

## INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA CHUVA NA ESTIMATIVA DA VAZÃO MÁXIMA PELO METODO HIDROGRAMA SINTÉTICO

ÁLVARO JOSE BACK<sup>1</sup>, MAYARA NURNBERG<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia, Professor da Universidade do Extremo Sul Catarinense, Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, email:alvarojoseback@gmail.com.br

<sup>2</sup> Engenheira Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, e-mail: may\_nurnberg@hotmail.com

Apresentado no  
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022  
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

**RESUMO:** Existem diversos modelos de hietogramas indicados para representar a distribuição temporal da chuva. O presente trabalho avaliou a influência dos diferentes modelos de hietograma na estimativa da vazão máxima do hidrograma para a bacia do Rio Criciúma. Foram aplicadas oito metodologias de distribuição temporal e adotados os períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos. A chuva efetiva foi determinada pelo método SCS adotando CN igual a 82 e os hidrogramas foram gerados com o modelo HAC-HMS. Os resultados apontaram diferenças de até 30% na vazão máxima em relação ao método de Huff 4º quartil e Huff 1º quartil. Os resultados mais críticos foram obtidos com as metodologias dos Blocos Alternados, Huff 3º e 4º quartil. Com os métodos de Huff 2º quartil e os métodos Triangular e Sifalda foram obtidos valores semelhantes. Os resultados mostraram que diferentes métodos de distribuição temporal das chuvas podem trazer diferenças significativas ao hidrograma, o que demonstra ser fundamental um estudo de qual método utilizar, tendo em vista a distribuição temporal a ser usada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Chuvas intensas; hietograma; drenagem

### INFLUENCE OF RAIN TIME VARIATION ON THE ESTIMATED MAXIMUM FLOW BY THE SYNTHETIC HYDROGRAM METHOD

**ABSTRACT:** There are several models of hietograms indicated to represent the temporal distribution of rainfall. The present work evaluated the influence of different hietogram models in the estimation of the maximum flow of the hydrograph for the Criciúma River basin. Eight time distribution methodologies were applied and return periods of 25, 50 and 100 years were adopted. Effective rainfall was determined by the SCS method adopting CN equals 82 and the hydrographs were generated with the HAC-HMS model. The results showed differences of up to 30% in the maximum flow in relation to the Huff 4th quartile and Huff 1st quartile method. The most critical results were obtained with the Alternate Blocks, Huff 3rd and 4th quartile methodologies. With the 2nd quartile Huff methods and the Triangular and Sifalda methods, similar values were obtained. The results showed that different methods of temporal distribution of rainfall can bring significant differences to the hydrograph, which demonstrates that a study of which method to use is essential, in view of the temporal distribution to be used.

**KEYWORDS:** heavy rains; hietogram; drainage

## INTRODUÇÃO

Na ausência de vazões observadas é comum utilizar modelos hidrológicos para a estimativa da vazão máxima, dentre os quais se destacam os métodos de geração de hidrogramas sintéticos. Esses hidrogramas são obtidos por modelos de transformação chuva-vazão que têm como principal dado de entrada os dados de precipitação (BEMFICA et al., 2000).

Na definição da chuva a ser utilizada em projetos de drenagem, além da intensidade, duração e frequência, deve-se considerar a sua distribuição durante a duração (TUCCI, 2015). A chuva de projeto assim determinada pode ser representada no gráfico denominado de hietograma de projeto. Há diferentes métodos utilizados para essa distribuição, entre eles, estão: Blocos Alternados, Triangular, Huff, Chicago, Sifalda (BEMFICA, 1999; ARNELL; MELIN, 1983; TUCCI, 2015). Vários autores (CANHOLLI, 2005; TUCCI, 2015) comentam que a distribuição temporal da chuva pode afetar a forma do hidrograma e a vazão máxima.

A metodologia dos blocos alternados faz a distribuição dos blocos de chuva tendo no centro da duração da chuva, o bloco maior e, em seguida, os demais blocos, em ordem decrescente, um à direita e o outro à esquerda do bloco maior (TUCCI, 2015). No método de hietograma triangular, proposto por Yen e Chow (1980), a distribuição temporal da chuva de projeto tem a forma triangular, na qual a posição do pico é dada por um coeficiente  $r$ , definido a partir da análise de eventos históricos reais (BEMFICA et al., 2000).

