

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS HIDROLÓGICOS PARA UMA BACIA URBANA

Janduir Silva Freitas Filho¹ ; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral²

RESUMO – Um dos atuais problemas que as cidades urbanas vêm sofrendo diz respeito a drenagem pluvial. O processo de urbanização, que amplia as áreas impermeabilizadas, vem ocasionando o aumentando das frequências das inundações. O estudo foi aplicado na bacia hidrográfica urbana do Rio Tejipió que se encontra na Região Metropolitana de Recife, PE, e apresenta uma taxa elevada de superfície impermeável. As chuvas intensas, cada vez mais recorrentes na região, vêm acarretando transtornos no que diz respeito aos transportes, habitação, meio ambiente e sobre tudo na qualidade de vida da cidade. O presente trabalho teve o objetivo de analisar duas metodologias de calculo de vazões de cheias. Foram comparados os hidrogramas do método *Soil Conservation Service* (SCS) com os do método de *Santa Barbara Unit Hydrograph* (SBUH), para isso utilizou-se a ferramenta computacional ABC6 - Análise de Bacias Complexas.

ABSTRACT – One of the current problems that cities urban have been with respect to stormwater drainage. The process of urbanization, that increase impermeable areas, has caused the increasing frequency of floods. The study was applied in Urban Basin River Tejipió which is situated in the Metropolitan Region of Recife, PE, and has a high percentage of impervious surface. The strong rains and recurrent in the region are causing disorders in relation to transport, housing, environment and over all quality of life of the city. This study aimed to examine two methods of calculation of flood flows. We compared the hydrographs of the method *Soil Conservation Service* (SCS) method with the *Santa Barbara Unit Hydrograph* (SBUH), for this we used a computational tool ABC6 - Basin Complex Analysis.

Palavras-Chave – hidrograma, SCS, Santa Barbara.

INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial no século XIX, primeiro Londres, depois outras cidades passaram a ser adotadas como principal local de moradia para o homem moderno. Este comportamento provocou o surgimento de grandes centros urbanos. Com o grande aumento da população mundial e principalmente urbana, as cidades cresceram e se urbanizaram desordenadamente, o que gera muitos problemas de impactos ao meio ambiente (AGRA, 2001).

A crescente urbanização das cidades brasileiras observada nas últimas décadas tem sido acompanhada por grandes problemas relacionados a praticamente todos os aspectos da infra-

1) Professor Mestre. UNESC – Faculdades Integradas de Cacoal. janduirfilho@gmail.com

2) Professor Titular . Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). jcabral@ufpe.br

estrutura: saneamento, transporte, habitação, abastecimento, dentre outros. No que se refere à drenagem pluvial, a situação não é diferente.

A crescente preocupação com o meio ambiente e com os impactos provocados a este pela ação antrópica exige que a engenharia busque maneiras do homem viver em harmonia com o meio ambiente, sem agredi-lo e sem sofrer com os impactos desta agressão, aumentando assim a qualidade de vida nas cidades. No que se refere à drenagem urbana, para que se resolvam os problemas apontados devem-se pesquisar melhorar a hidrologia urbana buscando um efetivo controle das enchentes (AGRA, 2001).

Em geral, nas cidades brasileiras, o problema das cheias urbanas é tratado considerando-se os trechos críticos de forma isolada, sem análises das conseqüências para a bacia como um todo; nem sequer são previstos os horizontes de ocupação. Dessa forma, ao solucionar o problema de inundações de um trecho, o problema pode ser transferido para as seções à jusante (SOUZA, 2002).

A impermeabilização gerada pelo processo de urbanização provoca uma alteração no ciclo hidrológico ocasionando um aumento na freqüência e na magnitude das inundações, enchentes e alagamentos todo ano. Esse processo de impermeabilização do solo faz com que a parcela de água que infiltrava no solo passe a compor o escoamento superficial. O aumento dos volumes escoados e das vazões de pico ao mesmo tempo em que ocorre a redução do tempo de concentração, faz com que os hidrogramas de cheias se tornem mais críticos.

O presente trabalho comparou diferentes metodologias para obtenção do hidrograma de cheia para uma bacia urbana em Recife, PE.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Bacia do Rio Tejipió

A bacia hidrográfica urbana do Rio Tejipió se encontra na Região Metropolitana de Recife, PE, é formada pelos Rios Tejipió, Jiquiá, Jordão, canal de Setúbal e de diversos cursos d'água de menor expressão. O Rio Tejipió nasce no município de São Lourenço da Mata e desemboca no bairro do Pina. O rio Jiquiá nasce aos arredores dos bairros de Engenho do Meio e Torrões e deságua no Rio Tejipió próximo da Lagoa do Araçá. O rio Jordão nasce no alto do bairro do Jordão até cerca de 1 Km do cruzamento com a Av. Barão de Souza Leão, onde penetra na zona de alagamento e sofre forte influência de maré. O canal de Setúbal se encontra com o rio Jordão após a jusante da Rua Antônio Falcão e corre quase paralelo até a Lagoa Olho D'água.

A Bacia do Rio Tejipió possui localização geográfica entre os paralelos 08°02'4.7652" e 08°09'26.5608" de latitude sul e os meridianos de 34°52'54.2388" e 35°02'47.49" de longitude oeste em relação a Greenwich. A Figura 1 a seguir mostra sua localização.

