

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

APLICABILIDADE DE PROPOSTAS GEOMORFOLÓGICAS PARA O MODELO DE NASH EM DUAS SUB-BACIAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PELOTAS

Zandra Almeida da Cunha¹; Maíra Martim de Moura²; Samuel Beskow³; Fabrício da Silva Terra⁴;

RESUMO – A estimativa de vazões máximas, bem como a caracterização dos hidrogramas de escoamento superficial direto (ESD), são fatores determinantes na gestão dos recursos hídricos. Neste sentido, a utilização de propostas geomorfológicas para a estimativa de hidrogramas de ESD vem sendo difundida para diversas aplicações em bacias hidrográficas. Este estudo objetivou avaliar o impacto da utilização de propostas geomorfológicas para a obtenção dos parâmetros do Modelo do Hidrograma Unitário Instantâneo de Nash, visando à modelagem de cheias. Foram aplicadas quatro propostas geomorfológicas (P_1 , P_2 , P_3 e P_4) em duas bacias hidrográficas de condições hidrológicas parecidas (arroyos Cadeia e Caneleira – BHAC e BHACN, respectivamente), localizadas no Sul do Rio Grande do Sul, utilizando 8 e 10 eventos chuva-vazão. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que: i) a P_2 produziu bons resultados na estimativa dos hidrogramas para a BHAC, enquanto que, para a BHACN produziu os piores resultados; ii) na utilização de propostas como a P_1 e a P_2 , as estimativas tornam-se totalmente condicionadas aos parâmetros do relevo da bacia; iii) é importante averiguar as características das bacias hidrográficas utilizadas na formulação das propostas geomorfológicas, comparando com as características da bacia de interesse, para constatar a adequabilidade da proposta para estimativa dos hidrogramas.

ABSTRACT – The estimation of maximum streamflows and the characterization of direct surface runoff (DSR) hydrographs are of great importance for water resources management. In this context, the use of geomorphological approaches for estimation of DSR hydrographs has been increasingly diffused for several applications in watersheds. This study had as objective to assess different geomorphological approaches for parameterization of Nash's Instantaneous Unit Hydrograph (NIUH) for flood modeling. Four geomorphological approaches (P_1 , P_2 , P_3 and P_4) were appraised taking as reference 8 and 10 rainfall-runoff events observed in two watersheds with similar hydrological conditions (Cadeia river watershed – CRW and Caneleira river watershed – CNRW, respectively), situated in the Southern Rio Grande do Sul State. Based on the results obtained in this study, it was found that: i) P_2 provided good estimates of hydrographs for CRW, whereas, such approach produced the worst results for CNRW; ii) when using P_1 and P_2 , estimations were totally dependent on the watershed's relief parameters; iii) it is important to investigate the characteristics of the watersheds used in the development of geomorphological approaches, i.e. they need to be compared to those existing in the watershed of interest in order to analyze whether a given approach is appropriate or not.

Palavras-Chave – Modelagem hidrológica; chuva-vazão; cheias.

1) Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Rua Gomes Carneiro, 1 – Centro, Pelotas/RS, (53) 3284-3840, zandraacunha@gmail.com

2) Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Rua Gomes Carneiro, 1 – Centro, Pelotas/RS, (53) 3284-3840, martimdemoura@gmail.com

3) Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Rua Gomes Carneiro, 1 – Centro, Pelotas/RS, (53) 3284-3840, samuel.beskow@ufpel.edu.br

4) Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Av. Vereador João Narciso, 1380 – Unai/MG, (38) 36779950, fabricio.terra@ufvjm.edu.br

INTRODUÇÃO

No que tange à gestão dos recursos hídricos e dimensionamento de projetos hidráulicos, a compreensão do comportamento do ciclo hidrológico é de suma importância, principalmente, no tocante à estimativa adequada das magnitudes e frequências dos eventos de vazões máximas (Cassalho *et al.*, 2017). A estimativa de vazões máximas associadas a uma dada frequência é realizada a partir de séries históricas providas do monitoramento hidrológico da bacia hidrográfica de interesse. No entanto, segundo Beskow *et al.* (2016), a densidade de estações de monitoramento fluviométrico em países em desenvolvimento (e.g. Brasil) pode não ser suficiente para atender demandas específicas de projetos. Ademais, de acordo com os mesmos pesquisadores, as curtas séries históricas disponíveis, especialmente nas pequenas e médias bacias, dificultam as análises para predição, tornando necessária a aplicação de métodos indiretos para a estimativa da variável hidrológica de interesse.

