liu *et al.*, 2016).

Os modelos hidrológicos semi-distribuídos e distribuídos, geralmente, são constituídos por pelo menos dois módulos: um de balanço de água no solo e geração do escoamento superficial e outro de propagação das vazões ao longo da rede de drenagem (Pontes *et al.*, 2015).

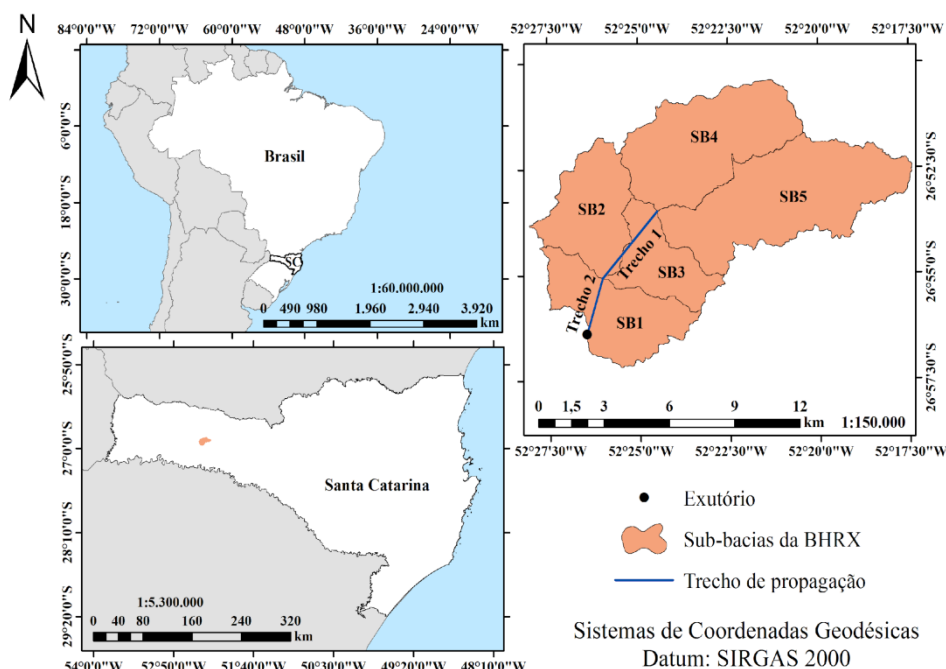
A representação desta propagação é usualmente feita através de um conjunto de duas equações, conhecidas como equações de Saint-Venant. Estas equações representam os efeitos da inércia, da força de pressão, da gravidade e do atrito (Bates *et al.*, 2010). Como as equações completas de Saint-Venant resultam em um algoritmo e código computacional muito mais complexo, normalmente são adotadas simplificações destas (Fan *et al.*, 2014). Apesar de métodos como Onda Cinemática e Muskingum-Cunge serem mais simples, tais métodos não permitem representar o escoamento em rios de baixa declividade, sujeitos ao efeito de remanso na entrada de reservatórios e em estuários sujeitos ao efeito de marés (Pontes; Collischonn, 2012). Já modelos ditos como de difusão já permitem representar o escoamento em rios que apresentam essas características (Fan *et al.*, 2014).

Visto a importância que a simulação da propagação do escoamento tem na gestão de eventos de inundação, o objetivo deste trabalho foi comparar diferentes métodos de propagação de vazão na bacia hidrográfica do Rio Xanxerê (BHRX) considerando uma modelagem semi-distribuída por sub-bacias aplicando o modelo chuva-vazão aprimorado por Clark (HUIC). E também avaliar qual dos métodos de propagação permite representar de forma mais adequada a variação da vazão no rio ao ser considerado um evento de precipitação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na bacia hidrográfica do Rio Xanxerê (BHRX), localizada no oeste do estado de Santa Catarina (SC), Brasil, com uma área de drenagem de 111,2322 km<sup>2</sup> (Figura 1). A bacia foi delimitada à montante da seção de controle PCH Alto Irani Rio Xanxerê (73331800) sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS/SC) com resolução espacial de 1m x 1m. Os dados de chuva e de vazão utilizados no presente estudo foram adquiridos da mesma estação hidrológica que foi utilizada para delimitar a BHRX, os quais foram baixados da rede telemétrica da ANA com intervalos de tempo de 1 hora (<http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Xanxerê (BHRX) à montante da seção de controle PCH Alto Irani Rio Xanxerê (73331800). Fonte: Elaborado a partir de dados da base cartográfica do IBGE.



