



ANÁLISE DE SENSIBILIDADE EM HIDROGRAMAS DE CHEIAS MÁXIMAS OBTIDOS PELO MÉTODO DO SCS EM UMA BACIA URBANA

SENSITIVITY ANALYSIS OF HYDROGRAPH PEAK FLOWS OBTAINED BY THE SCS METHOD IN AN URBAN WATERSHED

Renato de Oliveira Fernandes<sup>1</sup>; Celme Torres Ferreira da Costa<sup>2</sup>; Ticiano Marinho de Carvalho Studart<sup>3</sup>

Artigo recebido em: 07/02/2017 e Aceito para publicação em: 07/06/2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i3.28812>

**Resumo:** A estimativas de vazão máxima de escoamento superficial são necessárias para o projeto de obras hidráulicas e modelagem hidrológica das águas subterrâneas em bacias urbanas e rurais. A dificuldade em aplicar os procedimentos disponíveis para calcular a variação do escoamento superficial com o tempo e de seu valor máximo está na escolha do método. Dessa forma, a investigação de um método que produza estimativas confiáveis da vazão máxima e do hidrograma de escoamento superficial é de grande interesse, principalmente considerando uma área de estudo localizada em uma região cujo abastecimento é quase exclusivamente subterrâneo, estudos desse tipo se apresentam com significativa relevância para os dados de recarga do aquífero. O trabalho teve como objetivo avaliar a sensibilidade dos hidrogramas de cheias máximas obtidos pelo método do SCS (*Soil Conservation Service*) a variação do CN (Número da Curva) e ao tempo de concentração em uma microbacia urbana localizada no município de Juazeiro do Norte/CE. Foram simulados 186 hidrogramas de vazões máximas a partir de seis cenários de uso e ocupação do solo e da variação do tempo de concentração com aplicação de sete equações para obtenção do tempo de concentração. Os resultados indicaram grande dependência na forma dos hidrogramas de vazões máximas obtidas pelo método do SCS ao valor do tempo de concentração e ao CN. Em adicional, o estudo revelou que a cheia máxima na bacia analisada é mais sensível as alterações do CN nas condições de pequenos tempos de concentrações.

**Palavras-chave:** Incertezas. Previsão de cheia. Drenagem urbana.

**Abstract:** Estimates of maximum runoff flow are necessary for design of hydraulic works and hydrological model in urban and rural basins. The difficulty in applying the available procedures to calculate the variation of the surface runoff with time and its maximum value is in the choice of method. The investigation of a method that produces reliable estimates of maximum flow and surface flow hydrograph is of great interest, especially considering an area whose supply is almost exclusively from groundwater; studies of this type present a significant relevance to the recharge data of the aquifer. The objective of this paper is to evaluate the sensitivity of the maximum flood hydrographs obtained by the SCS (*Soil Conservation Service*) to the CN (*Curve Number*) and to the time of concentration in an urban micro basin located in the city of Juazeiro do Norte - CE. A total of 186 hydrographs of maximum flow rates were simulated from six scenarios of land use and occupation and values of time of concentration obtained by seven equations. The results indicated a high dependence on the maximum flow hydrographs to both parameters. In additional, the study revealed that the maximum flood in the basin analyzed is more sensitive to CN changes under the conditions of small time of concentration values.

**Keywords:** Uncertainty. Discharge forecasting. Urban drainage.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento urbano desordena-

do e acelerado, as áreas de várzea foram ocupadas e houve um aumento na magnitude e na frequência das inundações, devido ao

<sup>1</sup> Universidade Regional do Cariri (URCA). Juazeiro do Norte, CE E-mails: ([renatodeof@gmail.com](mailto:renatodeof@gmail.com))

<sup>2</sup> Universidade Federal do Cariri (UFCA). Juazeiro do Norte, CE E-mails: ([celme.torres@ufca.edu.br](mailto:celme.torres@ufca.edu.br))

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE. E-mail: ([ticiano@ufc.br](mailto:ticiano@ufc.br))

excesso de áreas impermeabilizadas. Por essa razão, o volume de água que antes infiltrava, passou a compor o volume que escoou superficialmente, aumentando o volume escoado e as vazões de pico (CANHOLI, 2015).

O número da curva (CN) é um parâmetro hidrológico usado para descrever o potencial de escoamento das águas pluviais para áreas de drenagem, e é uma função do uso da terra, do tipo de solo e umidade (MAHMOUD, 2014). O método SCS (USDA, 1986), particularmente, utiliza o Número da Curva (CN) para representar as características do solo e da superfície. Entretanto, devido à falta de informações detalhadas, principalmente, das características do solo, o valor do CN apresenta muitas incertezas. Outro parâmetro fundamental nesse método e que também apresenta incertezas é o tempo de concentração. Esse último parâmetro é determinado a partir de equações empíricas e semi-empíricas (MATA-LIMA *et al.*, 2007). A formulação de tais equações se baseia em dados de microbacia com características locais e específicas necessitando de critérios para sua aplicação.

As recargas dos aquíferos possuem uma ligação direta com os processos hidrológicos de escoamento e infiltração. Estudos desenvolvidos por Jha (2009); Cibin *et al.*, (2010); Santosh *et al.*, (2010) e Lelis *et al.*, (2012) mostraram que dentre os parâmetros apontados como os mais sensíveis na aplicação de modelos hidrológicos pode-se citar o curva-número (CN), que é um parâmetro utilizado para obter previsões do escoamento superficial ou de infiltração da água no solo.