Neste contexto, a modelagem hidrológica de eventos de cheias é uma ferramenta imprescindível (Adib *et al.*, 2010), sendo apresentadas diversas metodologias para estimativa do hidrograma de cheias, como os modelos baseados na teoria do Hidrograma Unitário (HU) (Adib *et al.*, 2010). O HU, proposto por Sherman (1932), é amplamente adotado como uma ferramenta versátil para a hidrologia, sendo identificado a partir de uma série temporal conhecida de precipitação e escoamento (Singh, 2015). No entanto, Clark (1945) propôs o conceito de Hidrograma Unitário Instantâneo (HUI), ao definir que a resposta da bacia seria independente da duração, se referindo a uma chuva unitária instantânea.

Desde então, diversos modelos conceituais, de analogia física ou simulação matemática, têm sido desenvolvidos para representar o HUI, com destaque para o HUI de Nash (HUIN) (Nash, 1957). O HUIN simula a propagação do escoamento na bacia hidrográfica a partir de n reservatórios lineares, com tempo médio de esvaziamento representado pelo parâmetro k (Choi *et al.*, 2011), contudo, ainda faz-se necessário o uso de informações providas de monitoramento hidrológico para sua aplicação, além de requerer constante atualização dos parâmetros (Bhaskar *et al.*, 1997).

Rodríguez-Iturbe; Valdés (1979) estabeleceram o conceito de HUI Geomorfológico (HUIG), estabelecendo uma relação direta entre a geomorfologia da bacia hidrográfica e a sua resposta hidrológica. Assim sendo, muitos autores vêm estudando aproximações geomorfológicas dos modelos conceituais, como o HUIN, para parâmetros de ajuste obtidos a partir da caracterização física da bacia hidrográfica e da rede de drenagem, tais como área, declividade da bacia e comprimento e declividade do curso d'água principal (Nash, 1960; Wu, 1963), ou ainda, velocidade do escoamento e as razões de bifurcação, comprimento e entre áreas (Rosso, 1984; Bhaskar *et al.*, 1997).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto da aplicação das propostas geomorfológicas apresentadas por Nash (1960), Wu (1963), Rosso (1984) e Bhaskar *et al.* (1997) para a estimativa dos parâmetros do modelo HUIN, visando à modelagem de eventos de cheia em duas bacias hidrográficas monitoradas localizadas no sul do Rio Grande do Sul.

METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido em duas bacias do Sul do Rio Grande do Sul, a bacia hidrográfica do arroio Cadeia (BHAC) e a bacia hidrográfica do arroio Caneleira (BHACN), que possuem áreas de drenagem de 135,8 km² e 67,9 km², respectivamente. Os arroios Cadeia e Caneleira são importantes afluentes da bacia hidrográfica do arroio Pelotas (BHAP), cuja localização e rede de monitoramento são apresentadas na Figura 1. O clima predominante nas bacias de estudo é classificado, segundo a classificação de Köppen, como Cfa (Alvares *et al.*, 2014), e o solo e uso predominantes são argissolos e áreas cultivadas, respectivamente (Moura, 2018).

