

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E ESTIMATIVAS DE VAZÕES DE PROJETO EM UMA SUB-BACIA DO ARROIO SÃO LOURENÇO DO SUL

MAÍRA MARTIM DE MOURA¹; FRANCISCO MAZZAROLO SEGER²; VITOR BORGES OSÓRIO³; SAMUEL BESKOW⁴; HUGO ALEXANDRE SOARES GUEDES⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – martimdemoura@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – franciscoseger@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – vitor.borges.osorio@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – samuelbeskow@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – hugo.hydro@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O grande crescimento das cidades e o acelerado processo de urbanização vêm agravando problemas como inundações e enchentes. Devido a tais problemas, pesquisadores vêm estudando os principais fatores relacionados à ocorrência de cheias e procurando medidas para retardar a sua propagação no sistema de drenagem, minimizando a ocorrência de inundações urbanas.

O monitoramento da vazão escoada na bacia hidrográfica para fins de dimensionamento de estruturas de retenção e retenção é algo imprescindível. Contudo, COLLISCHONN; TUCCI (2013) ressaltam que grande maioria da rede brasileira de estações de monitoramento hidrológico dispõe somente de dados de precipitação, o que dificulta a adoção de metodologias de previsão de cheias que utilizam modelos mais sofisticados. Devido à carência de dados de vazões, costuma-se efetuar a “modelagem chuva-vazão” em bacias hidrográficas que disponham de dados pluviométricos, admitindo uma relação linear entre a parcela de chuva que gera escoamento superficial (chuva efetiva) e a vazão.

O produto obtido de uma modelagem chuva-vazão é um gráfico que expressa a resposta da bacia hidrográfica a um dado evento de chuva, conhecido como hidrograma de longo termo. O conceito do hidrograma unitário (HU) foi proposto por SHERMAN (1932) e, baseia-se no princípio de superposição, contudo, sua aplicação exige um grande número de parâmetros calibráveis, restringindo-o apenas para bacias monitoradas. CLARK (1945), definiu que a resposta da bacia seria independente da duração, se referente a uma chuva unitária instantânea, formulando assim, o Hidrograma Unitário Instantâneo (HUI).

Em 1979, RODRIGUEZ-ITURBE; VALDÉS introduziram o conceito de Hidrograma Unitário Instantâneo Geomorfológico (HUIG), fazendo relação direta entre a geomorfologia da bacia e sua resposta hidrológica através de teorias da mecânica estatística. JAIN; SINHA (2003) afirmam que, além de fornecer uma boa estimativa da resposta hidrológica da bacia hidrográfica, o HUIG proporciona uma compreensão de sua variabilidade espaço-temporal.

Tendo em vista as abordagens anteriores, o objetivo do presente trabalho é caracterizar os aspectos geomorfológicos, bem como analisar a relação desses aspectos com a ocorrência de inundações no município de São Lourenço do Sul. Além disso, estimou-se as vazões de projeto a montante da zona urbana, para verificação da necessidade de implantação de medidas de controle local.

2. METODOLOGIA

O município de São Lourenço do Sul situa-se na região sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, sendo margeado à direita pela Lagoa dos Patos. A sub-

bacia hidrográfica do arroio São Lourenço possui área de 162,14 km² e situa-se entre os paralelos 31°20' e 31°23'S, e entre os meridianos 52°14' e 52°2'W.

O modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado (MDEHC) foi gerado a partir das cartas topográficas digitalizadas, georreferenciadas ao datum SIRGAS2000 e sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 22 e em projeção cônica (HASENACK; WEBER, 2010), utilizando o software ArcGIS versão 10. A geração do MDEHC seguiu a metodologia descrita por MARTINS et al. (2011), podendo ser subdividida em quatro etapas: preenchimento de depressões ("fill sinks"), direção de fluxo ("flow direction"), fluxo acumulado ("flow accumulation") e delimitação de bacias ("Watershed").

A partir do MDEHC foram obtidas as seguintes características físicas: coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, declividade média, densidade de drenagem, ordem dos cursos d'água, índice de sinuosidade e relação do relevo. Posteriormente, estimou-se o tempo de concentração da bacia utilizando o método da Onda Cinemática para os tempos de retorno (Tr) de 10, 50, 100, 500 e 1000 anos.