As implicações ao se adotar valores incertos para os parâmetros citados se apresentam nos hidrogramas de vazões e o seu impacto depende da bacia hidrográfica analisada e do método utilizado. Nesse sentido, este estudo analisa a sensibilidade dos hidrogramas de vazões máximas aos valores do tempo de concentração e Curva Número

(CN) em uma microbacia urbana localizada em Juazeiro do Norte no Cariri Cearense.

## 1 METODOLOGIA

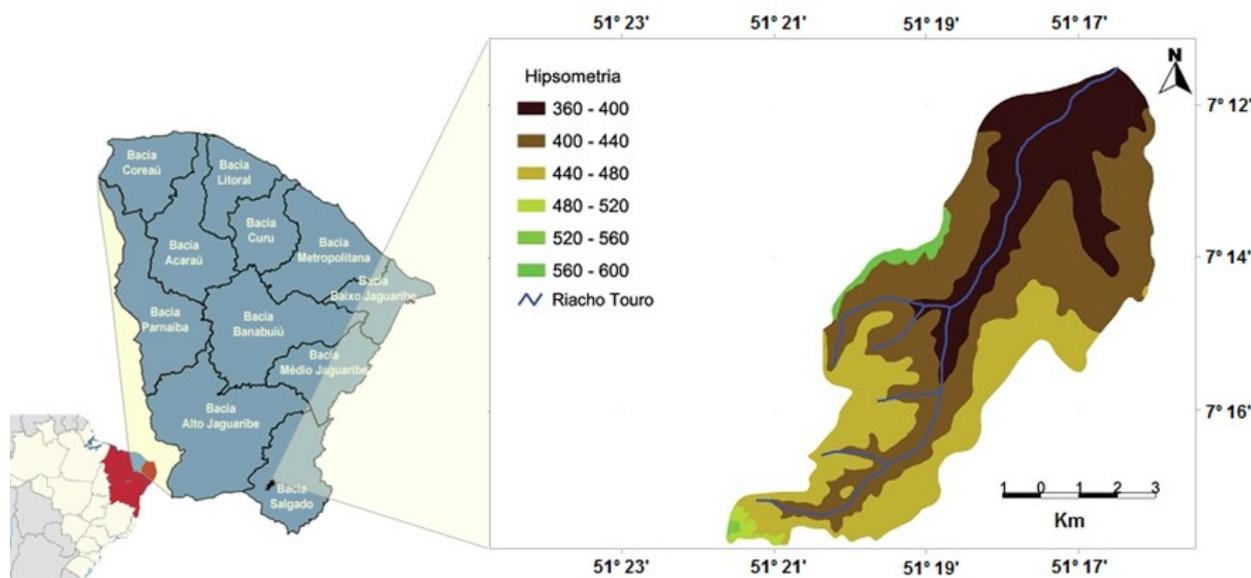
### 1.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na microbacia do Riacho Touro, localizada na bacia hidrográfica do Salgado, região do Cariri Cearense (Figura 01). A bacia do Salgado compreende integralmente 23 (vinte e três municípios) e pequena parte do município de Orós. Portanto, a microbacia do Riacho do Touro possui 100% do seu território dentro da bacia do Salgado (CEARÁ, 2009).

O exutório da microbacia está localizado nas coordenadas 51°16'50" de longitude oeste e 7°11'32" de latitude sul, apresenta uma área 61,331 km<sup>2</sup> dos quais 70% encontram-se no município de Juazeiro do Norte, atravessando a zona urbana.

No estudo da hipsometria (Figura 01) foi aplicado o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) a partir de cartas topográficas, utilizando o sistema de informações geográficas, por meio do software gvSIG (GVA, 2010). O MDEHC permitiu o cálculo dos parâmetros morfométricos para o estudo do comportamento hidrológico da microbacia.

A caracterização morfométrica da microbacia em estudo foi realizada por Costa *et al.* (2011). Os autores utilizaram técnicas de geoprocessamento para caracterizar a microbacia e obtiveram 61,33 km<sup>2</sup> de área, 16,09 km de extensão do rio principal e 12,2% como sendo a declividade média da bacia. A EMBRAPA (1999) classifica o relevo da microbacia como sendo ondulado. O município de Juazeiro do Norte possui área territorial de 248,83 km<sup>2</sup> (IBGE, 2015). A esquerda da seção de controle do riacho Touro está o rio Batateira, o encontro do Riacho do Touro com o Rio Batateira forma o rio Salgado, ambos constituem um dos limites do perímetro urbano de Juazeiro do Norte.

**Figura 1** - Mapa de localização e hipsometria da microbacia do riacho Touro, município de Juazeiro do Norte, CE

Fonte: adaptado de Costa *et al.* (2011)

## 1.2 Métodos de estimativa da cheia máxima

A vazão máxima, também definida como cheia máxima ou cheia de projeto é utilizada na previsão de enchentes e no projeto de obras hidráulicas tais como condutos, canais, bueiros, entre outras (TUCCI, 2009). O hidrograma de projeto é necessário quando o volume, a distribuição temporal e os picos são importantes no funcionamento da obra hidráulica, como no caso de reservatórios e para gestão de inundações em áreas de riscos.

As estratégias adotadas para estimativa da cheia máxima em pequenas e médias bacias, geralmente inclui a caracterização morfométrica, avaliação dos aspectos sociais e econômicos para a escolha de um período de retorno associado à chuva de projeto e por fim o uso de uma metodologia para estimativa da cheia máxima. No entanto, não se pode definir, a priori, a distribuição de probabilidades para descrever a frequência de vazões em hidrologia e, sim, selecionar uma família de curvas indicadas ao tipo de dados analisado e, em seguida, individualizar a lei de probabilidade que mais se adapta a interpretar cada série histórica disponível.