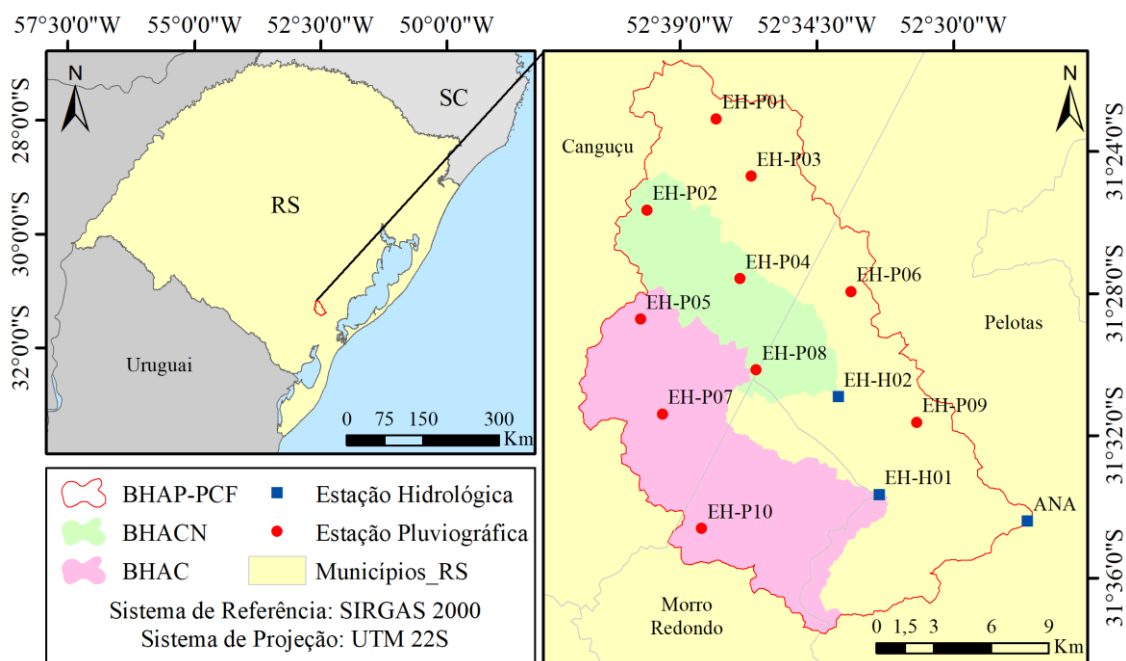


Figura 1 - Localização da BHAC e da BHACN no Rio Grande do Sul e na BHAP-PCF, bem como a disposição da rede de monitoramento e dos municípios que contemplam a área de estudo.

A rede de monitoramento da BHAP (Figura 1), considerando o exutório na Ponte Cordeiro de Farias, é composta por 10 estações pluviográficas e 2 estações hidrológicas, uma no exutório da BHAC (EH-H01) e outra no exutório da BHACN (EH-H02). As estações hidrológicas monitoram nível d'água e precipitação em intervalos de 5 min (BHACN) e 10 min (BHAC), enquanto que as pluviográficas monitoram precipitação em intervalos de 5 min. Para este estudo os dados dos eventos da rede de monitoramento foram agrupados em intervalos de 30 min. Os valores de nível

foram convertidos em vazões por meio das curvas-chave elaboradas com base em campanhas hidrológicas realizadas nas bacias de estudo.

A partir dos dados de precipitação e vazão providos da rede de monitoramento, foram selecionados eventos de precipitação com diferentes durações, volumes e intensidades média que resultassem em hidrogramas unimodais. Para calcular a precipitação média dos eventos selecionados foi realizada a ponderação dos dados de precipitação, utilizando a metodologia dos polígonos de Thiessen (Thiessen e Alter, 1911), com dados provenientes de 6 e 7 estações, respectivamente para a BHAC e a BHACN. A separação do ESD de cada evento foi realizada utilizando o procedimento denominado como inflexões A e C, apresentado em Chow *et al.* (1998).

A partir da razão entre o volume de ESD e a área da bacia, foi obtida a lâmina de ESD, a qual corresponde numericamente à precipitação efetiva (P_e). O hietograma de P_e foi obtido para cada evento de precipitação utilizando o modelo Número da Curva (CN/SCS) (SCS, 1986), desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. O parâmetro curva número (CN) do modelo CN/SCS foi calibrado para cada evento observado de maneira que a lâmina de ESD se igualasse a soma dos incrementos do hietograma de P_e .

A modelagem hidrológica dos eventos foi realizada utilizando o HUI de Nash (Nash, 1957) (Equação 1), o qual considera que a resposta da bacia hidrográfica a um evento de precipitação pode ser obtida pela propagação do escoamento até a seção de controle por n reservatórios lineares em cascata, com tempo médio de esvaziamento representado pelo parâmetro k (Tucci, 2009).

$$u(t) = \frac{1}{k \cdot \Gamma(n)} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \cdot e^{-\frac{t}{k}} \quad (1)$$

Em que, $u(t)$ denota as ordenadas do HUI do modelo de Nash, t é o tempo, n e k são os parâmetros do modelo Nash e Γ a função gama.