No método de Huff (1967) as chuvas são distribuídas de acordo com as curvas de distribuição temporal observadas em quatro grupos, denominados quartis, cada um deles representando um quarto da duração total da chuva. Deste modo, as tormentas foram classificadas e agrupadas de acordo com o quartil em que a chuva mais intensa ocorreu (PAULINO, 2014).

O método de Chicago parte da premissa de que o volume de chuva precipitado durante o período de máxima intensidade pode ser obtido a partir da curva intensidade-duração para uma dada frequência, selecionada por critérios de projeto. Para a localização do pico de intensidade da chuva, é introduzido um coeficiente  $r$ , que é uma medida do adiantamento ou retardo do padrão de chuva (BEMFICA et al., 2000).

No método de Sifalda (ARNELL, 1983) a chuva de projeto é obtida com a equação IDF e as chuva anterior ao pico tem duração de 25% da duração total, a região de intensidade máxima tem essa mesma duração e a parte posterior ao pico corresponde a 50% da duração total da chuva.

São Paulo (2012) destaca que o tipo de distribuição temporal de chuvas e a definição da sua duração estão sujeitas a diversas orientações metodológicas resultados de vazões máxims que podem ser discrepantes. Dessa forma o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência dos diferentes modelos de distribuição temporal da chuva na estimativa da vazão máxima simulada na bacia do Rio Criciúma

## MATERIAL E MÉTODOS:

Foram estimadas as vazões máximas para a bacia hidrográfica do Rio Criciúma, inserida no município de Criciúma, localizado no Sul de Santa Catarina, a qual possui área total de 19 km<sup>2</sup>, com perímetro de 20,40 km. Foi considerado o tempo de concentração ( $t_c$ ) de 80 min, baseado no estudo de Oliveira (2012) e a duração da chuva foi adotada como 120 min.

A intensidade da chuva foi determinada com a equação IDF de Urussanga (BACK, 2013)

$$i = \frac{5678,8T^{0,1769}}{(t+32,5)^{1,1080}} \quad (1)$$

em que:

$i$  = intensidade média da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$T$  = período de retorno (anos);

$t$  = duração da chuva (min);

Foram determinados os hietogramas para chuva com duração de 120 minutos e período de retorno de 25, 50 e 100 anos pelos métodos Blocos Alternados conforme metodologia descrita em Tucci (2015).

Para o método de Chicago foram usadas as fórmulas descritas em Silveira (2016) adotando coeficiente de retardo ( $r = 0,35$ ), que significa que o pico de intensidade máxima da chuva ocorre no tempo equivalente a 35% da duração total. Silveira (2016) descreve os procedimentos para obtenção do hietograma de Chicago, baseado na equação IDF expressa pela Eq. 2.

$$i = \frac{KT^m}{(t+b)^n} \quad (2)$$

em que:

$T$  = período de retorno (anos);

$t$  = duração da chuva (min);

$K, m, b, n$  = coeficientes da equação local (adimensionais).

Dessa forma a intensidade da chuva antes do pico é estimada pela Eq. 3.

$$i = \frac{KT^m \left[ \frac{t_1}{r}(1-n)+b \right]}{\left( \frac{t_1}{r}+b \right)^{1+n}} \quad (3)$$

em que:

$i$  = intensidade da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$T$  = duração considerada (min);

$t_1$  = duração da chuva antes do pico (min);

$r$  = fator de retardo (adimensional);

$b$  e  $n$  = coeficientes da equação local (adimensionais).

Para as durações após o pico a intensidade da chuva é estimada pela Eq. 4.

$$i = \frac{KT^m \left[ \frac{t_2}{1-r}(1-n)+b \right]}{\left( \frac{t_2}{1-r}+b \right)^{1+n}} \quad (4)$$

em que:

$i$  = intensidade da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$T$  = duração considerada (min);

$t_2$  = duração da chuva após do pico (min);

$r$  = fator de retardo (adimensional);

$b$  e  $n$  = coeficientes da equação local (adimensionais).

Para o método Sifalda foi adotada a metodologia descrita em Canholi (2005), onde as alturas de chuvas foram rearranjadas de forma que a chuva anterior ao pico tenha 25% da duração total, a região de intensidade máxima também com 25% da duração e a parte posterior correspondendo a 50% da duração total da chuva. Conforme esquema representativo na Figura 1.