Inicialmente, foram selecionados três eventos de chuva, com diferentes durações, totais precipitados e intensidades médias, dando preferência a eventos de chuva de maior magnitude. Os eventos foram organizados com o intuito de gerar hietogramas com intervalo de tempo de 1 hora.

Para cada evento de chuva analisado, a resposta na seção de controle da bacia foi representada em termos da variação das vazões ao longo do tempo, também com intervalos de 1 hora. Para a separação do ESD e determinação do hidrograma apenas deste componente do escoamento, para cada evento de chuva, foi utilizado o Método das Inflexões, conforme descrito por Mello e Silva (2013). O volume de ESD foi obtido por integração numérica de acordo com a Regra dos Trapézios, possibilitando, na sequência, o cálculo da  $R_E$  de cada evento.

Posteriormente, foi aplicado o método *Natural Resources Conservation Service - Curve Number* (NRCS-CN), para calcular a distribuição temporal da  $R_E$  para cada evento em análise. Esta metodologia considera as abstrações iniciais ( $I_a$ ) e também valores de CN que variam para diferentes tipos de solos e cobertura vegetal. Compete destacar que foram considerados os valores de  $I_a$  para cada evento de chuva pela análise dos hietogramas e de seus respectivos hidrogramas de ESD, seguindo as recomendações de Chow, Maidment e Mays (1988). Já os valores de CN foram calibrados para cada evento de chuva, de modo que a soma de todas as  $R_E$ 's fosse igual ao ESD observado (em lâmina) na seção de controle da bacia, considerando o valor observado da  $I_a$  para cada evento.

Para a aplicação do HUIC é necessário determinar o Histograma-Tempo-Área (HTA), que pode ser obtido por meio da determinação das linhas isócronas que separa a bacia em subáreas. Além disso, no modelo, também é considerado a propagação do HTA por meio de um reservatório linear que representa o armazenamento da bacia. O modelo do HUIC é representado pelas seguintes equações (Clark, 1945):

$$Q_{i+1} = 2 \times C_o \times R_{E(i)} + C_1 \times Q_1 \quad (1)$$

$$C_0 = \frac{0,5 \times t}{R + 0,5 \times t} \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{R - 0,5 \times t}{R + 0,5 \times t} \quad (3)$$

Em que,  $Q$  é a ordenada do HUIC;  $t$  refere-se ao tempo;  $R_E$  é a precipitação efetiva uniformemente distribuída e dependente do Histograma Tempo-Área (HTA) e de uma constante de conversão de unidades;  $t$  é o intervalo de simulação em horas; e  $C_0$  e  $C_1$  são coeficientes de ponderação.

Visando estimar os parâmetros  $t_c$  (tempo de concentração) e  $R$  (capacidade de armazenamento) do modelo de HUIC a partir de características geomorfológicas de bacias foi utilizado a equação de Straub *et al.* (2000). A escolha da equação se baseou nos bons resultados encontrados nas modelagens dos hidrogramas de ESD no trabalho de Ogassawara (2019).

A modelagem hidrológica via HUIC foi realizada no *software* HEC-HMS versão 4.2.1. (USACE 2015) de forma semi-distribuída por sub-bacias. Dessa maneira, destaca-se que os dados de entrada para a modelagem foram computados para cada sub-bacia, sendo estes: hietograma de cada evento analisado, os valores ajustados de  $I_a$  e  $CN$  e também os valores calculados de  $t_c$  e  $R$ .

Além dos parâmetros do HUIC, também foram considerados os parâmetros dos métodos escolhidos para representar a propagação da vazão entre as sub-bacias. Nesse caso, um total de 5 metodologias para realizar a propagação do escoamento foram testadas, sendo elas, Onda Cinemática, *Lag*, Muskingum, Muskingum-Cunge e Straddle Stagger. Todas essas metodologias estão disponíveis para aplicação no próprio HEC-HMS. Nesse caso, esses métodos foram aplicados considerando dois trechos de rio dessa bacia hidrográfica, que estão apresentados no mapa à direita da Figura 1.