Silva (2003) mostrou que eventos extremos não seguem uma distribuição normal, são mais adaptados à distribuição

generalizada de valores extremos (GEV), definidas por Chow *et al.* (1988) como dos tipos I, II e III, ou de Gumbel, Frechet e Weibull, respectivamente. Desta forma, em bacias hidrográficas provida de dados hidrológicos observados (principalmente chuva e cheia) o procedimento mais usado tem sido a avaliação estatística dos dados através do uso de distribuições de probabilidades.

Em bacias hidrográficas desprovidas de cheia observada, muito comum em bacias urbanas brasileiras, geralmente utiliza-se de métodos determinísticos, como o Racional, Racional modificado e Curva Número ou SCS (*Soil Conservation Service*). Vários são os critérios para seleção do método mais apropriado, mais sem dúvida o principal destes é a área. Nesse sentido, Porto *et al.* (2004) e Tucci (2009) aconselham aplicação do método Racional para bacias com área inferior a 2 km<sup>2</sup>. Pruski *et al.* (2006) sugerem o uso do método racional para áreas de 0,5 km<sup>2</sup> a 5 km<sup>2</sup> e o método racional modificado para áreas de 10 km<sup>2</sup> a 150 km<sup>2</sup>.

O método da Curva Número, ou SCS, é um dos métodos mais usados sendo recomendado para bacias com áreas superiores a 2 km<sup>2</sup> podendo chegar até 2.600 km<sup>2</sup> (McCUEN, 1982; GENOVEZ, 2001). Apesar de haver algumas divergências

relacionadas ao limite superior da área para aplicação desse método, o consenso é que seu uso é apropriado para bacias de tamanho médio, aqui definido segundo Campos (2009) como sendo aquelas com áreas entre 2,5 km<sup>2</sup> e 100 km<sup>2</sup>. Todos os métodos determinísticos (ou empíricos) especificados acima utilizam parâmetros que tentam representar as características de superfície da bacia hidrográfica. Taís parâmetros tem a função de ponderar a quantidade de água excedente que servirá para gerar o escoamento superficial de acordo com a taxa de infiltração do solo. A taxa de infiltração do solo, por sua vez, é influenciada por muitos fatores, como o tipo de solo, umidade antecedente no solo, uso e ocupação da superfície (BRANDÃO *et al.*, 2006) tornando a determinação desses parâmetros uma fonte de grandes incertezas.

A urbanização de uma área aumenta o escoamento superficial e compromete a recarga dos aquíferos. O método usualmente utilizado para determinar a vazão máxima de projeto dos condutos pluviais de pequenas áreas é o Racional (TUCCI, 2000). O método Racional, usa o coeficiente de escoamento “C” para representar as características de superfície e do solo, enquanto que o método SCS utiliza o valor da Curva Número (CN). Bacias urbanas geralmente apresentam valores de C e CN superiores às bacias rurais devido à impermeabilização do solo causado pela urbanização.

### 1.3 Método SCS (*Soil Conservation Service*)

O método SCS, ou método *Curve Number*, foi desenvolvido em 1950 pelo *United States Department of Agriculture Soil Conservation Service (USDA/SCS)*, atual *Natural Resources Conservation Service (NRCS)*, e desde então tem sido amplamente utilizado para estimar o escoamento superficial direto, a partir de eventos de precipitação.

Hawkins *et al.* (2008) apresentaram o estado atual da prática da metodologia SCS, mas a primeira fonte de referência sobre os métodos é o *National Engineering Handbook*,

*Section 4, Hydrology (NEH4)*, lançado em 1954 e que passou por muitas atualizações, porém os principais conceitos mantiveram-se inalterados.

No método SCS a geração do escoamento superficial direto é determinada a partir da precipitação acumulada em um evento específico e da retenção potencial do solo (equações 1 e 2).

$$P_e = \frac{(P - 0,2.S)^2}{P + 0,8.S}, \text{ se } P > 0,2.S \quad (1)$$

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Em que:  $P_e$  é a precipitação efetiva, ou escoamento superficial (mm);  $P$  é a precipitação acumulada de um evento (mm);  $S$  é a retenção potencial do solo (mm) e  $CN$  é chamado de “número da curva” (adimensional).

É possível observar nas equações 1 e 2 a geração do escoamento superficial depende de  $P > 0,2S$ , que é uma estimativa inicial das perdas por interceptação e retenção em depressões. A retenção potencial ( $S$ ) depende do tipo, ocupação e uso do solo que é representado pelo valor de  $CN$ .

O valor de  $CN$  foi estabelecido inicialmente para pequenas bacias monitoradas pelo NRCS. O valor representa também a umidade antecedente do solo devido às chuvas dos últimos cinco dias. As condições de umidade são descritas como condição I, ou solo seco, condição II, solo com umidade média (muito comum na época chuvosa) e condição III com solo úmido já próximo da saturação. O tipo de solo nesse método é classificado em grupos hidrológicos A, B, C e D, com maior e menor capacidade de retenção potencial, respectivamente (NRCS, 2009).