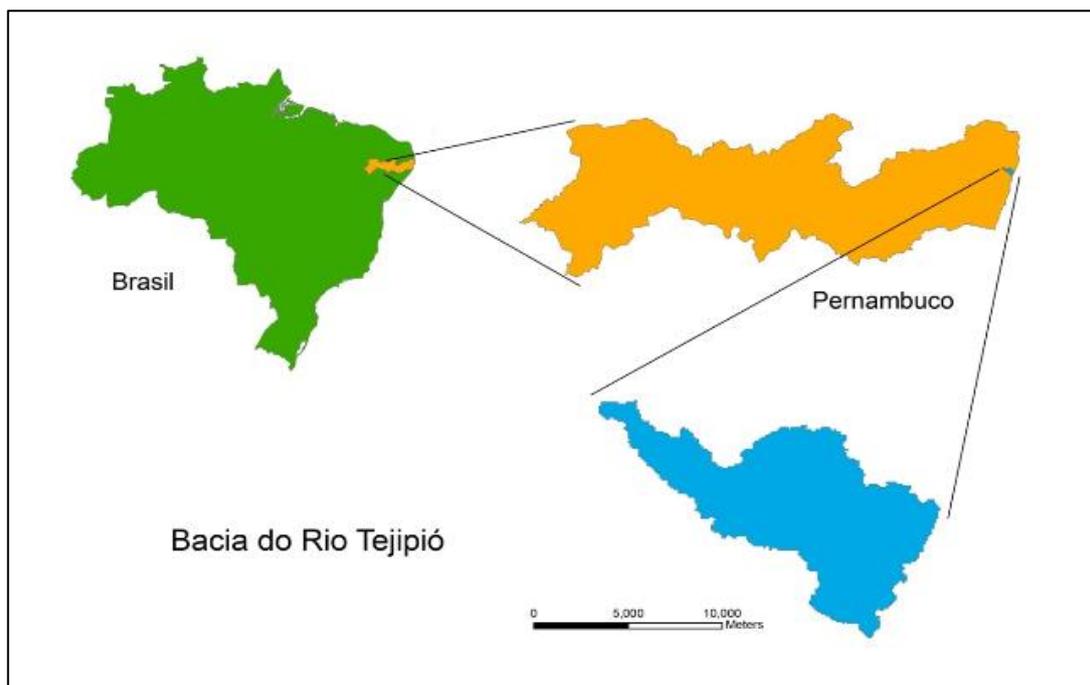


Figura 1 – Localização geográfica da Bacia do Rio Tejió.

A área da bacia abrange um total de 93,65 km², perímetro de 79,87 km, apresenta uma densidade de drenagem de 1,45 km/km², que segundo Strahler (1957), valores menores que 5,0 km/km² classificam-se com baixa densidade de drenagem. Possui altitude máxima de 150 m, altitude mínima de 10 m e uma altitude média de 28,72 m. A bacia hidrográfica se apresenta pouco íngreme, sua maior parte está entre as cotas 10 m e 24 m, apenas na cabeceira da bacia a altimetria varia de 136 m a 150 m. Na Figura 2 pode ser observado o mapa hipsométrico.

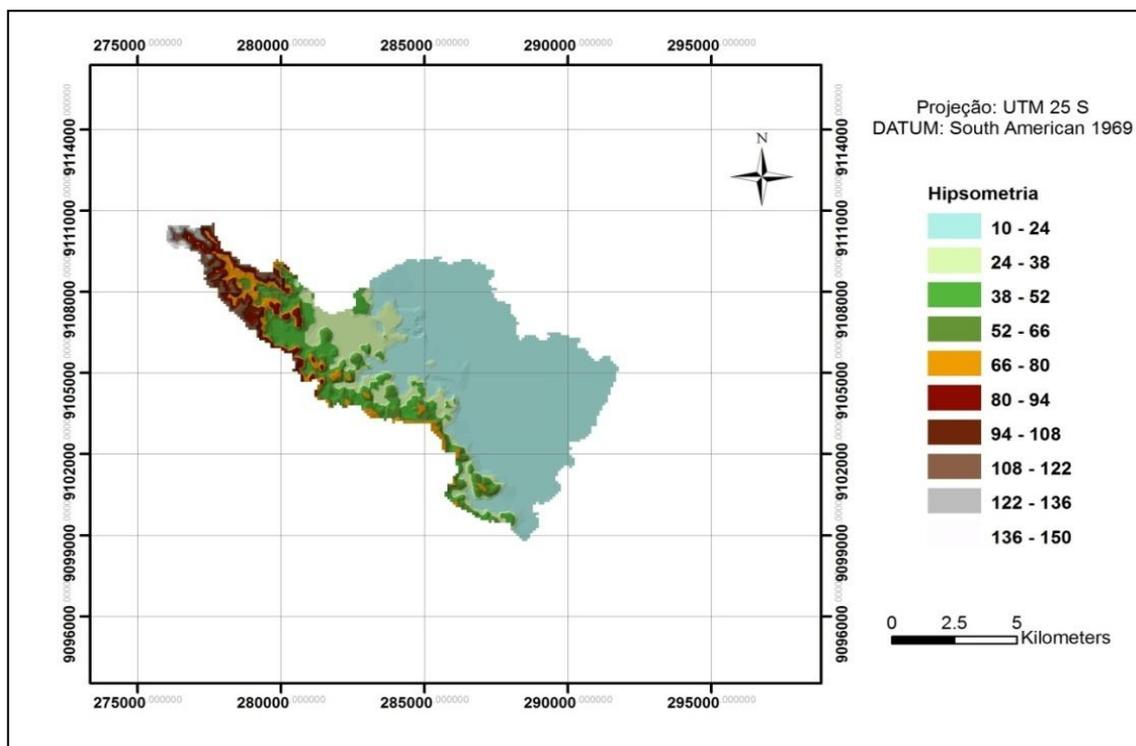


Figura 2 – Hipsometria (m) da Bacia do Rio Tejipió.