A aplicação do modelo HUIN em bacias que não possuem monitoramento hidrológico é pouco usual, visto que os parâmetros deste (k e n) são determinados com base nos hietogramas e hidrogramas observados. Desta forma, neste estudo foram avaliadas quatro propostas geomorfológicas para obtenção dos parâmetros do modelo HUIN, sendo, a de Nash (1960) (P_1) (Equações 2 e 3), de Wu (1963) (P_2) (Equações 4, 5 e 6), de Rosso (1984) (P_3) (Equações 7 e 8) e de Bhaskar *et al.* (1997) (P_4) (Equações 9 e 10).

$$n = 2,44 \cdot L^{0,1} \quad (2)$$

$$k = \frac{11,31 \cdot A^{0,3}}{S^{0,3} \cdot L^{0,1}} \quad (3)$$

$$t_p = (n - 1) \cdot k \quad (4)$$

$$t_p = \frac{31,42 \cdot A^{1,085}}{L^{1,233} \cdot S^{0,668}} \quad (5)$$

$$k = \frac{780 \cdot A^{0,937}}{L^{1,474} \cdot S_r^{1,473}} \quad (6)$$

$$n = 3,29 \cdot \left(\frac{R_B}{R_B}\right)^{0,78} \cdot R_B^{0,07} \quad (7)$$

$$k = 0,70 \cdot \left(\frac{R_A}{R_B \cdot R_L}\right)^{0,48} \cdot \frac{L_\Omega}{v} \quad (8)$$

$$\frac{1}{\Gamma(n)} \cdot (n-1)^n \cdot e^{-(n-1)} = 0,5764 \cdot \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} \cdot R_L^{0,05} \quad (9)$$

$$k = \frac{0,44}{(n-1)} \cdot \frac{L_\Omega}{v} \cdot \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} \cdot R_L^{-0,38} \quad (10)$$

Em que, n é o número de reservatórios; k é o tempo de esvaziamento dos reservatórios, em horas; A é a área da bacia, em mi^2 ; S é a declividade média da bacia, em partes por 10.000; L é o comprimento do curso d'água principal, em mi ; t_p é o tempo de pico, em horas; S_r é a declividade média do curso d'água principal, em partes por 10.000; L_Ω é o comprimento do curso d'água de maior ordem, em km ; v é a velocidade dinâmica em $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$); R_A é a razão entre áreas; R_B é a razão de bifurcação e R_L é a razão de comprimento.

Para a aplicação das propostas selecionadas se fez necessária a caracterização física das bacias de estudo. Para delimitação das bacias mesmas foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30m, disponibilizado de forma gratuita pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos, e que, segundo Moura (2018), representou de forma satisfatória o relevo da região de estudo. Este processo foi realizado de forma automática no software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2014) e as características físicas computadas foram: área de drenagem, declividade média da bacia, comprimento e declividade média do curso d'água principal, valores médios das razões de bifurcação (R_B) e de comprimento (R_L) (Horton, 1945) e da razão entre áreas (R_A) (Schumm, 1956).

Após a obtenção dos parâmetros do HUIN, pelas diferentes propostas, os HUIs obtidos foram convertidos em HUs, por meio do processo de convolução, como também realizado por Moura (2018). Para isso, foi considerada uma precipitação efetiva unitária (P_u) de 1 mm incidindo de forma uniforme sobre a área das bacias, durante um intervalo de tempo de 30 minutos. Os hidrogramas de ESD foram obtidos a partir dos HUs combinados com os hietogramas de P_e extraídos dos eventos selecionados.

O desempenho das propostas quanto ao comportamento das vazões estimadas ao longo do tempo foi avaliado empregando o coeficiente de Nash e Sutcliffe (C_{NS}) (Nash e Sutcliffe, 1970) o qual varia de $-\infty$ à 1. Motovilov *et al.* (1999) sugerem a seguinte classificação para o C_{NS} : $C_{NS} \geq 0,75$, ajuste bom; $0,36 < C_{NS} < 0,75$, ajuste satisfatório; $C_{NS} \leq 0,36$, ajuste insatisfatório. A análise das vazões máximas estimadas foi realizada a partir do erro relativo na estimativa da vazão de pico (ER_{Qp}), que indica a representatividade das propostas frente aos dados observados (Moriasi *et al.*,

