

AVALIAÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO INSTANTÂNEO DE CLARK PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JAGUARA, MINAS GERAIS

GABRIELA SCHIAVON NUNES¹; CRISTIAN LARRI PIRES WEBER¹, TAMARA LEITZKE CALDEIRA¹, CARLOS ROGÉRIO DE MELLO²; LESSANDRO COLL FARIA³; SAMUEL BESKOW³

¹*Discente da UFPEL/PPG Recursos Hídricos – gabriela-schiavon@hotmail.com, cristian.weber@hotmail.com, tamaracaldeira.eh@gmail.com*

²*Docente da UFLA/Departamento de Engenharia – crmello@deg.ufla.br*

³*Docente da UFPEL/Engenharia Hídrica – samuelbeskow@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

A modelagem de cheias em uma bacia hidrográfica, através da quantificação de vazões máximas e hidrogramas é bastante relevante quando objetiva-se analisar a susceptibilidade da bacia a eventos extremos, pois pode fornecer subsídios técnicos para prever a resposta da bacia a um evento de precipitação e projetar estruturas hídricas necessárias para um convívio adequado com os extremos hidrológicos.

Este tipo de modelagem hidrológica é dependente da existência de monitoramento no curso d'água de interesse. A carência de dados hidrológicos resultou no desenvolvimento de modelos de simulação hidrológica, tendo estes variadas aplicações na área de recursos hídricos, principalmente em regiões que não possuem uma rede de monitoramento representativa.

Dentre os métodos destinados à modelagem do escoamento superficial direto em bacias hidrográficas, pode ser dado destaque à teoria do Hidrograma Unitário (HU). O HU é um modelo conceitual que assume a teoria dos sistemas lineares e incorpora as características do evento de precipitação no processo de simulação. Posteriormente ao desenvolvimento do HU, surgiu a ideia de Hidrograma Unitário Instantâneo (HUI), que foi inicialmente apresentada por Clark em 1945, onde nesse modelo o excesso de chuva unitária é aplicado uniformemente sobre a bacia inteira em um intervalo de tempo infinitesimal (AHMAD et al., 2009). Os modelos conceituais de Nash e de Clark são exemplos de HUI e os seus parâmetros são preferencialmente obtidos a partir de dados de hietogramas e dos respectivos hidrogramas. Estes parâmetros podem ser obtidos a partir de características geomorfológicas da bacia hidrográfica de interesse, entretanto, análises devem ser realizadas no intuito de avaliar a adequação da metodologia de estimativa.

Este estudo objetiva avaliar uma metodologia de determinação do parâmetro K do modelo HUI de Clark e calibrar os parâmetros t_c e K usando o modelo hidrológico HEC-HMS, a fim de simular hidrogramas de escoamento superficial direto na bacia hidrográfica ribeirão Jaguará, localizada no sul de Minas Gerais.

2. METODOLOGIA

O local de estudo compreende a bacia hidrográfica do ribeirão Jaguará (BHRJ), com área aproximada de 32 km², a qual está situada no sul do estado de Minas Gerais e apresenta uma ocupação predominantemente rural.

Os dados analisados correspondem a quatro eventos chuva-vazão monitorados na referida bacia hidrográfica durante o ano hidrológico 2011-2012. Estes permitiram que fosse realizada a separação do escoamento, usando o

método dos filtros digitais (ECKHARDT, 2005), em cada evento analisado. O HUI de Clark (HUIC) foi empregado para promover a transformação da chuva efetiva em vazão de escoamento superficial direto, sendo utilizado, para tanto, a plataforma do Hydrologic Engineering Center (HEC), através do seu módulo hidrológico Hydrologic Modeling System (HMS). A opção escolhida no HEC-HMS para determinação de chuvas efetivas foi a “Initial and Constant Loss Model”, a qual é semelhante à conhecida metodologia do índice ϕ .

O HUIC é um método de hidrograma unitário instantâneo que considera dois processos importantes na transformação de chuva efetiva em escoamento: atenuação e translação. É representado pelos parâmetros *tempo de concentração* e *coeficiente de armazenamento* da bacia, sendo este um índice de armazenamento temporário do excesso de chuva na bacia à medida que ele drena em direção à seção de controle. A forma matemática para o HUIC é apresentada como (AHMAD et al., 2009):

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

onde o índice i varia de 1 a N , sendo N é o número de ordenadas do Histograma Tempo-Área (HTA); R_E é a chuva efetiva uniformemente distribuída, representando as ordenadas HTA, em km^2 , multiplicada por uma constante para conversão de unidades; Q_{i+1} é a ordenada do HUIC; C_o e C_1 são coeficientes de ponderação propostos por Muskingham [$C_o = 0.5t/(R+0.5t)$ e $C_1 = (R-0.5t)/(R+0.5t)$]; e t é o intervalo de tempo computacional.