A declividade da bacia contribui na distribuição de água no escoamento superficial e subterrâneo. Bacias com declividade íngremes apresentará maiores velocidades de escoamento, baixa retenção de água no solo e enchentes com vazões de pico maior. A intensidade de chuvas, as classes de solos e falta de cobertura são fatores que aliado a altas declividades contribuem para o agravamento das enchentes.

A hidrografia da bacia é formada pelo rio principal Tejipió, cursos d'água permanente, riachos e canais naturais, fazendo um total de 135,98 km de extensão. O Rio Tejipió tem um comprimento de 23,17 km possuindo uma extensão maior que os seus afluentes da margem sul com o total 62,11 km, enquanto a margem norte possui 50,71 km de extensão. A Figura 3 apresenta a rede hidrográfica da bacia em estudo.

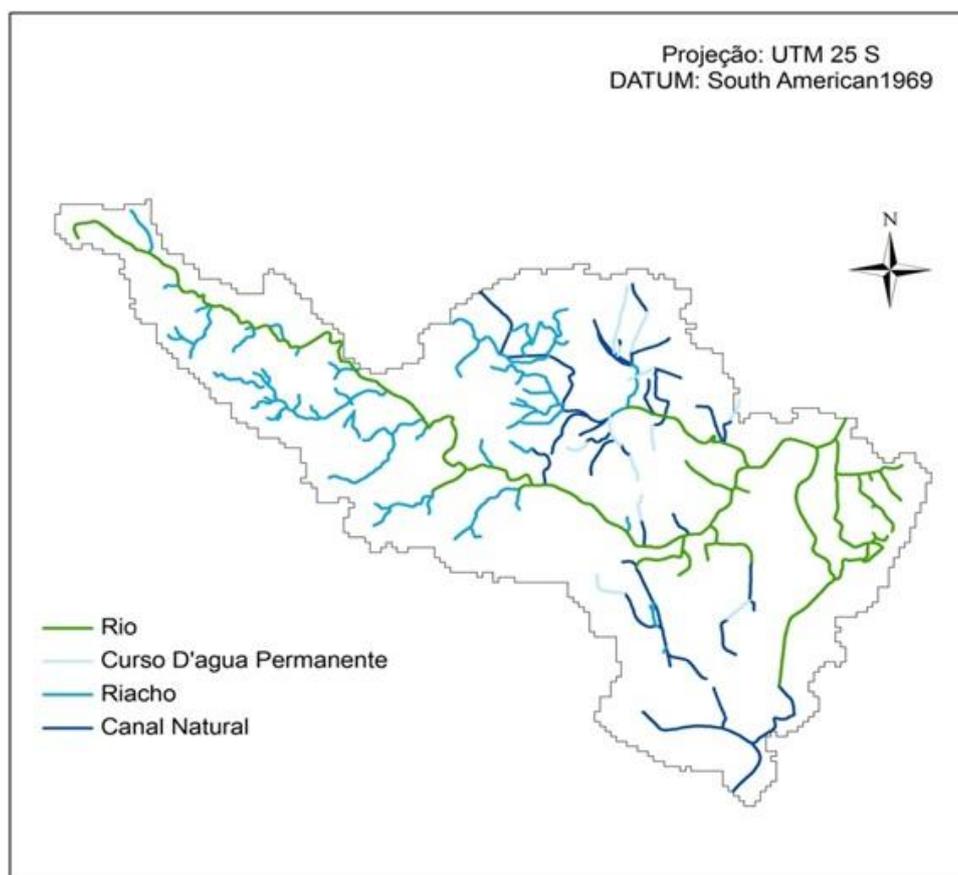


Figura 3 – Bacia Hidrográfica do Rio Tejipló

Para determinar as características físicas e hidrológicas, utilizou-se uma imagem SRTM com resolução de 90 metros, fornecida pelo site da EMBRAPA no endereço <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>. A imagem corresponde ao período de 2005. O Modelo Numérico do Terreno (MNT) permitiu o tratamento e a análise dos dados com o auxílio do *software* ArcGis 9.2 e AutoCAD 2007.

Discretização na bacia

As bacias urbanas possuem grande variabilidade espacial de suas características, isso ocorre por causa das interferências antrópicas. Para tentar representar essa heterogeneidade durante a modelagem, a bacia é dividida em áreas menores e semelhantes entre si.

Foram determinados 5 diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica do rio Tejipló. A sub-bacia 1 possui jusante no trecho da BR 232 próximo a estação do metro do Curado. A sub-bacia 2 possui ponto de jusante no trecho da BR 101, Km 73, nas proximidades do 4º BComEx. A sub-bacia 3 tem o ponto de jusante localizado na Av. Recife ao lado da EMLURB (Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana). A sub-bacia 4 situada no bairro do Jiquiá deságua na margem

oposta a margem próxima da Lagoa de Araçá. A última sub-bacia 5 deságua no estuário da bacia próximo ao Cabanga Iate Clube de Pernambuco. A Figura 4 mostra a discretização em sub-bacias.