2007). Segundo a classificação proposta por Van Liew *et al.* (2007): $|ER_{Qp}| < 10\%$, muito bom; $10\% < |ER_{Qp}| < 15\%$, bom; $15\% < |ER_{Qp}| < 25\%$, satisfatório e $|ER_{Qp}| > 25\%$, insatisfatório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionados 10 eventos para a BHAC e 8 eventos para a BHACN, cujas características estão apresentadas na Tabela 1. Na Tabela 2, estão apresentadas as características físicas das bacias que foram utilizadas para a obtenção dos parâmetros n e k do HUIN, e na Tabela 3, os valores de n e k obtidos para cada proposta geomorfológica utilizada.

Tabela 1 – Caracterização dos eventos chuva-vazão utilizados para a modelagem da BHAC e BHACN

Evento	BHAC				BHACN			
	P_{total} (mm)	P_e (mm)	$Q_{ESD,Máx}$ (m ³ /s)	$v_{Máx}$ (m/s)	P_{total} (mm)	P_e (mm)	$Q_{ESD,Máx}$ (m ³ /s)	$v_{Máx}$ (m/s)
1	113,2	21,6	50,08	1,15	16,2	1,0	1,53	0,57
2	47,6	4,6	17,93	0,87	32,4	2,5	5,16	0,74
3	41,3	8,1	51,60	1,16	20,9	2,4	3,96	0,70
4	37,3	6,2	33,64	1,03	25,0	2,2	3,30	0,67
5	18,4	2,3	12,02	0,78	29,1	2,6	5,63	0,75
6	31,6	2,8	16,17	0,85	27,1	3,1	6,25	0,77
7	53,5	2,2	10,35	0,75	33,6	2,2	5,14	0,74
8	44,6	2,7	14,88	0,83	25,6	3,6	7,10	0,79
9	21,0	1,6	6,25	0,66	-	-	-	-
10	36,4	1,3	6,26	0,66	-	-	-	-

Tabela 2 – Características físicas utilizadas para a obtenção dos parâmetros necessários para a modelagem das propostas geomorfológicas do HUIN

Bacia	Área (km ²)	Comprimento do curso d'água principal (km)	Declividade média da bacia (%)	Declividade média do curso d'água principal (%)	R_B	R_L	R_A	L_Ω (km)
BHAC	135,78	23,87	11,94	0,61	4,12	2,71	2,47	16,76
BHACN	67,92	21,23	10,96	0,97	4,17	2,48	2,33	11,55

Percebe-se que os parâmetros do HUIN foram mais sensíveis as variáveis utilizadas pela P_2 , principalmente à declividade do curso d'água principal, que apresentou valores discrepantes das demais propostas, principalmente para o fator k . As propostas P_3 e P_4 apresentaram valores muito aproximados entre si, para ambas as bacias de estudo. Em relação à P_1 , foi a que originou os menores valores de n e os maiores valores de k , se diferenciando das demais propostas em ambas as bacias.

Tabela 3 – Parâmetros do HUIN obtidos a partir das propostas geomorfológicas utilizadas.

Bacia	P_1		P_2		P_3		P_4	
	n	k (h)	n	k (h)	n	k (h)	n	k (h)
BHAC	3,2	3,4	4,8	1,4	5,3	1,4 - 2,4	5,2	1,4 - 2,4
BHACN	3,2	2,9	5,8	0,4	5,5	1,4 - 1,9	5,5	1,4 - 1,9

Os valores obtidos para n e k para as bacias deste estudo, indicam que as propostas P_3 e P_4 tendem a atenuar mais as vazões no exutório, devido ao maior valor de n , combinadas com um valor de k mais alto, ou seja, um maior tempo de esvaziamento dos reservatórios. A P_2 , por exemplo, também apresentou valores altos de n , contudo, os valores de k foram muito menores, o que faz com que o esvaziamento dos reservatórios seja mais rápido, antecipando as ondas de cheias nos exutórios das bacias. Estes comportamentos podem ser visualizados na Figura 2, na qual são apresentados dois eventos simulados pelas propostas para (a) a BHAC e (b) a BHACN.

