

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS SWMM E HEC-HMS PARA SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL – CASO DE ESTUDO BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA

COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE MODELS SWMM AND HEC-HMS TO SIMULATION THE STORM FLOW – CASE STUDY WATERSHED OF CÓRREGO SAMAMBAIA

Rávila Marques de Souza¹, Diogo Coelho Crispim², Klebber T. M. Formiga³

Recebido em 29 de agosto de 2012; recebido para revisão em 05 de setembro de 2012; aceito em 18 de setembro de 2012; disponível on-line em 18 de outubro de 2012.



PALAVRAS CHAVES:

Escoamento superficial;

SWMM;

HEC-HMS.

KEYWORDS:

Storm flow;

SWMM;

HEC-HMS.

RESUMO: O presente estudo objetivou analisar comparativamente os modelos *Storm Water Management Model* (SWMM) e o *Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) para simulação do processo de escoamento superficial, a partir de uma precipitação de projeto. Sendo que, a região escolhida para estudo de caso foi à bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, localizada no município de Goiânia - GO. Para a comparação dos métodos de simulação foram consideradas duas hipóteses: a bacia discretizada em 5 subáreas e a bacia concentrada. Este artigo apresenta a comparação dos resultados da modelagem do escoamento superficial pelos dois modelos, assim como, algumas considerações a respeito da utilização dos dois modelos hidrológicos.

ABSTRACT: The present study aimed comparing the models *Storm Water Management Model* (SWMM) and the *Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) to simulate the process of runoff from a design rainfall. There so, the chosen place to the case studies was the watershed of Samambaia streamlet, located in Goiânia - GO. For comparison of the simulation methods were considered two assumptions: the sub-divided in five subcatchments and the single catchment. This paper presents the comparison of the results of the modeling of runoff for the two models, as well, some considerations about the utilization of two hydrologic models.

* Contato com os autores:

¹ e-mail : ravila.marques@yahoo.com.br (R. M. de Souza)

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil - Universidade Federal de Goiás.

² e-mail : dccrispim@hotmail.com (D. C. Crispim)

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil - Universidade Federal de Goiás.

³ e-mail : klebber.formiga@gmail.com (K. T. M. Formiga)

Prof. Dr. da Escola de Engenharia Civil - Universidade Federal de Goiás – UFG.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos hidrológicos nasceram dentro da necessidade de dar resposta às diferentes questões práticas e científicas. Inicialmente explicando componentes da relação chuva-vazão como o escoamento superficial e em rios.

Através dos modelos matemáticos, é possível prever e estimar a capacidade de escoamento de uma determinada bacia hidrográfica. Essas ferramentas também permitem antever os impactos decorrentes de inúmeros cenários hipotéticos, o que possibilita fundamentar as decisões de gestão de bacias tomadas por seus responsáveis legais (Silva, 2007).

Alguns modelos hidrológicos são denominados chuva-vazão, já que são muitas vezes aplicados com o objetivo de a partir de uma precipitação conhecida, simular a resposta da bacia em termos de vazão para uma determinada seção fluvial de interesse (Moreira, 2005). Os modelos de transformação chuva-vazão podem ser de simulação de evento único (*single event*) ou modelos para eventos contínuos. Os modelos de simulação de evento único simulam o processo de transformação de chuva em vazão e não fazem esforços especiais para levar em conta os outros componentes do ciclo hidrológico. Os usuários desse tipo de modelo normalmente estão interessados no tempo e vazão de pico ou no hidrograma total do escoamento (Viessman Jr. e Lewis, 1992). O modelo HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System*) e o módulo *RUNOFF* do modelo SWMM (*Storm Water Management Model*), são exemplos de modelos de simulação de evento único (*single event*) (USACE, 2004).