Figura 4 – Discretização da Bacia do Rio Tejipió

As sub-bacias foram caracterizadas através dos parâmetros apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de caracterização das sub-bacias

Parâmetro		Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5
Comprrio (Km)	Comprimento do rio	10,15	5,35	2,81	6,04	4,85
P (Km)	Perímetro	27,74	21,25	21,41	25,87	38,62
L_e (Km)	Largura do retângulo equivalente	1,26	1,65	1,59	2,16	1,45
W (Km)	Largura da sub-bacia	12,54	8,92	9,06	10,72	17,74
A_{Total} (Km ²)	Área total	15,74	14,73	14,42	23,11	25,68
A_{imp} (Km ²)	Área impermeável	4,53	9,79	10,93	14,61	20,44
A_{perm} (Km ²)	Área permeável	11,21	4,94	3,49	8,50	5,24
Declividade	Declividade	0,00915	0,00372	0,00163	0,00043	0,00047
K_c	Coef. de Compacidade	1,97	1,56	1,59	1,52	2,15
K_f	Fator de forma	1,24	1,67	1,82	1,77	1,63
Coef. de forma	Coef. de forma	1,24	1,09	1,05	1,06	1,10
n (imp)	Coef. de rugosidade de Manning da superfície impermeável	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011

	Parâmetro	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5
n (perm)	Coef. de rugosidade de Manning da superfície permeável	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

As porcentagens das áreas impermeáveis e permeáveis são parâmetros que apresentam bastante sensibilidade. Garcia (2005) analisou as vazões de pico e os volumes escoados para diferentes cenários e constatou um aumento de 60% e 59% nas vazões de pico e os volumes escoados, respectivamente.

Para extração dos parâmetros para cada sub-bacia da Tabela 1 utilizou-se mapas de uso do solo e imagens de satélites de 2010 do *Google Earth* e Modelo Numérico do Terreno com auxílio dos softwares ArcGis 9.3 e Autocad 2007.

O tempo de concentração (t_c) foi calculado pela Fórmula de Kirpich I, essa fórmula vem sendo bastante aplicada na literatura tanto para bacias rurais como para bacias urbanas. Para as Sub-bacias 1, 2 e 3 os tempos de concentração apresentados foram, respectivamente, 2,63 h, 2,40 h e 1,85 h

$$t_c = 0,019.L^{0,77}/S^{0,385} \quad (1)$$

Onde:

t_c - é o tempo de concentração (h);

L - é o comprimento do talvegue (m);

S - é a diferença de cota (m).

Método do Hidrograma *Soil Conservation Service* (SCS)

O Soil Conservation Service (SCS, 1986) apresenta o método SCS para simulação de hidrogramas de cheias. O método apresenta uma vantagem devido ao número reduzido de parâmetros e a relação destes com as características físicas da bacia, porém não levam em conta os fenômenos de translação e o amortecimento do escoamento na bacia hidrográfica.

O hidrograma total é dado pela soma dos hidrogramas parciais para cada chuva excedente de duração Δt e aplica as seguintes equações:

$$t_p = \frac{t_R}{2} + t_L \quad (2)$$

$$t_L = 0,6.t_c \quad (3)$$

$$Q_{u,p} = 2,08 \cdot \frac{A_d}{2} \quad (4)$$

Onde:

t_p - é o tempo de recorrência do pico (h);

t_R - é a duração da precipitação excedente (h);

t_L - é o tempo de resposta da bacia (h);

t_c - é o tempo de concentração (h);

A_d - é a área de drenagem (km²);

$Q_{u,p}$ - é vazão de pico (m³/s).

Moruzzi *et al* (2009) utilizou o método chuva-vazão SCS para verificar os efeitos de ocupação urbana na vazão de pico da Bacia do Córrego da Servidão em Rio Claro, SP. Tassi *et al* (2005) no estudo dos aspectos metodológicos do emprego do método do SCS, conclui que a vazão de projeto através do método resultaria em uma substancial economia referente às obras de drenagem de transposição do corpo estradal. A redução nas vazões de projeto calculadas para cada estrutura significaria uma redução de custo total no orçamento de 69,36% e uma redução máxima de 88,3%.

Em 2010, Silveira fez uma análise de sensibilidade das variáveis de entrada na determinação de hidrogramas de cheia em bacias hidrográficas desprovida de dados hidrológicos através do método SCS.

Método do Hidrograma *Santa Barbara Unit Hydrograph* (SBUH)

O *Santa Barbara Unit Hydrograph* (SBUH) foi desenvolvido por Stubchaer (1975) pela *Santa Barbara County Flood Control and Water Conservation District*. O cálculo das vazões considera a contribuição da área total da bacia e não subáreas. As perdas de precipitação na área impermeável da bacia são consideradas desprezíveis e toda chuva que cai nesta área passa a contribuir como excedente.

No método SBUH considera-se o amortecimento análogo que ocorre num reservatório, cujo retardamento é igual ao tempo de concentração da bacia. As ordenadas I do hidrograma é dado por:

$$I = [i \cdot d + i_e(1,0 - d)]A_d \quad (5)$$

Onde:

I - é a ordenada do hidrograma;
 i - é a precipitação;
 d - é a parcela da área impermeável;
 i_e - é a precipitação excedente da área permeável;
 A_d - é a área total de drenagem.

O hidrograma é obtido supondo um reservatório imaginário cujo tempo de espera é o tempo de concentração da bacia. As vazões são dadas pela seguinte equação:

$$Q_j = Q_{j-1} + K_r(I_{j-1} + I_j - 2Q_{j-1}) \quad (6)$$

$$K_r = \frac{\Delta t}{2t_c + \Delta t} \quad (7)$$

Onde:

Q_j e Q_{j-1} - são os deflúvios;
 I_j e I_{j-1} - são as ordenadas do hidrograma;
 t_c - é o tempo de concentração;
 Δt - é o intervalo de tempo segundos;
 K_r - é o coeficiente de retardo.

O método (SBUH) foi aplicado para construção do hidrograma de uma área urbana em São Paulo com 2,22 km² e uma área urbana em Guarulhos com 1,12 km² para uma precipitação de 2 h por Tomaz (2002).