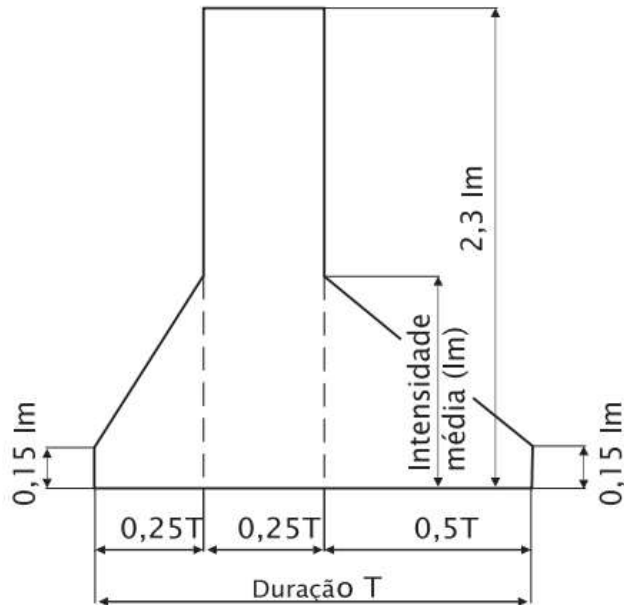


FIGURA 1. Esquema representativo do método de Sifalda (Fonte: Canholi, 2005)

O hietograma Triangular foi calculado conforme descrito em Yen e Chow (1980) utilizando o coeficiente de retardo ( $r = 0,35$ ). Para o método de Huff foram adotadas as curvas de variação temporal dos tipos I, II, III e IV descritas em Tucci (2015).

Para cada hietograma de projeto foram obtidas as chuvas efetivas adotando o método SCS considerando o valor de coeficiente CN de 82 (OLIVEIRA, 2012). Os hidrogramas foram gerados através do HAC-HMS (USACE-HEC, 2020). Foram comparadas as vazões de pico geradas por cada modelo de distribuição temporal da chuva.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os hietogramas obtidos estão representados na Figura 1, para o período de retorno de 25 anos. Observa-se que os métodos dos Blocos Alternados (Figura 1a) e o método de Chicago (Figura 1b) tem um formato semelhante, com acentuado bloco no centro do hietograma e apontaram as maiores intensidades máximas de chuva em relação aos outros métodos. Tal fato se explica por tais métodos serem desenvolvidos diretamente a partir das curvas IDF. Segundo Bemfica (1999), as curvas IDF são provenientes de apenas um evento crítico, o que tende a superestimar vazões e volumes escoados.

O método de Chicago permite deslocar este bloco com o maior pico conforme o coeficiente de retardo usado. Coeficientes menores que 0,5 antecipam o pico e coeficiente maiores que 0,5 retardam o pico em relação ao método dos blocos alternados. O método Triangular (Figura 1c) se mostrou semelhante ao método Chicago (Figura 1d), com o mesmo fator de retardo, no entanto apresenta uma distribuição mais uniforme entre os blocos. Destaca-se também que no que se refere à altura dos blocos o método de Huff tipo II (Figura 1h) apresentou valores semelhantes aos métodos de Sifalda (Figura 1 d) e Triangular (Figura 1 c).

O método de Sifalda (Figura 1 d) apresenta o pico de chuva a partir de 25% da duração total e finaliza após 50%, assim a parte posterior representa 50% da duração. Para método de Huff (Figura 2), foi gerado hietogramas para os quatro tipos de chuva, sendo que em cada tipo os blocos estão agrupados de acordo com o quartil em que a chuva mais intensa ocorreu.