Para aplicação dessas técnicas, diferentes parâmetros têm que ser determinados, sendo que uma breve explicação de cada uma delas, baseada em USACE (2016), é realizada nos próximos parágrafos do texto.

- *Onda cinemática*: esse método simplifica as equações de Saint Venant, não considerando os termos referentes às forças inerciais e de pressão. Também, considera que a declividade da linha de energia é igual a declividade do leito, sendo dessa forma, mais adequado para rios íngremes. Os parâmetros necessários para a aplicação desse método são: o comprimento e a declividade do trecho, o coeficiente de Manning, o formato e a largura do canal e o número de subtrechos.
- *Lag*: esse é um método simples para representar a propagação do escoamento em um rio, pois ele apenas representa o processo de translação da onda de cheia. Dessa forma, é mais indicado para curtos trechos de rio em que o tempo de translação da onda de cheia é previsível. O único parâmetro necessário à aplicação desse método é o tempo de atraso da onda de cheia entre o ponto de entrada do hidrograma e o ponto de saída.
- Muskingum: esse método usa uma abordagem simples de conservação de massa para propagar o fluxo através do trecho. Dois parâmetros principais devem ser determinados, sendo eles, o  $K$ , que é referente ao tempo de viagem da onda de cheia, e o parâmetro  $X$ , que é referente ao quanto a onda de cheia foi atenuada no trecho de rio que está sendo considerado. Na maior parte das aplicações o valor de  $X$  se aproxima de 0,3.
- Muskingum-Cunge: esse método está baseado em uma combinação da equação da Conservação da Massa e uma simplificação da equação da Conservação do Momento. Representa a atenuação da onda de cheia e pode ser usado em rios que possuem baixas declividades. Os

parâmetros necessários à sua aplicação são os mesmos que os do método da onda cinemática, à exceção do número de subtrechos.

- **Straddle Stagger:** usa uma representação empírica dos processos de atenuação e translação do hidrograma ao longo do trecho. Os parâmetros de entrada são o tempo de viagem da onda de cheia ao longo do trecho e a duração que representa a quantidade de propagação em um pico de enchente à medida que ele percorre o trecho.

Por fim, os parâmetros do HUIC foram calibrados dentro do *software* HEC-HMS, onde foram identificados os valores ideais para os mesmos por meio da minimização da soma dos resíduos quadrados entre os dados hidrológicos observados e estimados (JOO et al., 2014). E para isto foi usado o algoritmo de Nelder e Mead (Nelder; Mead, 1965). Para analisar o desempenho do modelo foi realizada a comparação do hidrograma estimado de ESD com o observado, para cada evento, por meio de estatísticas, sendo estas: coeficiente de Nash-Sutcliffe ( $C_{NS}$ ) e coeficiente de performance Kling-Gupta (KGE).

Conforme Nash e Sutcliffe (1970), o  $C_{NS}$  expressa a eficiência da aplicação do modelo para estimativas, principalmente das vazões de cheias. Motovilov *et al.* (1999) sugerem a seguinte classificação para esse coeficiente:  $C_{NS} \geq 0,75$ , bom;  $0,36 \leq C_{NS} < 0,75$ , satisfatório; e  $C_{NS} < 0,36$ , insatisfatório. Já o Coeficiente de Kling e Gupta (KGE) é um indicador de performance dos modelos que relaciona a correlação, o viés e a variabilidade entre as séries simuladas e observadas. Gupta et al. (2009) apresentaram a seguinte classificação para o KGE:  $KGE \leq 0,0$ , muito ruim;  $0,0 < KGE < 0,5$ , ruim;  $0,5 \leq KGE < 0,75$ , intermediário e  $KGE \geq 0,75$ , bom.

## RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados das métricas de desempenho do  $C_{NS}$  e do KGE obtidas a partir do uso do *software* HEC-HMS para os 3 eventos de chuva considerados e para cada método de propagação de vazão aplicado. Em geral, foi obtido um bom desempenho, sendo o  $C_{NS}$  maior que 0,75 para todos os eventos e para todos os métodos de propagação de vazão testados. Os melhores resultados foram obtidos no evento 1 com valores de  $C_{NS}$  de 0,978 (Onda Cinemática), 0,968 (*Lag*), 0,967 Muskingum), 0,939 (Muskingum-Cunge) e 0,955 (Straddle Stagger). Tais valores são muito próximos e indicam um bom ajuste das vazões máximas. O menor desempenho entre todos os valores de  $C_{NS}$  foi encontrado na simulação do Evento 3 usando o método de Muskingum-Cunge (0,757).

Nesse sentido, foi possível perceber que para todos os eventos considerados e para todas as metodologias de propagação de vazão aplicadas, os valores do  $C_{NS}$  resultaram em modelos que podem ser considerados como bons de acordo com a metodologia proposta por Motovilov *et al.* (1999). Os melhores valores de  $C_{NS}$  para o Evento 1 e 3 foram obtidos por meio do uso da metodologia de propagação da Onda Cinemática e para o Evento 2 o melhor valor de  $C_{NS}$  é referente à metodologia *Lag*.

Tabela 1 – Resultados das métricas de desempenho avaliadas em cada um dos eventos e para cada método de propagação do escoamento testado.

Método	Evento 1		Evento 2		Evento 3	
	$C_{NS}$	KGE	$C_{NS}$	KGE	$C_{NS}$	KGE
<b>Onda cinemática</b>	0,978	0,882	0,801	0,712	0,891	0,592
<b>Lag</b>	0,968	0,851	0,849	0,870	0,790	0,537
<b>Muskingum</b>	0,967	0,867	0,846	0,891	0,796	0,479
<b>Muskingum-Cunge</b>	0,938	0,815	0,831	0,833	0,757	0,462
<b>Straddle Stagger</b>	0,955	0,905	0,840	0,763	0,793	0,511

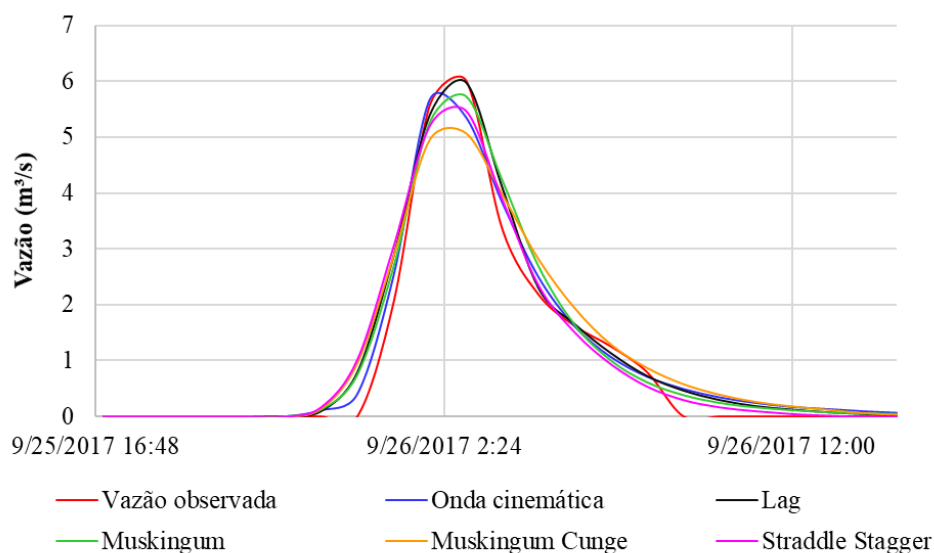
Ao analisar os valores obtidos da métrica de desempenho do KGE referentes ao Evento 1, pode ser percebido que os valores obtidos por todas as metodologias aplicadas resultaram em um modelo com qualidade boa de acordo com a classificação proposta por Gupta et al. (2009). Nesse caso, o melhor valor foi obtido para o método de Straddle Stagger (0,905) e o pior para o método de Muskingum-Cunge (0,815). Para o Evento 2, somente o valor de KGE referente ao método da Onda Cinemática que resultou em um modelo com qualidade intermediária, o resto dos métodos resultaram em um modelo com qualidade boa. Os piores valores de KGE foram obtidos para o Evento 3, em que os métodos de Muskingum e Muskingum-Cunge resultaram em um modelo com qualidade ruim e os métodos da Onda Cinemática, *Lag* e Straddle Stagger ficaram com qualidade intermediária.