RESULTADOS

Utilizou-se o software ABC6 como ferramenta para os cálculos dos hidrogramas. O programa de Análise de Bacias Complexas ABC6 foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Passou por várias atualizações ao longo dos anos, apresentando sua sexta atualização no ano de 2000 na versão 1.29.

Para simulação hidrológica foram selecionados os eventos com os dias de maior chuva nos meses que apresentaram maior índice pluviométrico e cujo dia fossem consecutivos, uma vez que as chuvas diárias que ocorrem quando o solo está saturado apresentam baixa taxa de infiltração e vazões de escoamento superficial maiores. Destacam-se os dias 16, 17 e 18 de junho de 2010 com

121,6 mm, 126,4 mm e 43,6 mm, respectivamente e o dia 16 e 17 de julho de 2011 com 107,2 mm e 62,8 mm, respectivamente.

Os dados de precipitação para a bacia de estudo foram extraídos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) da estação RECIFE-A301 que está localizada nas coordenadas geográficas de Latitude 8,05000° Sul e Longitude 34,9500° Oeste na altitude de 10,00 m. Os eventos escolhidos podem ser observados na Figura 5 e 6.

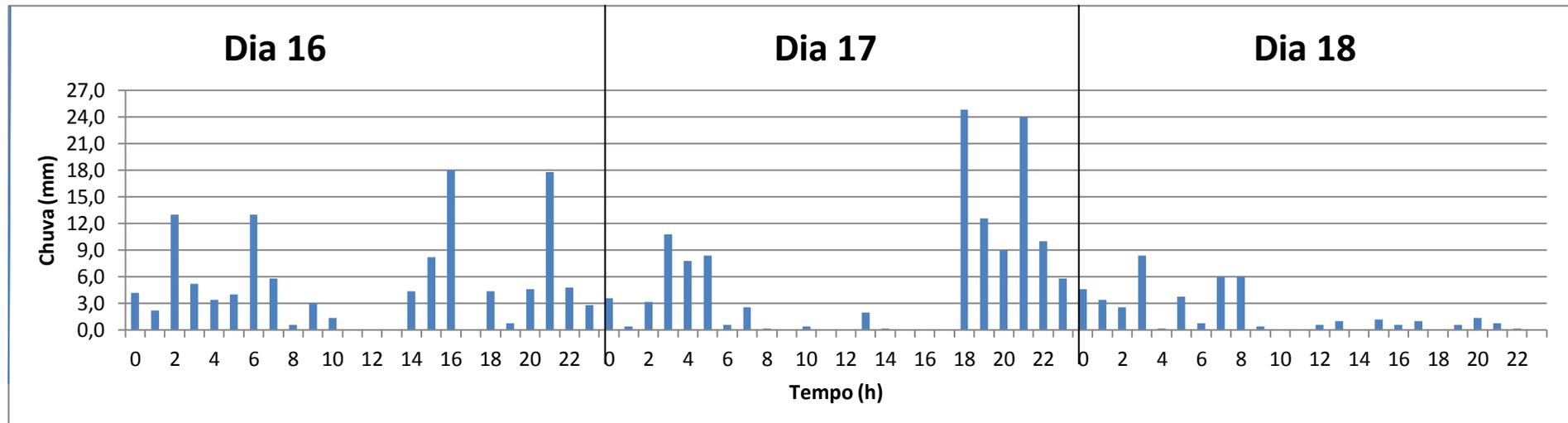


Figura 5 – Evento 1: dias 16, 17 e 18 de junho de 2010. Fonte: INMET, 2011.