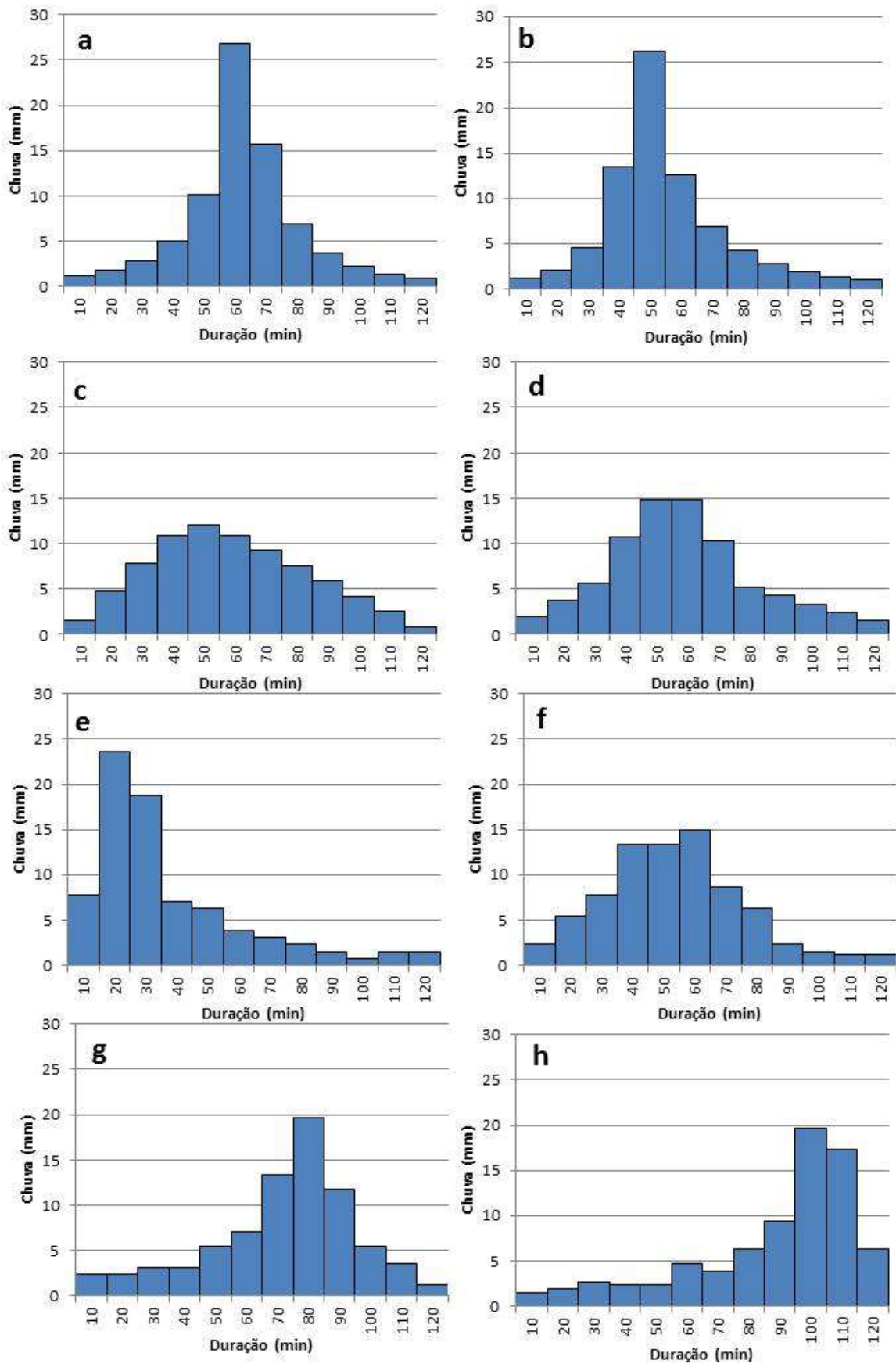


FIGURA 2. Hietogramas de projeto pelo método dos blocos alternados (a), Chicago (b), triangular (c), Sifalda (d), Huff tipo I (e), tipo II (f), tipo III (g) e tipo IV (h).

Os hidrogramas para o período de retorno (T) de 25, 50 e 100 anos estão apresentados, na Figura 3. O método de Huff 4º quartil produziu um pico significativo maior de vazão, em relação aos outros métodos, sendo 30%, 28% e 26% superior ao método de Huff 1º quartil respectivamente para T de 25, 50 e 100 anos, que ficaram subestimados em relação a todos os demais métodos. Abreu et al. (2017) explicam que essa discrepância entre os picos simulados se deve a maior capacidade de infiltração do solo no começo da precipitação. Sendo que, no método de Huff 4º quartil, o pico de chuva acontece nos últimos 25% da duração total da chuva, quando a capacidade de infiltração é menor, gerando assim maior escoamento.

Os métodos Triangular, Chicago, Sifalda e Huff 2º quartil obtiveram resultados mais próximos ao método de Huff 1º quartil (com diferenças entre 3 a 13%). Enquanto os métodos dos blocos alternados e Huff 3º quartil apresentaram resultados com maiores vazões, com diferenças entre 19 a 23%, aproximando-se ao método de Huff 4º quartil. Resultados semelhantes foram observados por Abreu et al. (2017).