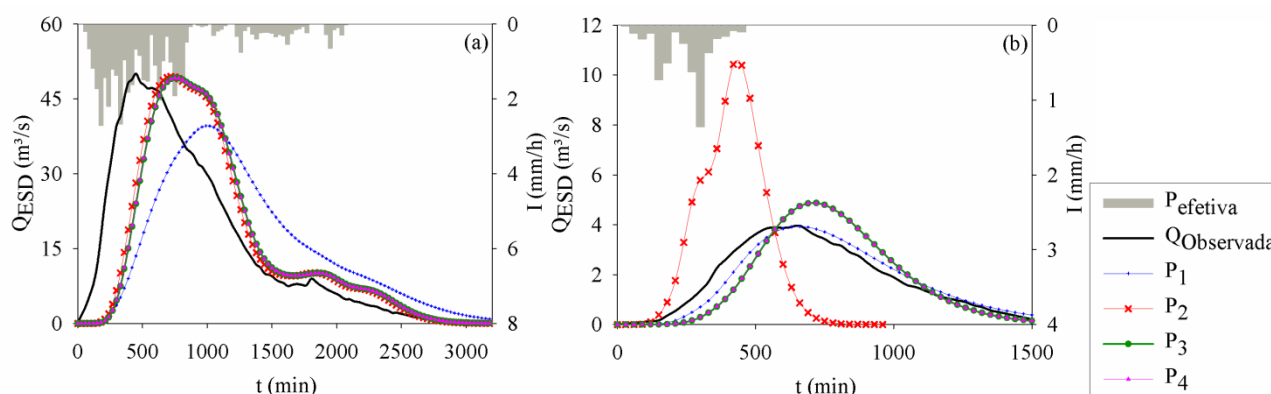


Figura 2 – Hidrogramas de ESD obtidos para o (a) evento 1 da BHAC e o (b) evento 3 da BHACN, com desempenho satisfatório de pelo menos uma proposta geomorfológica.

As informações de C_{NS} e ER_{Qp} resultantes da comparação entre os hidrogramas estimados de acordo com as quatro propostas geomorfológicas para as duas bacias estão apresentadas na Tabela 4, enquanto que, na Figura 2, são apresentados os hidrogramas de ESD simulados para 2 eventos, um para cada bacia, com bom desempenho das propostas utilizadas.

Tabela 4 – Valores máximos, mínimos e médios obtidos das estatísticas utilizadas na análise das propostas geomorfológicas utilizadas.

Proposta	BHAC						BHACN					
	C_{NS}			ER_{Qp} (%)			C_{NS}			ER_{Qp} (%)		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
1	-0,34	0,69	0,19	20,9	55,2	43,3	0,28	0,94	0,72	0,4	44,9	16,9
2	0,11	0,95	0,67	0,9	20,0	10,8	-15,34	-1,02	-6,35	79,3	330,7	168,9
3	-0,41	0,46	-0,01	1,7	41,4	27,7	0,23	0,78	0,55	2,0	26,5	14,7
4	-0,39	0,47	0,01	1,7	41,4	27,7	0,24	0,78	0,55	2,1	26,6	14,7

A partir dos resultados obtidos para a BHAC, com base nos valores de C_{NS} e ER_{Qp} , foi possível observar que a P_2 apresentou os melhores resultados, com 6 eventos enquadrados como “Satisfatório” e apenas 1 como “Insatisfatório”, de acordo com Motovilov *et al.* (1999), e nenhum eventos enquadrado como “Insatisfatório” de acordo Van Liew *et al.* (2007). Para as demais propostas, somente 1 evento resultou em C_{NS} enquadrado como “Satisfatório” segundo Motovilov

et al. (1999). Para o ER_{Qp} , a P_1 teve 9 eventos enquadrados como “Insatisfatórios”, e as propostas P_3 e P_4 tiveram 6, 3 e 1 eventos enquadrados como “Insatisfatório”, “Satisfatório” e “Muito bom”, respectivamente, segundo Van Liew *et al.* (2007).