Apesar disso, pode ser constatado que, em geral, os dados obtidos por meio da avaliação dessas duas métricas de desempenho para os três eventos analisados resultaram em modelos com qualidade satisfatória.

Ao avaliar os métodos que foram empregados para simular a propagação da vazão na BHRX, foi possível perceber que para os Eventos 1 e 3 a metodologia que melhor representou a variação da vazão na seção controle de jusante foi a da Onda Cinemática. No Evento 2, essa metodologia não apresentou os melhores resultados, mas os valores obtidos dos coeficientes podem ser considerados satisfatórios. Entre as vantagens da aplicação desse método está o fato de que os parâmetros necessários à sua aplicação podem ser facilmente obtidos a partir das características físicas do rio que está sendo analisado e as incertezas associadas à sua determinação são menores do que as incertezas associadas à determinação dos parâmetros necessários ao cálculo da propagação da onda de cheia por outros métodos, como é o caso do valor de K do método de Muskingum.

Nas Figuras 2, 3 e 4 estão apresentados os hidrogramas observados na seção controle da BHRX juntamente com os hidrogramas obtidos por cada um dos métodos.

Figura 2 – Vazões observadas no exutório da BHRX em decorrência do primeiro evento de precipitação avaliado ao comparar os diferentes métodos de propagação do escoamento.



Através da avaliação visual dos hidrogramas fica claro que dos três eventos analisados, o Evento 1 foi o que foi melhor representado considerando todas as metodologias de propagação da vazão. No Evento 2 pode ser percebido que os hidrogramas simulados por todas as metodologias subestimaram a vazão que foi observada na seção controle. Além disso, é perceptível uma diferença entre o momento em que ocorre a vazão máxima do hidrograma observado com os hidrogramas simulados, principalmente ao considerar as metodologias de propagação de Muskingum e Muskingum-Cunge. Para o Evento 3, as vazões simuladas também foram subestimadas, mas nesse

caso a diferença entre os dados observados e os dados gerados pelo modelo foram menores do que para o Evento 2.

Figura 3 – Vazões observadas no exutório da BHRX em decorrência do segundo evento de precipitação avaliado ao comparar os diferentes métodos de propagação do escoamento.