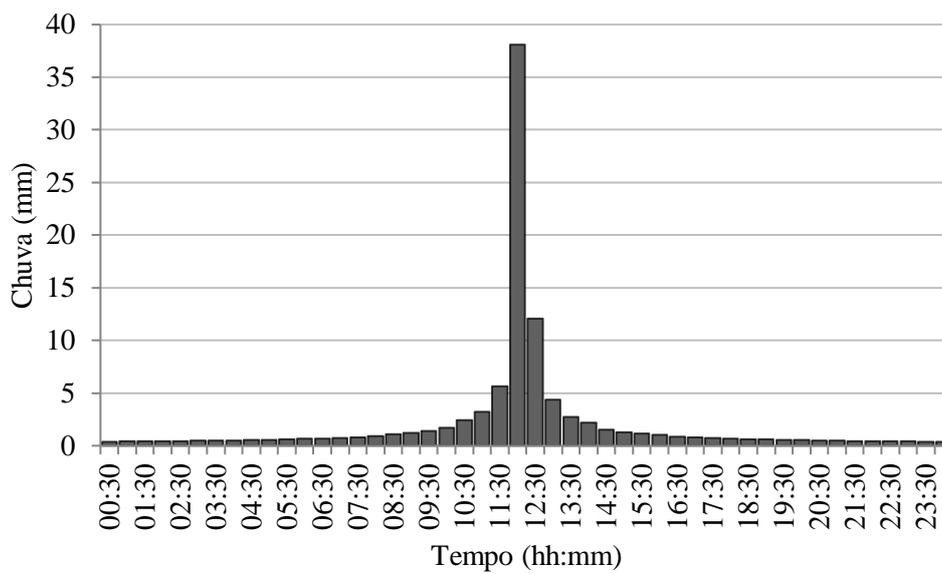
O sucesso do método SCS depende em grande parte da determinação do valor de  $CN$  (PORTO *et al.*, 2004). Assim, no Brasil, vários esforços têm sido feito para adaptar o modelo para as condições nacionais (SETZER & PORTO, 1979; SARTORI *et al.*, 2005; LUCAS *et al.*, 2009; SARTORI *et al.*, 2011).

## Chuva Máxima

A chuva máxima, ou intensa, foi obtida a partir da curva IDF determinada para Quixeramobim/CE (PFAFSTETTER, 1982)

devido à ausência de curva IDF com tempo de duração suficiente na área de estudo. A Figura 2 apresenta o hietograma da chuva adotada com a duração de 24-h e a discretização temporal de 30 minutos.

**Figura 2** - Chuva máxima adotada para duração de 24-h com discretização temporal de 30 minutos e período de retorno de 10 anos



Para evitar que nenhum tempo de concentração fosse superior a duração da chuva, o que não seria recomendável para simulação dos hidrogramas de vazões, a duração da chuva adotada foi de 24-h. O período de retorno adotado em todas as simulações foi de 10 anos, que é o valor geralmente usado para projetos de obras de drenagem urbana.

### 1.4 Hidrograma Unitário Sintético do SCS

O hidrograma é a representação gráfica da cheia gerada no tempo em uma determinada seção do rio para uma área de drenagem. Um Hidrograma Unitário (HU) representa um volume unitário gerado por uma chuva unitária, com duração e altura unitária. Conhecido o HU pode-se determinar o hidrograma curvilíneo (ou total) de uma chuva qualquer com altura pluviométrica e duração igual a que gerou o HU (SILVEIRA, 2010).

Quando o HU é gerado a partir das equações de estimativa de cheia e de parâmetros físicos da bacia ao invés dos dados de vazões observados, este é chamado de sintético. Os métodos mais usados para determinação do HU sintético são os de Clark, Santa Bárbara e do SCS (PORTO, 1995).

O Hidrograma Unitário Sintético do SCS, particularmente, considera a área de um triângulo unitário como sendo numericamente igual ao escoamento superficial. Assim, conhecendo alguns parâmetros de tempo que caracterizam o hidrograma de cheia e a área da bacia é possível determinar a cheia máxima. Tais parâmetros são o tempo de base ( $T_b$ ) que representa a base do triângulo do HU e o tempo de pico ( $T_p$ ) que representa o tempo ascensão do HU. Esses dois parâmetros ( $T_b$  e  $T_p$ ) dependem da discretização temporal da chuva e do tempo de concentração da bacia ( $t_c$ ). Uma estimativa recomendada é considerar  $T_b$  e  $T_p$  como indicado nas equações 3 e 4 (DNIT, 2005).

$$T_b = 2,67.T_p \quad (3)$$

$$T_p = \frac{D_i}{2} 0,6.t_c \quad (4)$$

Em que:  $T_p$  é o tempo de pico do hidrograma triangular (h);  $T_b$  é o tempo de base do hidrograma triangular (h);  $D_i$  a discretização temporal da chuva (h) e  $t_c$  – tempo de concentração da bacia (h).

Para a discretização temporal da chuva ( $D_i$ ) a recomendação da literatura é usar de 1/10 a 1/7,5 do tempo de concentração médio da bacia (PORTO *et al.*, 1999).

Análises de sensibilidades, como as realizadas por Silveira (2010), indicaram que a duração da chuva (D) não apresentaria grandes impactos no valor da cheia estimada desde que o seu valor seja igual ou superior ao tempo de concentração. A discretização da chuva no tempo ( $D_i$ ) por representar uma parcela pequena do tempo e ainda ter seu valor dividido pela metade (equação 4), possivelmente teria pequeno impacto no

hidrograma de vazões. No entanto, o tempo de concentração, parâmetro com grandes incertezas, pode influenciar no formato do hidrograma de vazões e, portanto no valor da cheia máxima que é adotada para o dimensionamento das obras drenagem e infraestrutura hídrica.

### 1.5 Análises de sensibilidade

Reconhecendo que a determinação do CN e do tempo de concentração ( $t_c$ ) apresentam grandes incertezas, foi realizada a análise de sensibilidade nos hidrogramas de vazões considerando na microbacia do Riacho Touro (Figura 1).

Para realização das simulações foi utilizado o sistema ABC6 (PORTO, *et al.*, 1999). O ABC6 é um sistema de suporte a decisão que permite avaliar múltiplas bacias e gerar diferentes cenários. Esse aplicativo pode ser obtido gratuitamente em: <http://www.labsid.eng.br>.