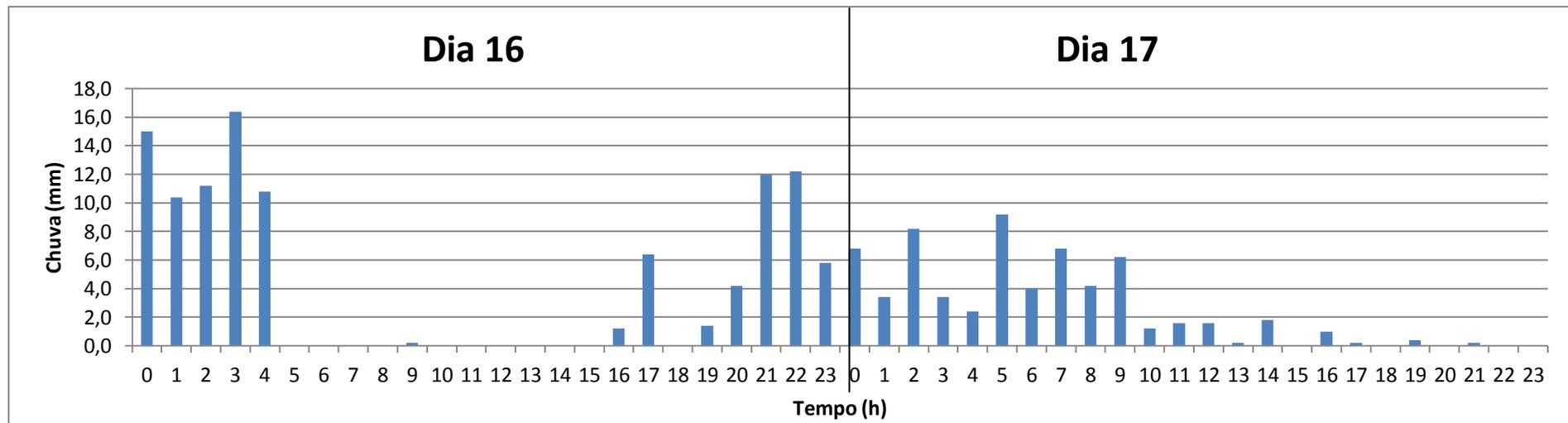


Figura 6 – Evento 2: dias 16 e 17 de julho de 2011. Fonte: INMET, 2011

Foi feita a comparação dos hidrogramas determinados pelo método SCS e do método SBUH para os Eventos 1 e 2 para cada sub-bacia. Ao analisar os hidrogramas observou-se que as vazões calculadas pelo método SCS tendem a serem maiores para as vazões de ascensão e menores nas vazões de recessão do que os calculados pelo método SBUH. As maiores vazões de pico máximas foram observadas no método SCS enquanto o método SBUH apresentou vazões mínimas maiores. Na Tabela 2 são apresentadas as vazões de pico máximas encontradas pelos métodos.

Tabela 2 – Vazões de pico máximo determinados pelo método SCS e SBUH no Evento 1.

	VAZÃO DE PICO MÁXIMO (m ³ /s)		
	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3
Método SCS	20,21	61,39	101,57
Método SBUH	16,87	51,56	87,18

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam os hidrogramas calculados para cada sub-bacia pelos métodos SCS e SBUH.