A Tabela 1 apresenta os dados das vazões máximas para cada hidrograma simulado. Observa-se que a vazão de pico para o período de retorno de 25 anos com Blocos Alternados e Huff 4º quartil são semelhantes às obtidas pelo método de Huff 1º quartil com tempo de retorno de 50 anos, demonstrando a grande sensibilidade das simulações quanto ao método de distribuição de chuva.

Abreu et al. (2017) buscaram analisar a influência da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos na bacia do Córrego do Gregório (São Carlos, São Paulo). Aplicando o método de Huff 1º quartil e o método dos Blocos Alternados. A utilização dos dois métodos resultou em hidrogramas com diferenças entre 32 e 46% na vazão de pico para o método dos Blocos Alternados em relação ao método de Huff 1º quartil.

Bemfica et al. (2000) estudaram a aplicabilidade dos métodos de distribuição temporal, como os de Chicago, Blocos Alternados e Triangular, para então simular as vazões. Verificando superestimções, e até subestimções das vazões geradas pelas chuvas de projeto empregadas. Onde as maiores descargas de pico foram obtidas com os métodos de Chicago e Blocos Alternados, que tentam obter condições críticas para o escoamento superficial.

Devido a ausência de informações detalhadas para o Brasil, muitos autores recomendam usar as curvas de distribuição temporal tipo II observadas nos Estados Unidos (TUCCI, 2015). Canholi (2005) ressalta que a como cada distribuição temporal gera hidrogramas diferentes um grande problema para o hidrólogo reside na definição de qual o modelo de distribuição temporal a ser adotada. O ideal é buscar informações sobre as distribuições temporais de chuvas mais frequentes na região. Back (2022) apresenta um estudo detalhado das distribuições temporais para várias estações pluviográficas de Santa Catarina, mostrando a variação destas curvas de distribuição temporal com a duração da chuva e a estação do ano.