As equações para estimar o tempo de concentração incluídas no ABC6 e aplicadas nesse estudo estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Valores do tempo de concentração ( $t_c$ ) e equações utilizadas

Equação	$t_c$		Equação
	min.	Hora	
Bransby-Willians	449	7,5	$t_c = 306 \cdot \frac{L}{5280} \left( \frac{1}{A^{0,1} \cdot S_i^{0,2}} \right)$
Dooge	291	4,9	$t_c = 70,8 \cdot \left( \frac{A^{0,41}}{S_i^{0,17}} \right)$
Kerby	68	1,1	$t_c = 7,23 \cdot \left( \frac{L \cdot c}{S_i^{0,5}} \right)^{0,467}$
Kirpich I	262	4,4	$t_c = 0,0196 \cdot \left( \frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$
Onda Cinemática	1.166	19,4	$t_c = 55 \cdot \left( \frac{n^{0,6} \cdot L^{0,6}}{I^{0,4} \cdot S_i^{0,3}} \right)$
SCS	1.435 – 602	23,9 – 10,0	$t_c = 0,43 \cdot \frac{L^{0,8}}{S_i^{0,5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$
Padrão ABC6	234,9	3,9	$t_c = \frac{\sqrt{A}}{2}$

Em que: L é o comprimento do talvegue (m); A é a área da bacia (km<sup>2</sup>); Si é a declividade equivalente (m/km); c é a

rugosidade de retardo (depende da superfície e é adimensional);  $\Delta h$  é a diferença de cotas (m); n é a rugosidade de Manning

(adimensional);  $I$  é a intensidade da chuva associada ao período de retorno (mm/h) e CN é o número da curva número do método SCS. Detalhes da formulação das equações apresentadas na Tabela 1 e recomendações de uso podem ser encontrado em Mata-Lima *et al.* (2007), Porto *et al.* (2004) e Porto (1995).

As equações dos tempos de concentração (Tabela 1) indicaram valores de aproximadamente 1 hora até 24-h. Considerando esse intervalo, foram realizadas simulações com o passo de tempo de 1 hora e CN de 70 a 95 com incremento de 5 unidades. A Tabela 2 apresenta todos os parâmetros adotados nas simulações.

**Tabela 2** - Resumo dos parâmetros adotados nas simulações para análise de sensibilidade.

Parâmetro	Valor	Unidade
Área (A)	61,33	km <sup>2</sup>
Período de retorno (T)	10	Anos
Comprimento do talvegue (L)	16,00	Km
Declividade (S <sub>i</sub> )	5,00	m/km
Diferença de cotas ( $\Delta h$ )	80,00	m
Intensidade da precipitação (I)	4,14	mm/h
Duração da chuva intensa (D)	24	h
Discretização temporal da chuva (D <sub>i</sub> )	0,5	h
Tempo de concentração (t <sub>c</sub> )	1 a 24	h
Curva Número (CN)	70 a 95	-
Rugosidade de retardo (c)	0,0170	-
Rugosidade de Manning (n)	0,0580	-

## 2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.1 Hidrogramas das vazões máximas

Com aplicação da metodologia foi obtido 186 hidrogramas de vazões máximas. A partir dos seis cenários de uso e ocupação do solo (CN de 70, 75, 80, 85, 90 e 95) e da variação do tempo de concentração de 1 a 24-h (passo de tempo de 1 hora) foram obtidos 144 hidrogramas. Os outros hidrogramas (42) foram gerados a partir das sete equações de estimativa do tempo de concentração (Tabela 1) para os valores de CNs adotados.

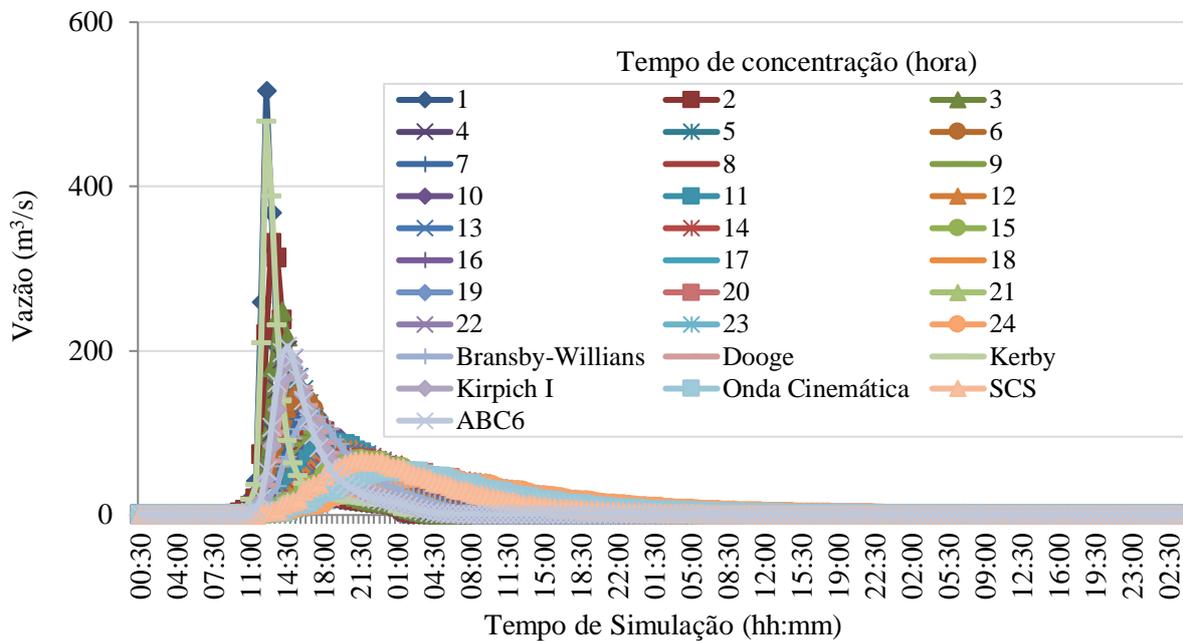
A Figura 3 apresenta os hidrogramas de vazões máximas para o CN de 85 e 31 tempos de concentração, incluindo as equações empíricas (Tabela 1). O período de retorno adotado em todas as simulações foi de 10 anos.