O HTA representa, de modo aproximado, o hidrograma do escoamento superficial direto de uma precipitação efetiva unitária instantânea na ausência de qualquer armazenamento na bacia e foi obtido dentro do ambiente do HEC-HMS. O coeficiente K foi estimado a partir de MOHAVE COUNTY (2009) que recomenda para sua determinação a seguinte equação:

$$K = \frac{0,435 \cdot t_c^{1,11} \cdot L^{0,80}}{A^{0,57}} \quad (2)$$

em que K é o coeficiente de armazenamento (horas), t_c é o tempo de concentração (horas), determinado através da equação de Ven Te Chow, L é a maior distância até seção de controle (km) e A é a área da bacia (km^2).

Posteriormente, os parâmetros *tempo de concentração* e *coeficiente de armazenamento* foram calibrados para cada evento analisado, usando o modelo HEC-HMS.

O desempenho do HUI de Clark foi avaliado de acordo com o coeficiente de Nash-Sutcliffe:

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{i_{obs}} - Q_{i_{sim}})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{i_{obs}} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (3)$$

onde $Q_{i_{obs}}$ é a vazão observada no tempo $t = i$, $Q_{i_{sim}}$ a vazão simulada no tempo $t = i$, \bar{Q}_{obs} a vazão média observada e N é o número de ordenadas do hidrograma.

Para análise nas etapas de avaliação e calibração, considerando valores de C_{NS} , foi utilizada a classificação de SANTHI et al. (2001): $C_{NS} > 0,65$ o modelo é considerado muito bom; $0,54 < C_{NS} < 0,65$ o modelo é considerado bom e entre 0,5 e 0,54 satisfatório.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos de t_c e K foram 5,26 horas e 2,87 horas, respectivamente. Os hidrogramas simulados para os eventos de chuva observados, a partir de t_c e K e considerando o HUIC, são ilustrados na Figura 1.

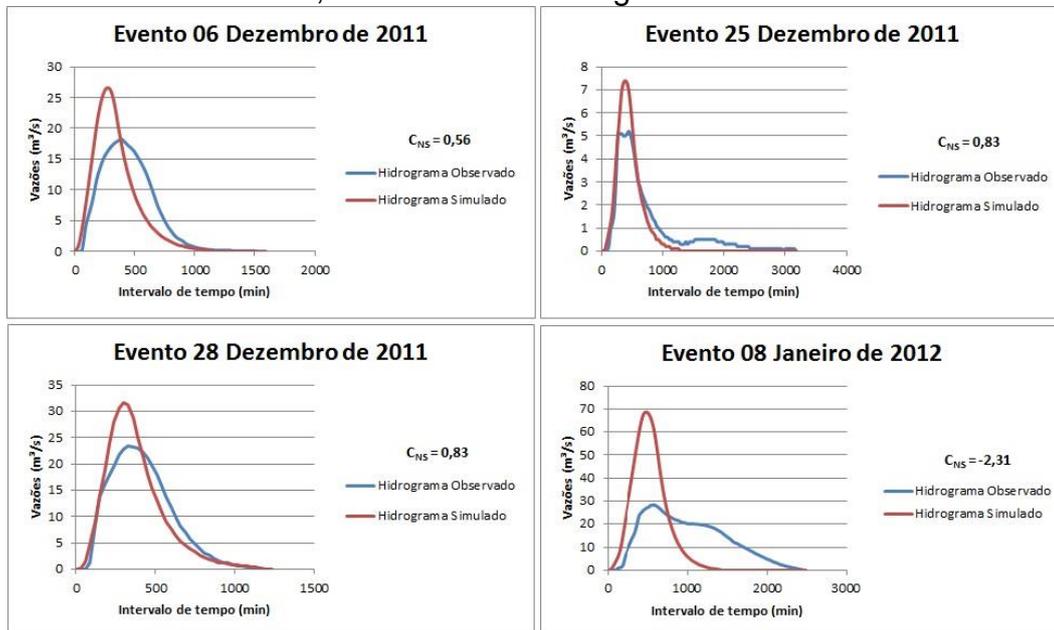


Figura 1- Vazões observadas e simuladas com o modelo do HUIC, considerando $t_c = 5,26h$ e $K = 2,87h$.

Embora a simulação de dois dos quatro eventos tenham resultado em valores de C_{NS} enquadrados como muito bom e um evento enquadrado como bom, de acordo com classificação proposta por SANTHI et al. (2001), nota-se claramente que houve superestimativa das vazões de picos e diferenças na sequência temporal de vazões observadas em relação àquelas simuladas. Esta característica pode ser atribuída a metodologia utilizada para estimativa de K , a qual pode não ser apropriada para a região de estudo.

Os resultados decorrentes da calibração de t_c e K do HUIC, para cada evento, são apresentados na Figura 2. Após a calibração do modelo, os valores de C_{NS} para os quatro eventos foram de 0,98, 0,97, 0,97 e 0,94, podendo ser observado que todos os eventos tiveram resultados enquadrados como muito bom, segundo SANTHI et al. (2001). Este estudo permite constatar que a calibração dos parâmetros por evento de chuva produziu resultados mais satisfatórios. Entretanto, se faz necessário dados observados de vazão, o que torna sua aplicação mais difícil, dada a carência de monitoramento.