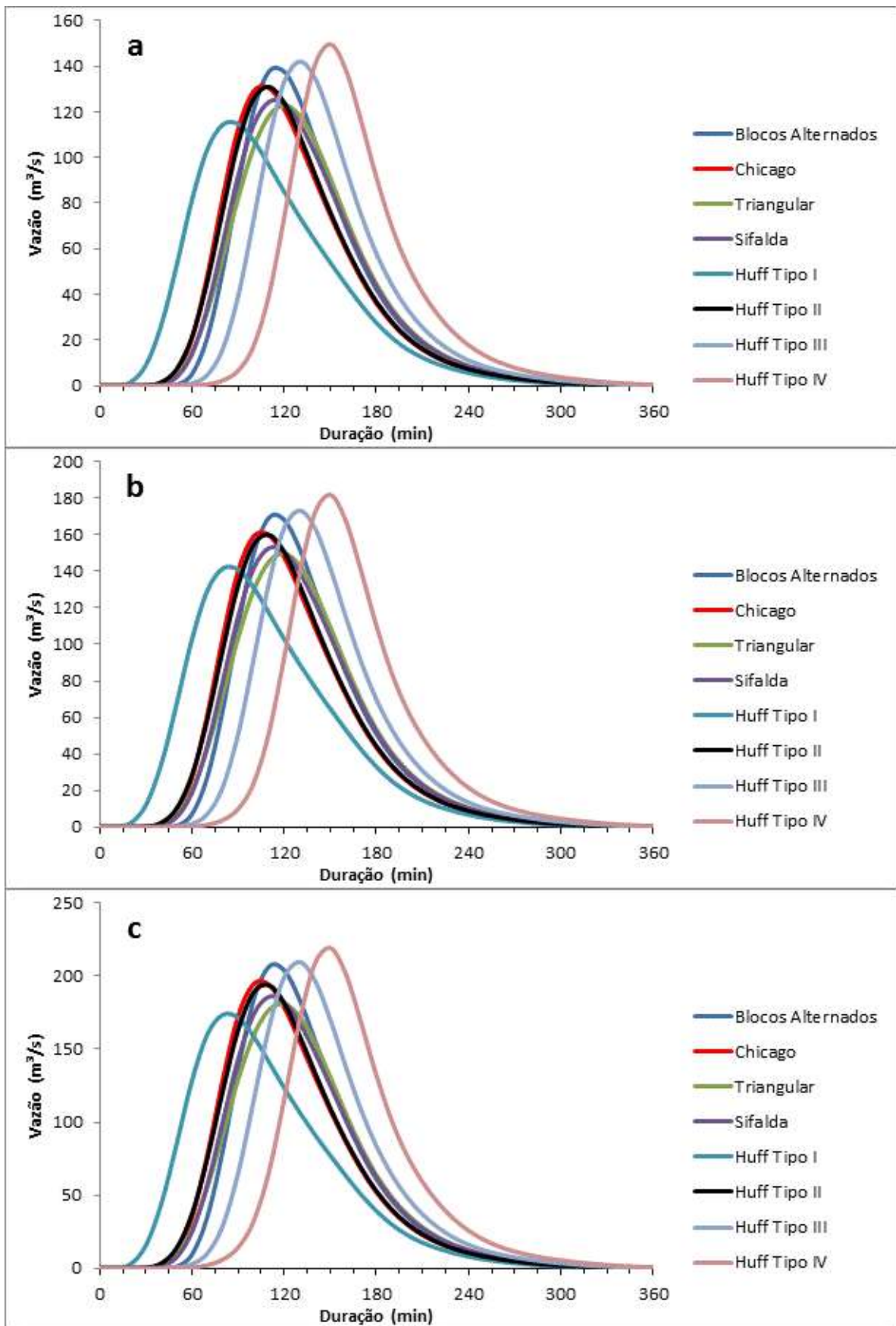


FIGURA 2. Hidrogramas simulados para período de retorno de 25 anos (a), 50 anos (b) e 100 anos (c).

TABELA 1. Vazão máxima ( $m^3 s^{-1}$ ) estimada para o Rio Criciúma

Modelo de Hietograma	Período de Retorno (anos)		
	25	50	100
Blocos Alternados	137,7	169,4	206,4
Chicago	130,5	159,9	194,4
Triangular	122,9	149,7	180,8
Sifalda	124,4	152,8	185,9
Huff Tipo I	114,7	141,6	173,6
Huff Tipo II	131,0	160,0	193,8
Huff Tipo III	142,1	173,3	209,6
Huff Tipo IV	149,7	182,0	219,3

### CONCLUSÕES:

Nesta análise verificou-se aumentos de até 30% na vazão máxima entre a menor vazão (Huff 1º quartil) e a maior (Huff 4º quartil). O método de Huff 2º quartil apresentou valor de vazão semelhante ao método dos Blocos Alternados, método de Chicago e método de Sifalda. A utilização de diferentes métodos de distribuição temporal das chuvas pode trazer diferenças significativas ao hidrograma, o que demonstra ser fundamental uma análise de qual método de distribuição temporal utilizar, tendo em vista a alta sensibilidade que as diferentes desagregações de chuva podem gerar aos resultados.

### REFERÊNCIAS:

- ABREU, F. G. de; SOBRINHA, L. A.; BRANDÃO, J. L. B. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n.2, p. 239-250, 2017.
- ARNELL, V.; MELIN H. **Rainfall Date for Design of Sewer Detention Basins** – Chalmers University of Technology, Urban Geohydrology Research Group, Goterborg, 1983.
- BACK, Á. J. **Chuvas intensas e estimativas da chuva de projeto para o Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, Epagri, 2022.204p.
- BACK, Á. J. **Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o Estado de Santa Catarina (com programa HidroChuSC para cálculos)**. Florianópolis, Epagri, 2013. 193p.
- BEMFICA, D. C.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. da. Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 5-16, out. 2000.
- BEMFICA, D. C. **Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a porto alegre**. 1999. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- CANHOLLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005.
- PAULINO, P. F. **Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas**. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2014.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de Drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos, diretrizes para projetos**. São Paulo: SDMU. 2012, 130p.

SILVEIRA, A. L. L. da. Cumulative equations for continuous time Chicago hyetograph method. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.21, n.3, p.1-6, 2016.

OLIVEIRA, T. S. **Aplicação do cadastro técnico visando a avaliação de inundações urbanas**. 2012. 355 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.

USACE-HEC. Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v4.6.1 – **User’s Manual**. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2020.

YEN, B. C.; CHOW, V. T. Design Hyetographs for Small Drainage Structures. **Journal of the Hydraulics Division**, 106, HY6, p.1055-1076, 1980.