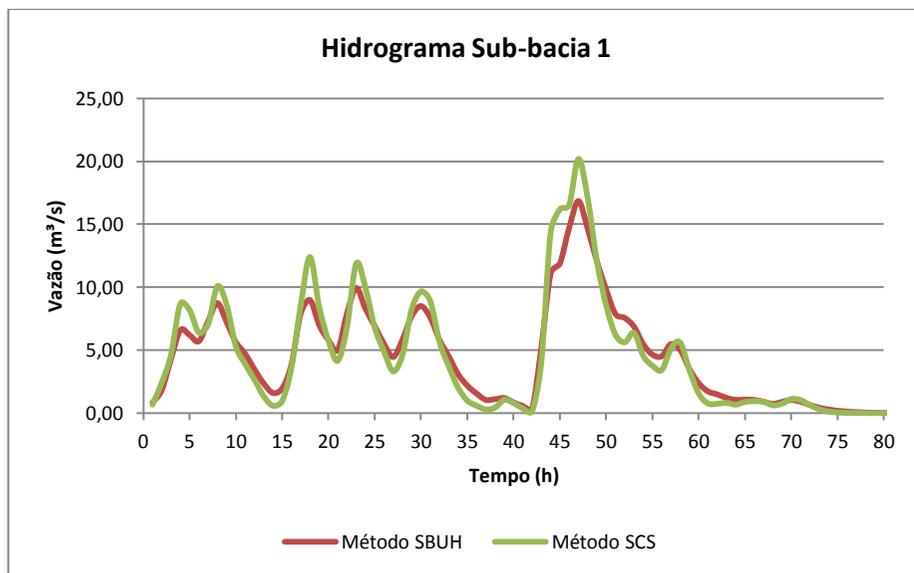


Figura 7 – Hidrogramas do Evento 1 para a sub-bacia 1

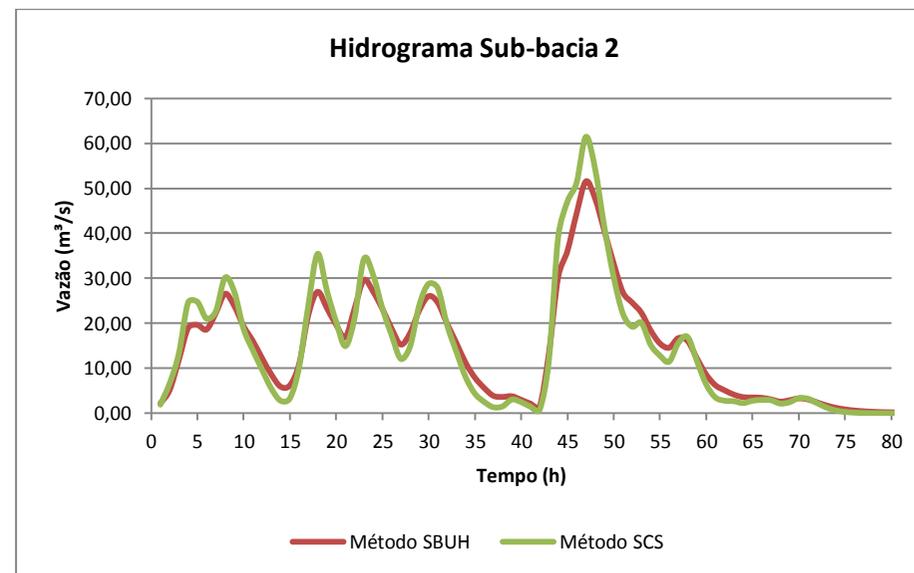


Figura 8 – Hidrogramas do Evento 1 para a sub-bacia 2

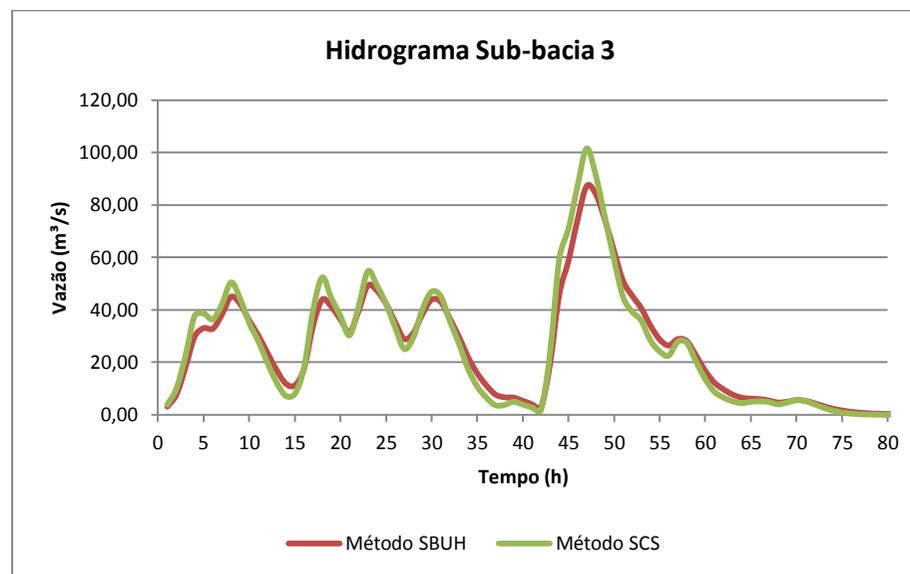


Figura 9 – Hidrogramas do Evento 1 para a sub-bacia 3

Para o Evento 2 foi observado as mesmas diferenças dos métodos sugeridos de cálculo de hidrogramas apresentadas no Evento 1 para as vazões de picos máximos e os volumes escoados. Na Tabela 3 são apresentadas as vazões de pico máximas encontradas pelos métodos.

Tabela 3 – Vazões de picos máximos determinados pelo método SCS e SBUH no Evento 2.

	VAZÃO DE PICO MÁXIMO (m ³ /s)		
	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3
Método SCS	16,48	50,24	83,42
Método SBUH	13,87	42,52	71,93

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam os hidrogramas calculados para cada sub-bacia pelos métodos SCS e SBUH.