Também pôde-se observar, com base na Figura 2, que ocorreu variação nos valores de t_c e K entre os eventos simulados. Isso realmente ocorre na prática, entretanto, torna a análise mais complexa. Esta constatação corrobora com o apontado por AHMAD et al. (2009), no sentido de que o modelo HUIC frequentemente não tem sido utilizado em virtude da dificuldade na estimativa dos seus parâmetros.

Cabe ressaltar que os resultados apresentados nas duas etapas foram obtidos a partir de metodologia similar ao índice ϕ para determinação da distribuição temporal de chuvas efetivas. Recomenda-se que trabalhos futuros de pesquisa avaliem outros métodos de estimativa de distribuição temporal de chuvas efetivas, tais como número da curva e modelo teórico de infiltração de Green-Ampt.

Outra constatação importante neste trabalho foi em relação à calibração dos parâmetros para cada evento, pois deu indícios de que o método de empregado no HEC-HMS, conhecido como método de Nelder e Mead, foi instável por ser muito dependente dos valores iniciais sugeridos pelo usuário e por não possibilitar estabelecer restrições entre os parâmetros, culminando, para alguns eventos, em valores de K maiores que tc. Assim, os autores recomendam que sejam utilizados métodos de otimização mais robustos para esta calibração como, por exemplo, o método Shuffled Complex Evolution.

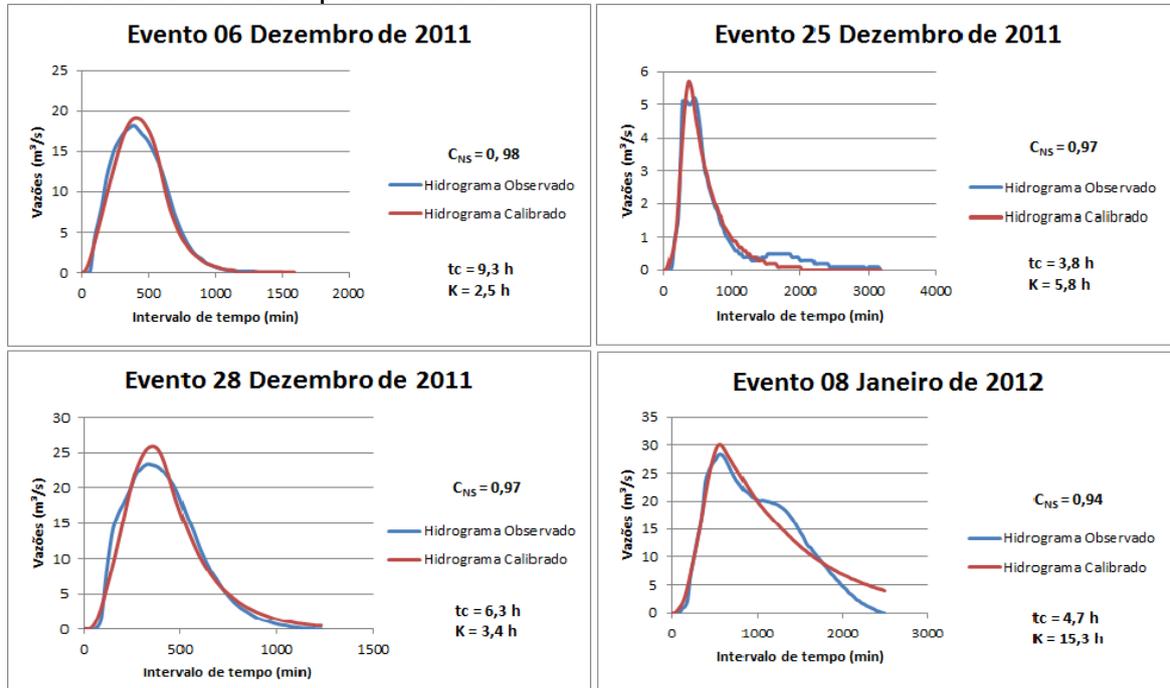


Figura 2 – Vazões observadas e simuladas pelo HUIC após a calibração dos parâmetros t_c e K.

4. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que é necessário ter cautela ao empregar metodologias gerais, desenvolvidas em regiões variadas do mundo, para a estimativa da constante K do HUIC na bacia hidrográfica ribeirão Jaguará. Além disso, foi possível concluir que devem ser desenvolvidas metodologias específicas de estimativa do coeficiente K para a região onde está inserida a bacia hidrográfica analisada, de modo a permitir a utilização do modelo HUIC de forma satisfatória para a modelagem de cheias.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, M. M.; GHUMMAN, A. R.; AHMAD, S. Estimation of Clark's Instantaneous Unit Hydrograph parameters and development of direct surface runoff hydrograph. **Water Resources Management** 23: 2417-2435. 2009.
- ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. **Hydrological Processes** 19 : 507-515. 2005.
- MOHAVE COUNTY. **Drainage design manual for Mohave County**. 2009.
- SANTHI, C.; ARNOLD, J. G.; WILLIAMS, J. R.; DUGAS, W. A.; SIRINIVASAN, R.; Hauck, L. M. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. **Journal of the American Water Resources Association**, v.37, p.1169-1188, 2001.