As informações de precipitação na área de estudo foram obtidas através da curva IDF do posto pluviométrico Boqueirão (código 03152002), localizado na latitude 31°17'2"S e longitude 52°4'59"W, a 120 m de altitude em relação ao nível do mar. Os parâmetros da curva IDF utilizada foram obtidos através da regionalização de chuvas intensas no estado do Rio Grande do Sul, realizada por BESKOW et al. (2015).

A precipitação efetiva foi calculada através do Método Curva-Número (CN), desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS). O valor de CN utilizado foi de 73,33, obtido através da ponderação das áreas de florestas (CN igual a 60) e de cultivos agrícolas (CN igual a 76), ocupações predominantes da bacia.

Os hidrogramas resultantes da modelagem chuva-vazão foram obtidos pelo método de Clark, com base em três parâmetros básicos: tempo de concentração da bacia (t), coeficiente de armazenamento (K) e histograma tempo – área (HTA), cuja formulação matemática é dada pela Equação 01.

$$Q_{i+1} = 2 C_0 R_{E(i)} + C_1 Q_i \quad (\text{Equação 01})$$

em que, Q é a ordenada do HUIC, RE é a precipitação efetiva uniformemente distribuída, em km²; C0 e C1 são coeficientes de ponderação.

Os coeficientes de ponderação C0 e C1, propostos por Muskingum, foram característicos da bacia de estudo e obtidos pelas equações 02 e 03, respectivamente.

$$C_0 = \frac{0,5 t}{K + 0,5 t} \quad (\text{Equação 02})$$

$$C_1 = \frac{K - 0,5 t}{K + 0,5 t} \quad (\text{Equação 03})$$

em que, t é o intervalo de simulação, em horas; K é o coeficiente de armazenamento da bacia hidrográfica.

No caso do HUIGC, para a determinação do coeficiente de armazenamento (K), MOHAVE COUNTY (2009) recomenda a Equação 04, visando uma melhor aproximação do valor real.

$$K = 0,435. tc^{1,11} \frac{L^{0,80}}{A^{0,57}} \quad (\text{Equação 04})$$

em que, K é o coeficiente de armazenamento, em horas; t_c é o tempo de concentração, em horas; L é o comprimento máximo percorrido pelo escoamento na bacia hidrográfica, em km; A é a área da bacia, em km^2 .

O intervalo de tempo utilizado na modelagem dos hidrogramas unitários foi de 15 minutos e, posteriormente, realizou-se o processo de convolução para a obtenção dos hidrogramas de escoamento direto para as diferentes precipitações efetivas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sub-bacia utilizada para estimativa das vazões possui área de drenagem igual a $162,14 \text{ km}^2$ e $64,32 \text{ km}$ de perímetro, curso d'água principal com aproximadamente $21,5 \text{ km}$ e rede de drenagem de 177 km . O relevo variou de 2 m , próximo à foz da bacia de estudo, a $244,0 \text{ m}$, próximo ao divisor topográfico.

Tanto o coeficiente de compacidade (K_c) quanto o índice fator de forma (K_f), cujos valores obtido foram, respectivamente, igual a $1,41$ e $0,44$, indicam que a sub-bacia é pouco propícia a enchentes em condições normais de precipitação, devido a seus valores se afastarem das unidades de referência.

O índice densidade de drenagem encontrada para a bacia em estudo foi igual a $1,09 \text{ km km}^{-2}$ e, de acordo com VILLELA; MATTOS (1975), indica que a sub-bacia apresenta baixa capacidade de drenagem. De acordo com a classificação de Strahler, a rede drenagem é de 5ª ordem, considerando afluentes perenes e intermitentes, o que pode ser considerado elevado para uma bacia dessa proporção, em termos de área de drenagem. Em condições extremas de precipitação, pode ocorrer um aumento considerável de contribuição de vazão próximo à foz, o que eleva as chances de acontecer inundações na zona urbana da cidade.