Para a BHACN, os resultados obtidos foram contrastantes aos da BHAC, principalmente em relação à P_2 , que teve o pior desempenho nesta bacia. Para esta proposta, todos os eventos foram enquadrados como “Insatisfatórios”, tanto pela classificação de Motovilov *et al.* (1999) para o C_{NS} , quanto para a de Van Liew *et al.* (2007) para o ER_{Qp} . A P_1 foi a que obteve os melhores os valores de C_{NS} , com 6 eventos enquadrados como “Bom”, enquanto que as propostas P_3 e P_4 resultaram em 2 eventos enquadrados como “Bom” e 4 como “Satisfatório”, segundo Motovilov *et al.* (1999). Em relação ao ER_{Qp} , os melhores resultados foram obtidos pelas propostas P_3 e P_4 , com apenas 1 evento enquadrado como “Insatisfatório” de acordo com Van Liew *et al.* (2007). A P_1 produziu resultados intermediários de ER_{Qp} , com apenas 2 eventos enquadrado como “Insatisfatórios”.

A grande diferença nos comportamentos das propostas P_1 e P_2 entre as duas bacias analisadas se deve, muito provavelmente, aos valores de A e S_r das bacias, muito diferenciados. Analisando os eventos para os quais foram obtidos bons valores para o ER_{Qp} e valores não tão satisfatórios de C_{NS} , pode-se observar que há uma defasagem de tempo entre as vazões observadas e simuladas, contudo, estas possuem valores próximos. Os bons resultados obtidos pela P_1 , para a BHACN, e pela P_2 , para a BHAC, ressaltam a importância de explorar propostas geomorfológicas simplificadas como estas, que necessitam apenas de atributos físicos da bacia e dados de precipitação para a estimativa dos hidrogramas de ESD.

Os resultados obtidos para o ER_{Qp} na BHAC corroboram com os obtidos por Bhaskar *et al.*, (1997), em estudo conduzido na bacia do rio Jira, na Índia. Os autores simularam 12 eventos monitorados utilizando a P_4 , com valores para o ER_{Qp} variando de 0,1 a 85,1%, e valor médio igual a 36,2%. Para a BHACN, os resultados obtidos foram semelhantes aos de Ghumman *et al.* (2014) em estudo conduzido na bacia Kaha, no Paquistão. Os autores analisaram 15 eventos, utilizando a P_4 , com valores elevados de C_{NS} (variando de 0,87 e 0,95), indicando um bom desempenho na estimativa dos hidrogramas. Os valores de ER_{Qp} encontrados pelos autores foram baixos ($ER_{Qp, \text{médio}} = 10,1\%$), condizendo com os valores encontrados para a BHACN ($ER_{Qp, \text{médio}} = 14,7\%$) para a mesma proposta.

CONCLUSÕES

A partir da análise proposta, pode-se constatar que, apesar de bacias hidrográficas estarem localizadas em mesmas condições hidrológicas, como as do presente estudo, quando da utilização de propostas geomorfológicas, principalmente às não dependentes de dados de eventos chuva-vazão observados, como a P_1 e a P_2 , os resultados obtidos estão totalmente condicionados aos parâmetros

do relevo. Desta forma, ao empregar propostas empíricas para estimativa dos hidrogramas, é importante averiguar as características das bacias utilizadas na formulação das mesmas, confrontando com as características da bacia de interesse para constatar a adequabilidade.

Para a BHAC, a P_2 é a proposta indicada para a simulação de hidrogramas de ESD, enquanto que, para a BHACN, a proposta indicada é a P_1 . As propostas P_3 e P_4 não devem ser aplicadas na BHAC, e podem ser aplicadas para a BHACN. Contudo, eventos de maiores magnitudes devem ser utilizados para a BHACN para verificar se os desempenhos das propostas serão os mesmos.

Os diferentes valores obtidos de C_{NS} e ER_{Qp} indicam que o uso combinado de modelos pode ser uma ferramenta interessante para análise do comportamento de vazões ao longo do tempo, fornecendo um amplo conhecimento da resposta hidrológica das bacias hidrográficas, principalmente no tocante àquelas que possuem carência de monitoramento hidrológico.