Os valores obtidos com as equações usadas para estimar o tempo de concentração e a variação do CN nos cenários propostos

resultaram em hidrogramas de vazões com forma diferenciada. A equação de Kerby, particularmente, que estimou o menor tempo de concentração para a microbacia em estudo, quando usada para determinar o hidrograma de vazões pelo método do HU sintético do SCS apresentou pico superior a todas as outras equações.

As equações da Onda Cinemática e SCS que estimaram os maiores tempos de concentração (19,4-h e 23,9-h, respectivamente), ao contrário da equação de Kerby, geraram hidrogramas com formato achatado, minimizando a magnitude da cheia máxima. Destaca-se que as equações empíricas de Dooge, Kirpich I e a padrão do ABC6 apresentaram valores próximos de 4-h. Como pode ser observado na Tabela 1, o valor do CN é considerado apenas na equação do SCS, que apresentou grande sensibilidade a esses valores, mas as respostas foram superiores a maioria das outras equações.

**Figura 3** - Hidrogramas das vazões simulada na microbacia do Riacho Touro (Juazeiro do Norte, CE) para os tempos de concentração no intervalo de 1-h a 24-h, incluindo os valores estimados pelas sete equações adotadas, para o período de retorno de 10 anos e CN de 85



Analisando o gráfico da Figura 3 é possível identificar o impacto que a variação do tempo de concentração causa na forma do hidrograma de vazões e conseqüentemente na cheia máxima. Assim, mesmo o volume total de água mantendo-se constante para um mesmo CN, independente do tempo de concentração, a cheia máxima sofre variações significativas reduzindo seu valor de pico com o aumento do tempo de concentração. As alterações são causadas pelo aumento do tempo de pico ( $T_p$ ) (deslocando-se para direita) que amplia também o tempo de base do hidrograma (observe que  $T_b=2,67.T_p$ ).

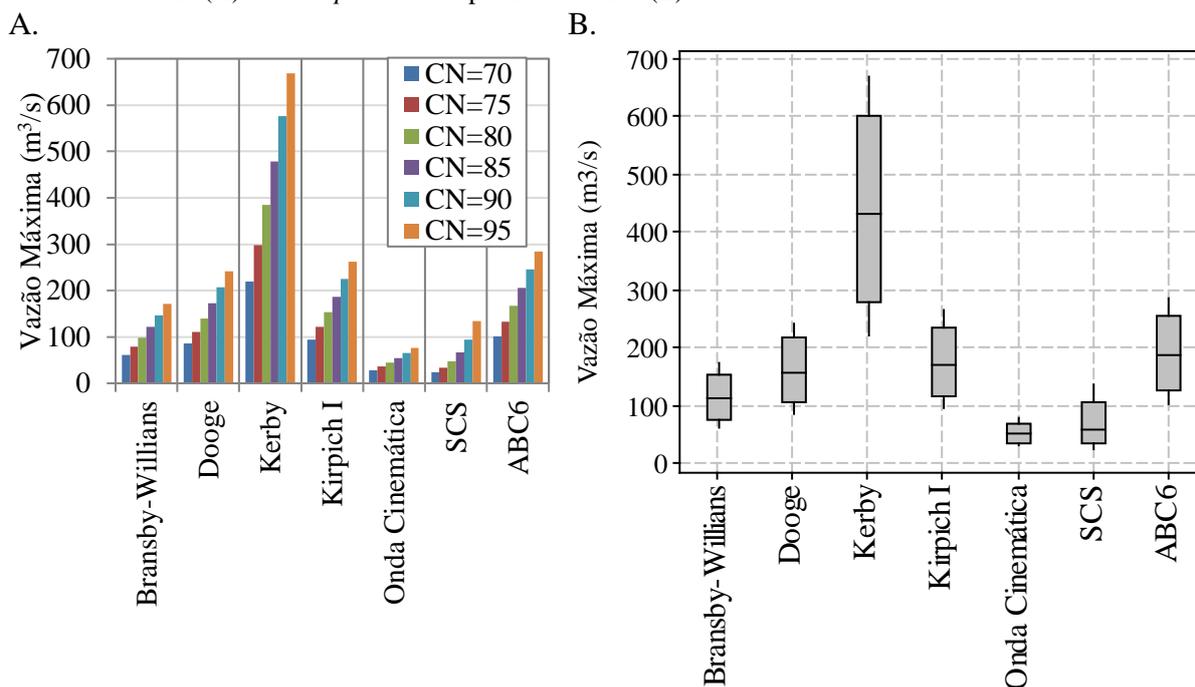
## 2.2 Cheia Máxima

Os resultados obtidos para a cheia máxima mostraram forte dependência à equação adotada para estimar o tempo de concentração e ao valor do CN. A Figura 4A apresenta a variação da cheia máxima em função do CN para cada equação usada na

estimativa do tempo de concentração. As equações da onda cinemática e SCS, que apresentaram os maiores valores de tempo de concentração, apresentaram as menores vazões máximas para todos os valores de CN. A Figura 4B mostra os *boxplots* das vazões máximas para os valores de CN de 70 a 95. Esse gráfico apresenta a dispersão das vazões máximas em torno da mediana (linha horizontal da caixa). Os valores mínimos e máximos também estão representados nos extremos das linhas verticais.