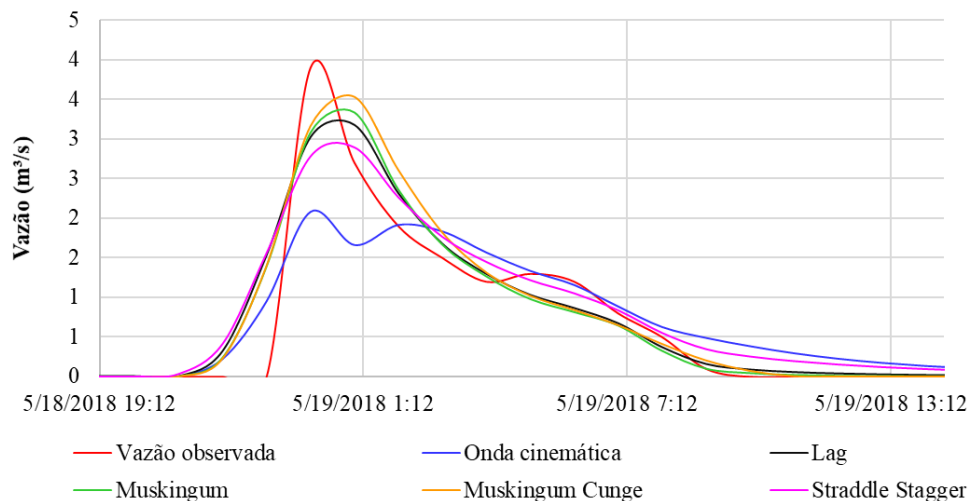
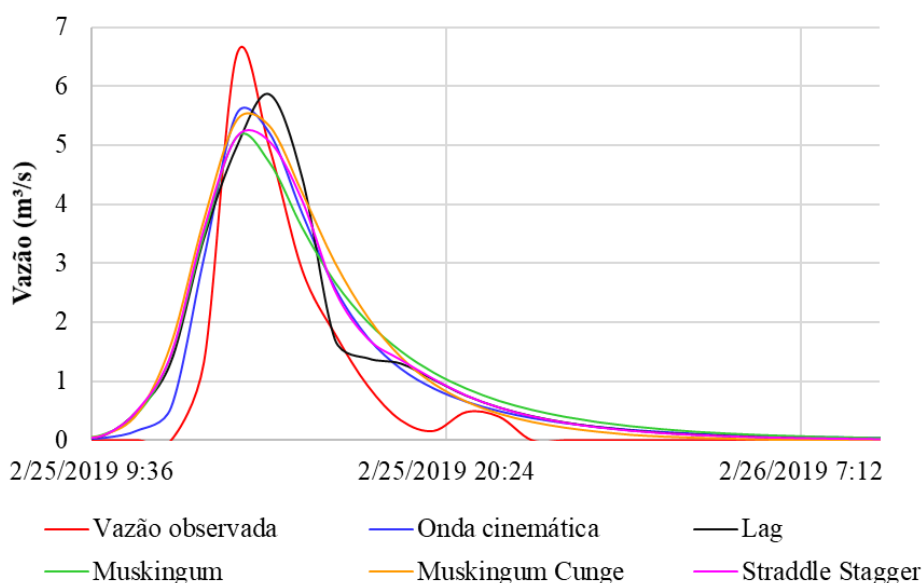


Figura 4 – Vazões observadas no exutório da BHRX em decorrência do terceiro evento de precipitação avaliado ao comparar os diferentes métodos de propagação do escoamento.



## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode ser percebido que para o caso da BHRX e para os eventos de precipitação analisados, todas as metodologias aplicadas permitiram representar de forma satisfatória a propagação da onda de cheia. Entre os principais resultados podem ser citados:

- A metodologia da Onda Cinemática foi a que apresentou os melhores valores relativos às métricas de desempenho. Além disso, essa é uma metodologia que pode ser facilmente aplicável, pois os parâmetros necessários à sua utilização são facilmente obtidos por meio do uso de ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG);
- Apesar de considerar somente a translação da onda de cheia, a metodologia *lag* resultou em bons valores relativos às métricas de desempenho de  $C_{NS}$  e do KGE. Além disso, a

aplicação dessa metodologia apresenta a vantagem de ser necessário determinar somente um coeficiente para sua utilização;

- Para o caso da BHRX, a aplicação dos métodos de Muskingum e Muskingum-Cunge apresentaram os piores resultados. Muito provavelmente, os valores mais baixos obtidos a partir do uso da metodologia de Muskingum se deve a dificuldade em determinar os valores dos parâmetros de entrada.

Por fim, considerando o elevado número de registros relacionados a eventos de inundação, destaca-se a importância de estudar a propagação da onda de cheia de modo que esses eventos sejam bem representados, tanto em sua magnitude quanto no tempo de ocorrência, de modo a auxiliar em sua gestão e prevenção de acidentes.