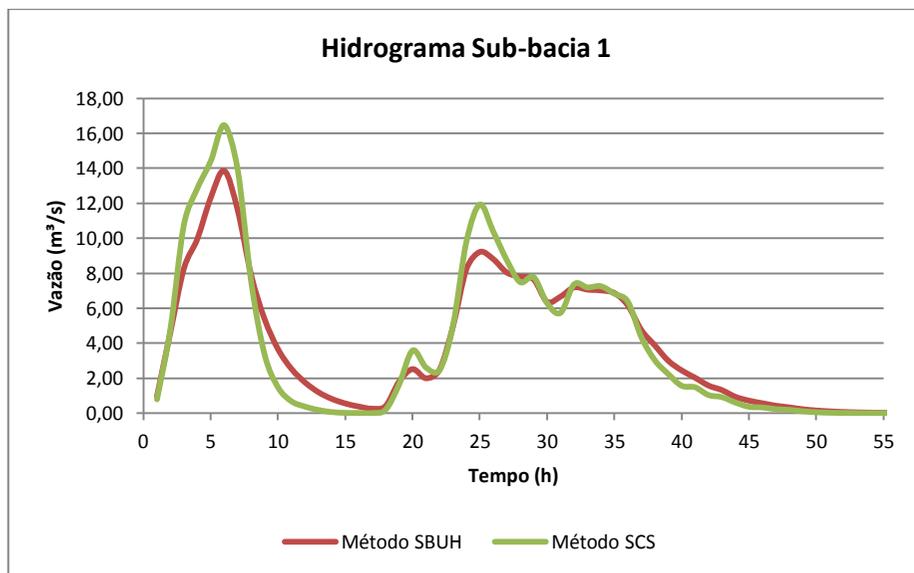


Figura 10 – Hidrogramas do Evento 2 para a sub-bacia 1

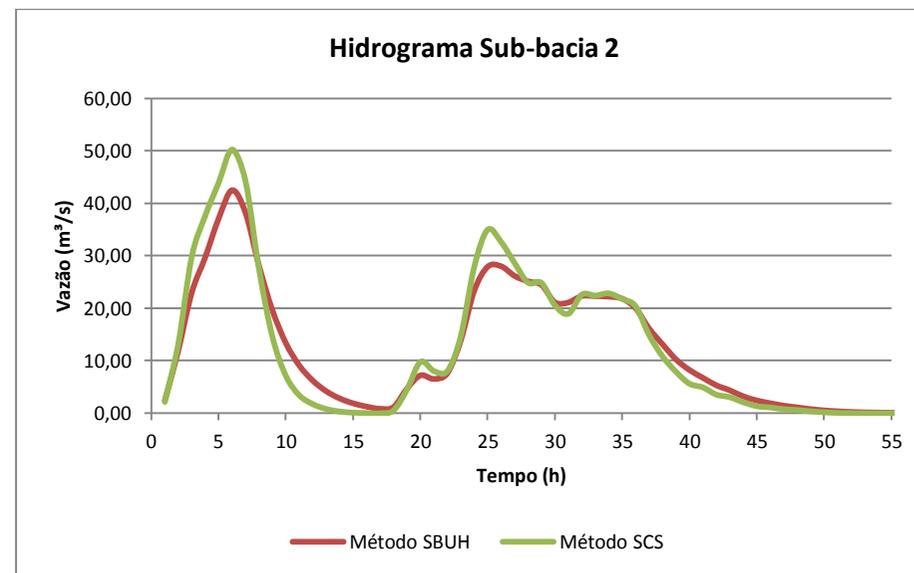


Figura 11 – Hidrogramas do Evento 2 para a sub-bacia 2

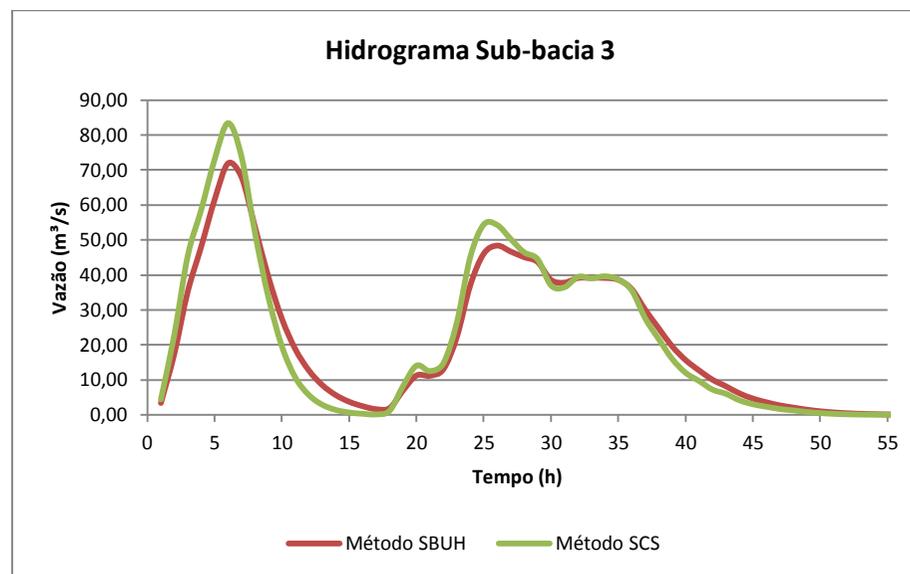


Figura 12 – Hidrogramas do Evento 2 para a sub-bacia 3

Pode-se observar na Tabela 4 que o volume total do escoamento superficial na Sub-bacia 3 produzido pelos diferentes métodos não mostrou diferença significativa. A maior diferença relativa encontrada no volume total foi de 1,17%.

Tabela 4 – Volume total do escoamento superficial na Sub-bacia 3.

	Volumes (m³) na Sub-bacia 3	
	SCS	SBUH
Evento 1	7.446.137,40	7.360.126,20
Evento 2	4.459.825,80	4.409.105,40

Observou-se tanto no Evento 1 como no Evento 2 que as vazões de ascensão da bacia hidrográfica pelo método de Santa Bárbara ocorrem devido ao seu efeito de armazenamento, representado por K_r , coeficiente de retardo, intrínseco da metodologia. Essa constante de amortecimento tem uma relação linear e varia em função do tempo de concentração. O método SCS não considera o fenômeno de amortecimento apresentando assim as maiores vazões de pico.

CONCLUSÃO

A Bacia Urbana do Rio Tejipió possui volumes de escoamentos superficiais elevados, causa está provocada pela grande quantidade de área impermeável e de planejamento inadequado da drenagem urbana. A diferença dos volumes de água superficiais entre as metodologias empregadas tanto no Evento 1 quanto no Evento 2 não apresentou significância.

Porém na comparação dos hidrogramas a metodologia empregada pelo SCS resultou em maiores vazões de ascensão e menores vazões de recessão comparadas com os resultados obtidos pelo método SBUH, logo o hidrograma SCS apresentou vazões de pico superiores ao método SBUH. No Evento 1 houve um aumento das vazões de pico máximas em 19,79%, 19,07% e 16,50% nas sub-bacias 1, 2 e 3, respectivamente e no Evento 2 houve um aumento semelhante nas vazões de pico máximas, valores estes de 18,82%, 18,17% e 15,98% nas sub-bacias 1, 2 e 3, respectivamente.

As vazões ascendentes e de pico máximos observadas no hidrograma de Santa Bárbara apresentaram valores menores em decorrência de o método apresentar comportamento hidrológico semelhantes ao que ocorre num reservatório.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência do Estado de Pernambuco) a bolsa recebida para a realização do curso de mestrado que possibilitou a execução da presente pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

a) Livro

TOMAZ, P. *Cálculo hidrológico e hidráulico para obras municipais. Piscinões, galerias, bueiros, canais, Método SCS, Denver, Santa Bárbara Racional, TR-55*. São Paulo: Navegar, 2002.

b) Artigo em revista

MORUZZI, R. B. *et al. Efeito da Ocupação Urbana e de Obras de Drenagem sobre o Hidrograma de Cheia de uma Bacia Urbanizada: O Caso da Bacia do Córrego da Servidão em Rio Claro, SP*. Revista de Engenharia e Tecnologia. V. 1, No. 1, Dezembro. 2009.

SCS – *Soil Conservation Service Urban Hydrology for Small Watersheds*. Washington: U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Technical Release, 55. June, 1986.

TASSI, R. *et al. Aspectos metodológicos sobre o emprego do método do SCS com auxílio de ferramentas de geoprocessamento no projeto de estruturas de drenagem de uma rodovia*. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.7, p.27-37, Setembro. 2005.

STRAHLER, A. N. *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Trans. American Geophys. Union, v. 38, p. 913-920, 1957.

c) Artigo em anais de congresso ou simpósio

STUBCHAER, J. M. (1975) – *The Santa Barbara Urban Method*. In: National Symposium on Urban and Sediment Control. Lexington, Ky. pp. 28-31.

d) Teses e dissertações

AGRA, S. G. *Estudo experimental de microreservatórios para controle do escoamento superficial*. 2001. 105 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GARCIA, J. I. B. *Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela*. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SILVEIRA, G. M. Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta. 2010. 243 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SOUZA, V. C. B. *Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial*. 2002. 127 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, cidade, 2002.