As caixas da Figura 4B indicam a dispersão dos 50% dos valores de vazões máximas. O limite inferior da caixa representa o percentil 25% e o superior 75%. Analisando essa última figura é possível observar que a cheia máxima é mais sensível às alterações do CN quanto utilizada à equação de Kerby. Por outro lado a cheia máxima sofre pouca modificação quando aplicada a equação da onda cinemática nos seis cenários de uso e ocupação do solo.

**Figura 4 -** Variação da cheia máxima para diferentes equações de estimativa de tempos de concentração e valores de CN (A) e os *boxplots* dos respectivos valores (B)



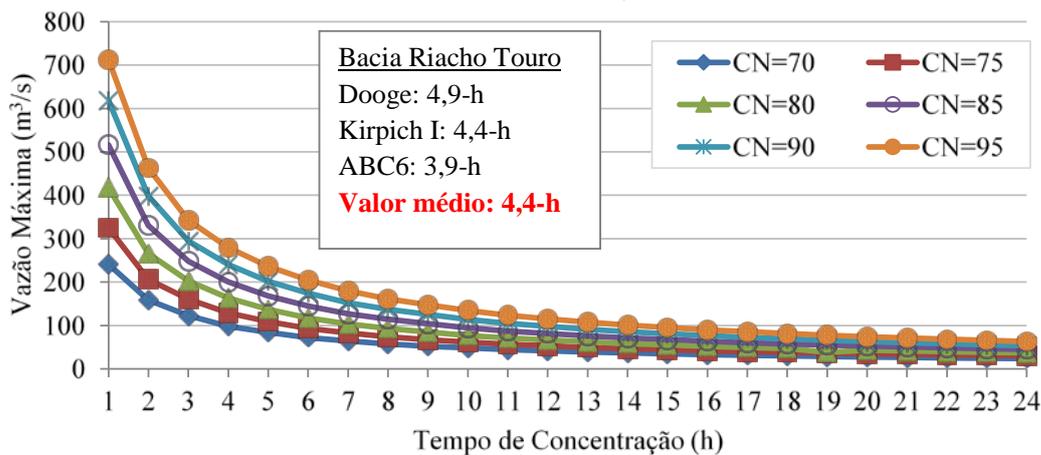
Para os valores de tempo de concentração maiores (exemplo, acima de 12-h) as vazões máximas são pouco sensíveis às modificações do CN. Entretanto, para tempos de concentração menor, as modificações no CN geram grandes variações nas vazões máximas. Esse resultado é interessante por que mostra claramente que bacias com tempo de concentrações menores são as mais afetadas com as modificações no uso e ocupação do solo em relação às cheias máximas. Tais bacias são geralmente aquelas com altas declividades e pequenas áreas.

Andrade *et al.* (2017) mostrou que o CN se apresenta como um dos parâmetros

mais sensíveis nos estudos de modelagem hidrológica para analisar os impactos das alterações do uso do solo sobre o escoamento da água, recarga de aquíferos, produção de sedimentos e qualidade da água em grandes bacias hidrográficas não instrumentadas.

A Figura 5 apresenta as vazões máximas para os tempos de concentração de 1 hora até 24-h nos seis cenários de uso e ocupação do solo. Nessa figura podemos observar o aumento das vazões máximas com o aumento do CN devido à redução da capacidade de infiltração de água no solo. Por outro lado, com o aumento do tempo de concentração ocorre redução das vazões máximas

**Figura 5** - Variação da cheia máxima com o tempo de concentração ( $t_c$ ) para valores de CN de 70 a 95 na microbacia do Riacho Touro, Juazeiro do Norte/CE



Em D'Asaro *et al.* (2014) foram feitas comparações entre as CN estimadas utilizando-se os complexos hidrológicos de cobertura do solo com base nas tabelas do SCS e da CN avaliadas a partir de eventos pluviométricos e de escoamento.

De acordo com Scharffenberg e Fleming (2010), os hidrogramas produzidos pelo modelo chuva-vazão estabelecido pelo SCS pode constituir uma ferramenta útil para previsão de picos de vazão, de impactos provocados pela urbanização de uma bacia, de modificações causadas por projetos de vertedouros de reservatórios, para avaliação da redução de danos associados à inundação e para a determinação da planície de inundação e de áreas de risco.

Abdullah *et al.* (2004) aplicaram o método SCS para a bacia Sungai Tasoh localizada na Malásia. Com o estudo foi possível concluir que o uso do método SCS resultou numa boa estimativa da vazão máxima e do volume do hidrograma, isso porque este foi calibrado a partir de hidrogramas de cheia observados.

### 3 CONCLUSÃO

As análises de sensibilidade realizadas nesse estudo indicaram grande dependência na forma dos hidrogramas de cheias máximas obtidas pelo método SCS ao valor do tempo de concentração e do CN estimado. As alterações na forma dos hidrogramas de vazões implicaram em modificações no valor

das vazões máximas que são adotadas em muitas aplicações de engenharia.

O estudo indicou que a cheia máxima na bacia analisada é mais sensível as alterações do CN quando utilizado tempos de concentrações menores. Por outro lado a cheia máxima sofre pouca modificação em relação ao CN quando adotado tempos de concentração próximo a 24-h. Nesse mesmo aspecto, a cheia máxima apresentou baixa sensibilidade quando aplicada a equação da onda cinemática (maior valor estimado) e alta sensibilidade para a equação de Kerby (menor valor estimado).