Segundo ANTONELI; THOMAZ (2007), quando o valor obtido para o índice de sinuosidade se aproxima da unidade, seus canais tendem a serem retilíneos e, se superarem o valor igual a 2, tendem a ser tortuosos. O valor encontrado para a sub-bacia foi de $1,9$, o que infere que a mesma pode ser considerada tortuosa, apresentando susceptibilidade a inundações.

O método da onda cinemática resultou em tempos de concentração diferenciados para cada período de retorno utilizado (Tabela 01). De posse do tempo de concentração e da curva IDF para o posto Boqueirão, obteve-se o hidrograma unitário instantâneo geomorfológico para cada período de retorno (T_R).

Tabela 01 – Parâmetros e coeficientes utilizados para a modelagem dos hidrogramas e vazões obtidas para cada tempo de retorno.

T_R (anos)	t_c (h)	k (h)	C_0	C_1	Q_{pico} (m^3/s)	$Q_{\text{méd}}$ (m^3/s)
10	5,25	2,1020	0,0561	0,8877	214,4	52,77
50	4,52	1,7824	0,0655	0,8689	370,32	93,19
100	4,24	1,6604	0,0700	0,8600	520,27	109,92
500	3,66	1,4086	0,0815	0,8370	746,27	159,86
1000	3,43	1,3124	0,0870	0,8261	906,06	195,98

Na tabela 01 é possível observar que as vazões de projeto obtidas com a modelagem de Clark foram bem elevadas, inclusive as vazões médias ao longo do tempo de escoamento superficial. Como a precipitação efetiva variou com os tempos de retorno, conforme o aumento da intensidade do evento, pode-se observar a diminuição do tempo de retorno, comportamento observado nos

últimos eventos extremos registrados no município, como em março de 2011, quando o mesmo foi atingido por chuvas concentradas que acabaram provocando um episódio de enxurrada, inundando 50% da cidade, principalmente a zona urbana, coberta por água entre 2,5 a 3 metros de altura.

4. CONCLUSÕES

De acordo com a caracterização morfométrica, a bacia de estudo, e conseqüentemente à bacia do Arroio São Lourenço, não possui tendência à inundações e alagamentos em condições normais de precipitação. Entretanto, a análise de ordem dos canais indicou a possibilidade de aumento da vazão próximo ao exutório da bacia, em condições extremas de precipitação.

Embora a caracterização morfométrica de bacias seja uma operação consagrada na literatura científica, somente os valores dos índices não podem ser adotados como tomada de decisão em análises hidrológicas, sendo necessário utilizar outras variáveis que influenciam nos resultados, como tipo de solo, uso e ocupação, entre outras.

A modelagem de Clark gerou hidrogramas com vazões de pico acentuadas e duração do escoamento superficial condizentes com a realidade dos eventos registrados nos últimos anos na bacia de estudo, o que afere a importância da implantação de medidas de controle local.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONELI, V.; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.
- BESKOW, S. ; CALDEIRA, T. L. ; DE MELLO, C. R. ; FARIA, L. C. ; GUEDES, H. A. S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 123-133, 2015.
- CLARK, C. O. Storage and the Unit Hydrograph. **Transactions American Society Civil Engineers**, 110 p., 1945.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. (2003). Ajuste Multiobjetivo dos Parâmetros de um Modelo Hidrológico. Competência: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 3, p. 27-39.
- HASENACK, H.; WEBER, E. **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3).
- JAIN, V. & SINHA, R. Derivation of Unit Hydrograph from GIUH Analysis for a Himalayan River. **Water Resources Management**, v. 17, n. 5, p. 355-376, 2003.
- MOHAVE COUNTY. **Drainage design manual for Mohave County**. 354 p., 2009
- RODRIGUEZ-ITURBE, I.; VALDÉS, J.B. The geomorphologic structure of hydrologic response. **Water Resource Research**, v. 15, n. 6, p. 1409-1420, 1979.
- SHERMAN, L.K. Streamflow from rainfall by unit-graph method. **Engineering News-Record**, v. 108, p. 501-505, 1932.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p
- MARTINS, V. S.; GUEDES, H. A. S.; CAPOBIANGO, G. V.; SILVA, D. D. A importância do condicionamento hidrográfico no estudo morfométrico de bacias. Anais **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5418