## REFERÊNCIAS

- ALEMNGUS, A.; MATHUR, B. S. 2014. “*Geomorphologic Instantaneous Unit hydrographs for rivers in Eritrea (East Africa)*”. Journal of Indian Water Resources Society, v. 34, n. 1, p. 1-14.
- BATES, P. D; HORRITT M. S.; FEWTRELL T. J. 2010. A Simple Inertial Formulation Of The Shallow Water Equations For Efficient Two-Dimensional Flood Inundation Modelling, J. Hydrol. 387, pp. 33-45.
- BRUNDA, G.; NYAMATHI, S. 2015. “*Derivation and analysis of dimensionless hydrograph and S curve for cumulative watershed area*”. Aquatic Procedia, v. 4, p. 964-971.
- CASTRO, A. L. C. (2003). Manual de desastres. Brasília: Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. v.1. p. 174.
- CEPED-UFSC - Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. 2013. “*Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012*”. Volume Rio Grande do Sul. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 184p. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>. Acesso: 28 de mai. 2021.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. 1988. “*Applied Hydrology*”. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 588 p.
- CLARK, C. O. 1945. “*Storage and the Unit Hydrograph*”. Transactions American Society Civil, Engineers 110, pp. 1419-1488.
- FAN, F. M.; PONTES, P. R. M.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W. (2014). “*Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant*.” Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 19(4), 137-147.
- GHUMMAN, A. R.; AHMAD, M. M.; HASHMI, H. N.; KAMAL, M. A. 2012. “*Development of geomorphologic instantaneous unit hydrograph for a large watershed*”. Environmental Monitoring and Assessment 184, pp. 3153-3163.
- GONTIJO, N. T. 2007. “*Avaliação das relações de frequência entre precipitações e enchentes raras por meio de séries sintéticas e simulação hidrológica. 2007*”. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte.
- GUPTA, H. V; KLING, H.; YILMAZ, K. K.; MARTINEZ, G. F. (2009). “*Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling*.” Journal of Hydrology, v. 377, Issues 1-2, p. 80-91.



- LAMPERT, D. J.; WU, M. 2015. “*Development of an open-source software package for watershed modeling with the Hydrological Simulation Program in Fortran*”. Environmental Modelling & Software, v. 68, p. 166-174.
- LIU, J.; ZHU, A. X.; QIN, C. Z.; WU, H.; JIANG, J. 2016. “*A two-level parallelization method for distributed hydrological models*”. Environmental Modelling & Software, v. 80, p. 175-184.
- MELLO, C. R. de.; SILVA, A. M. D. 2013. “*Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas*”. 1ª. ed. Lavras: UFLA. 455 p.
- MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. Van; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D. & VEITH, T. (2007). “*Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.*” Transactions of the ASABE, 50, 885-900.
- MOTOVILOV, Y. G.; GOTTSCHALK, L.; ENGELAND, K.; RODHE, A. 1999. “*Validation of a distributed hydrological model against spatial observations*”. Agricultural and Forest Meteorology 98-99, pp. 257-277.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. 1970. “*River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles*”. Journal of Hydrology 10(3), pp. 282- 298.
- NELDER, J. A.; MEAD, R. 1965. “*A simplex method for function minimization*”. The computer journal, v. 7, n. 4, p. 308-313.
- OGASSAWARA J. F. 2019. “*Modelagem de cotas de cheias a partir de vazões derivadas de hidrogramas unitários instantâneos geomorfológicos*”. 170f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós - Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- PONTES, P. R.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C.; BUARQUE, D. C. 2015. “*Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 20(4), pp. 888-904.
- PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W. (2012). “*Conservação de volume em modelos simplificados de propagação de vazão*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 17, pp. 83-96.
- RYU, J.; JANG, W. S.; KIM, J.; CHOI, J. D.; ENGEL, B. A; YANG, J.E.; LIM, K. J. 2016. “*Development of a watershed-scale long-term hydrologic impact assessment model with the asymptotic curve number regression equation*”. Water, v. 8, n. 4, p. 153.
- SHERMAN, L. K. 1932. “*Streamflow from rainfall by the unit-graph method*”. Engineering News Record 108, pp. 501-505.
- STRAUB, T. D.; MELCHING, C. S.; KOCHER, K. E. 2000. “*Equations for estimating Clark unit-hydrograph parameters for small rural watersheds in Illinois*”. US Dept. of the Interior, US Geological Survey; Branch of Information Services.
- TUCCI, E. M. T. 2005. Modelos Hidrológicos. Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. 2ª edição. Porto Alegre, Editora da UFRGS.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). 2015. “*Hydrologic Modeling System HEC-HMS Version 4.1, Release Notes*”. Army Corps of Engineers.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). 2016. “*Hydrologic Modeling System HEC-HMS Version 4.2, User’s Manual*”. Army Corps of Engineers.
- VAN LIEW, M. W.; VEITH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. 2007. “*Suitability of SWAT for the Conservation Effects Assessment Project: Comparison on USDA Agricultural Research Service Watersheds*”. Journal of Hydrological Engineering 12(2), pp. 173-189.