As equações de Dooge, Kirpich I e ABC6 indicaram tempo de concentração médio na microbacia do Riacho Touro de 4,4-h. Entretanto, as equações da onda cinemática e SCS estimaram tempos de concentração de até 24-h. A variabilidade nos tempos de concentração citados indica a necessidade de se analisar a aplicabilidade de cada equação.

O impacto na cheia máxima causado pela a escolha dos valores do CN e dos tempos de concentração das equações analisadas na microbacia em estudo sugere cautela e critérios na escolha desses parâmetros para evitar conclusões equivocadas. Por outro lado, é evidente que, as incertezas contidas na determinação dos eventos de escoamento levam a uma superestimativa ou subestimativa do escoamento de base que compõe uma das parcelas do hidrogramas de cheia, responsável pela recarga das águas subterrâneas.

## REFERÊNCIAS

- BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; MENEZES, M. D. C. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 13-21, 2006.
- CAMPOS, J. N. Lições em modelos e simulação hidrológica. **Fortaleza: ASTEF/Expressão Gráfica**, v. 1. 166 p, 2009.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 302 p.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da Sub-bacia do Salgado / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 2009.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R. E.; MAYS, L. W. **Applied Hidrology**. New York. 1988.
- CIBIN, R.; SUDHEER, K. P.; CHAUBEY, I. Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model. **Hydrological processes**, v. 24, n. 9, p. 1133-1148, 2010.
- COSTA, C. T. F.; SILVA, F. R.; TAVARES, P. R. L. Aplicação de geoprocessamento na caracterização morfométrica da microbacia do Riacho Touro, Ceará. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos Maceió, AL, Brasil. **Anais... Maceió, ABRH**, 2011.
- D'ASARO, F.; GRILLONE, G.; HAWKINS, R. Curve Number: Empirical Evaluation and Comparison with Curve Number Handbook Tables in Sicily. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 19, n.12, Dec. 2014. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000997#sthash.C3dKRGm6.dpuf](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000997#sthash.C3dKRGm6.dpuf)>. Acesso em: 08 mar. 2017.
- DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.
- EMBRAPA. **Classificação de solos do estado de São Paulo**. 1999
- GENOVEZ, A. M.; Vazões Máximas. In: Paiva, J. B. D.; Paiva, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacia hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.
- GVA – Generalitat Valenciana. **gvSIG – Sistema de Informação Geográfica**. Disponível em: <http://www.gvsig.gva.es/>. Acesso em: 01 mai. 2010.
- HAWKINS, R. H.; WARD, T. J.; WOODWARD, D. E.; VAN MULLEM, J. A. (Eds.) **Curve number hydrology: State of the Practice**. Virginia: ASCE, 2008.
- IBGE (Instituto Brasileiro de geografia e Estatística). **Cidades**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=230730>>. Acesso: 18 mar. 2017.
- JHA, M. **Hydrologic simulations of the maquoketa river watershed using SWAT**. 2009. Disponível: [http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/51123/2/09-WP\\_492.Jha.pdf](http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/51123/2/09-WP_492.Jha.pdf). Acesso: 03 out. 2016.
- LELIS, T. A., CALIJURI, M. L., SANTIAGO, A. F., LIMA, D. C., ROCHA, E. O. Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, 2012..
- LUCAS, E. W. M; SOUSA, F. A.; SILVA, S. F. D. S.; LUCIO, P. S. Modelagem hidrológica determinística e estocástica aplicada à região hidrográfica do Xingú – Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.3, p. 308-322, 2009.
- MAHMOUD, S. Investigation of rainfall–runoff modeling for Egypt by using remote sensing and GIS integration. **Catena**, v. 120, p. 111-12, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S034181621400109X>. Acesso em: 08 Mar. 2017.
- MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. Hydrologic response of watershed to land use changes: integration of methods and application to a case

study. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 3, p. 525-536, 2007.

McCUEN, R. H. **A guide to hydrologic analysis using SCS methods**. Prentice-Hall, Inc., 1982.

NRCS (Natural Resources Conservation Service). "Chapter 10: Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall". In: **National Engineering Handbook: Part 630, Hydrology**. 2009. Disponível em: <<http://directives.sc.egov.usda.gov/>>. Acesso em: 24 julho de 2013.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**, 2ª edição, Rio de Janeiro, DNOCS, 1982, 426p.

PORTO, R. L. L. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. P. (org.). **Drenagem urbana**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 5, Ed. da Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1995.

PORTO, R. L. L.; OLIVEIRA, C. M. P.; ZAHED FILHO, K.; ROBERTO, A. N. ABC6 Um sistema de suporte a decisões para análise de cheias em bacias complexas. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte (MG). **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1999.

PORTO, R. L. L.; ZAHED, K.; TUCCI, C.; BIDONE, F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2004.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. dos S.; SILVA, D. D. DA. **Escoamento superficial**. Viçosa: Editora UFV, v. 1. 87p. 2006.

SANTOSH, T.; KOLLADI, R.; SURYA, T. Influence of scale on SWAT model calibration for streamflow in a river basin in the humid tropics. **Water Resources Management**, v. 24, p. 4567-4578. 2010.

SARTORI, A.; HAWKINS, R. H.; GENOVEZ, A. M. Reference Curve Numbers and Behavior for Sugarcane on Highly Weathered Tropical Soils. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, p. 705-711, 2011.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SETZER, J.; PORTO, R. L. Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico DAEE**, v. 2, n. 2, p. 81-104, 1979.

SILVA, C. L. Análise estatística das características de vazão do córrego Capetinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 311-317. 2003.

SILVEIRA, G. M. da **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP, 2010.

TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: Editorada da UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. D. Drenagem urbana. In: **Drenagem urbana**. ABRH/UFRGS, 1995.

USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE). **Urban Hydrology for Small Watersheds**. EUA: USDA, 1986.