REFERÊNCIAS

- ADIB, A.; SALARIJAZI, M.; VAGHEFI, M.; SHOOSHTARI, M. M.; AKHONDALI, A. M. (2010). *Comparison between GCIUH-Clark, GIUH-Nash, Clark-IUH, and Nash-IUH models*. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, v. 34, p. 91 – 103.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. (2014). *Koppen's climate classification map for Brazil*. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728.
- BESKOW, S.; TIMM, L. C.; TAVARES, V. E. Q.; CALDEIRA, T. L.; AQUINO, L. S. (2016). *Potential of the LASH model for water resources management in data-scarce basins: a case study of Fragata River Basin, Southern Brazil*. Hydrological Sciences Journal, v. 61, n. 14, p. 2567-2578.
- BHASKAR, N. R.; PARIDA, B. P.; NAYAK, A. K. (1997). *Flood estimation for ungauged catchments using the GIUH*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 123, p. 228-238.
- CASSALHO, F.; BESKOW, S.; VARGAS, M. M.; MOURA, M. M. de; AVILA, L. F.; MELLO, C. R. de. (2017). *Hydrological regionalization of maximum stream flows using an approach based on L-moments*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 22.
- CHOI, J. Y.; LEE, G.; KIM, J. C. (2011). *Estimation of the Nash Model Parameters Based on the Concept of Geomorphologic Dispersion*. Journal of Hydrologic Engineering, v. 16, n. 10, p. 806-817.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYES, L. W. (1998). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, 571 p.
- ESRI, ArcGIS DESKTOP 10.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri), 2014. CD-ROM.
- GHUMMAN, A. R.; KHAN, Q. U.; HASHMI, H. N.; AHMAD, M. M. (2014). *Comparison of Clark, Nash Geographical Instantaneous Unit Hydrograph Models for Semi Arid Regions*. Water Resources and the Regime of Water Bodies, v. 41, n. 4, p. 364–371.
- HORTON, R. E. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology*. Bulletin of the Geological Society of America, v. 56, p. 275-370.

- JABUR, A. S.; RIZZI, N. E. (2011). *Estimativas da vazão máxima e capacidade de saturação hídrica da bacia hidrográfica do Alto do Rio Ligeiro em Pato Branco, PR*. Revista Floresta, v. 41, n. 4, p. 833 – 846.
- MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. (2007). *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation*. Transactions of the ASABE, v. 50, n. 3, p. 885-900.
- MOURA, M. M. de. (2018). *Influência de diferentes fontes e escalas de informação do relevo sobre a estimativa de cheias a partir do Hidrograma Unitário Instantâneo de Nash*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 292f.
- MOTOVILOV, Y. G.; GOTTSCHALK, L.; ENGELAND, K.; RODHE, A. (1999). *Validation of a distributed hydrological model against spatial observations*. Agricultural and Forest Meteorology, v. 98-99, p. 257-277.
- NASH, J. E. (1957). *The form of the Instantaneous Unit Hydrograph*. In: Assembleia Generale de Toronto, 3, 1957, Toronto. Anais... Toronto: IAHS, p.114-121.
- NASH, J. E. (1960). *A unit hydrograph study, with particular reference to british catchments*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, v. 17, n. 3, p. 249-282.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. (1970). *River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles*. Journal of Hydrology, v. 10, p. 282-290.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I.; VALDÉS, J. B. (1979). *The Geomorphologic Sctructure of Hydrologic Response*. Water Resources Research, v. 15, n. 6, p. 1409-1420.
- ROSSO, R. (1984). *Nash Model Relation to Horton Order Ratios*. Water Resources Research, v. 20, n. 7, p. 914-920.
- SCHUMM, S. A. (1956). *Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey*. Bulletin of the Geological Society of America, v. 67, p. 697-646.
- SCS. (1986). *National Engineering Handbook*. Washington: Soil Conservation Service/USDA. Technical Release n. 55.
- SHERMAN, L. K. (1932). *Streamflow from rainfall by the unit-graph method*. Engineering News Record, v.108, p.501-505.
- SINGH, S. K. (2015). *Simple Parametric Instantaneous Unit Hydrograph*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v, 141, n. 5, 2015, 04014066.
- THIESSEN, A.; ALTER, J. C. (1911). *Precipitation averages for large areas*. Climatological Data For July. Monthly Weather Review, v. 39, n. 10, p. 1082-1084.
- TUCCI, C. E. M. (2009). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4ª. ed. Porto Alegre: UFRGS, 943 p. ISBN 9788570259240.
- 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 Hydrologic Engineering, v. 12, n. 2, p. 173-189.
- WU, I. (1963). *Design hydrographs for small watersheds in Indiana*. Journal of the Hydraulics Division, v. 89, n. 6, p. 35–66.