A plataforma HEC (Hydrologic Engineering Center), desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers), dispõe de módulos hidráulicos e hidrológicos para simulação, entre os quais os mais importantes são o módulo HEC-RAS – hidráulico e o módulo HEC-HMS – hidrológico. O módulo HMS (Hydrologic Modeling System) simula vários processos hidrológicos, entre eles, destaca-se o processo de transformação chuva-vazão em sistemas de bacias hidrográficas urbanas e rurais (Graciosa, 2010). O modelo *Storm Water Management Model*, desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA) permite simular vários processos do ciclo hidrológico: precipitação, interceptação, infiltração, escoamento superficial nas vertentes, na rede de drenagem e em canais, evapotranspiração, infiltração, interceptação e armazenamento em depressões, sendo um dos programas mais utilizados na área de drenagem

urbana (Siqueira, 2003). Ambos são modelos baseados fisicamente, comumente utilizados na engenharia de recursos hídricos.

A topografia é o principal fator determinante nos processos de transporte de materiais, desta forma, os modelos que tratam da distribuição das águas na bacia hidrográfica, requerem dados baseados nas características físicas desta bacia, tais como, limites da bacia e sub-bacias, inclinação, comprimento, largura, forma de declive, orientação das vertentes, características dos planos e dos canais de drenagem. Esses atributos podem ser computados, através de um MDE (modelo digital de elevação), usando-se uma variedade de técnicas (Moore et al., 1991). Araújo et al. (2009) destaca que a delimitação de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais. Com o advento e consolidação dos Sistemas de Informação Geográfica e, conseqüentemente, o surgimento de formas digitais consistentes de representação do relevo, como os modelos digitais de elevação (MDEs), a delimitação de bacias tem se tornado cada vez mais precisa.

A aplicação de modelos hidrológicos em nível de bacias hidrográficas com auxílio dos SIG pode constituir um avanço quantitativo na caracterização dos parâmetros hidrológicos. De acordo com Johnson (2009), os SIG fornecem um rico conjunto de funções que executam análises usando atributos de dados espaciais, em muitos casos, essas funções fornecem recursos sem precedentes, que são de difícil e demorada mensuração se realizadas manualmente.

1.1 OBJETIVO

Analisar comparativamente os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial direto, a partir da precipitação de projeto ao longo da bacia hidrográfica do córrego Samambaia. Vale ressaltar, que uma das principais informações utilizada na entrada dos modelos é a precipitação que, como parte fundamental do ciclo hidrológico, tem características próprias de ocorrência como intensidade e tempo de retorno. Outra etapa fundamental é a caracterização física da bacia hidrográfica e da sua rede de drenagem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CHUVA DE PROJETO

A bacia hidrográfica do córrego Samambaia está

localizada ao norte do município de Goiânia, entre as coordenadas geográficas $16^{\circ}31'43.50''$ e $16^{\circ}36'19.82''$ de latitude Sul e $49^{\circ}14'5.78''$ e $49^{\circ}17'11.10''$ de longitude Oeste. A foz do mesmo encontra-se junto ao Rio Meia Ponte, localizada na área do Campus Samambaia da Universidade Federal de Goiás. A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo.

A bacia é considerada rural, apesar de atualmente está passando por processo de urbanização. Este processo é visível em vários pontos da bacia, com maior intensidade na margem esquerda do Córrego Samambaia.

Em termos pedológicos, a área é constituída maioritariamente por latossolo vermelho escuro, associado à latossolo roxo, ambos com textura argilosa ou muito argilosa, relevo plano e suave ondulado. Ressalta-se que o levantamento pedológico é de grande importância para experimentos que visam ao estudo de variabilidade espacial e temporal de alguns atributos da

bacia e estabelecer uma base de informações que será útil para justificar eventuais comportamentos hidrológicos na bacia hidrográfica.

O delineamento e a caracterização física das bacias hidrográficas e da sua rede de drenagem é uma etapa fundamental em análises hidrológicas, de maneira que Engman (1996) afirma que o gerenciamento integrado dos recursos hídricos depende da disponibilidade de dados adequados para a construção e validação de modelos representativos dos processos hidrológicos.

Neste estudo as características físicas da bacia foram determinadas a partir do MDE, com resolução espacial de 90 m, proveniente dos dados do SRTM, obtido do banco de dados da Embrapa – CNPM (Miranda et al., 2005). Para a composição de toda a área de estudo, foi necessário baixar apenas um dado SRTM compatível com a folha na escala 1:250.000, sendo a folha SE-22-X-B. A Tabela 1 apresenta algumas das características da bacia do córrego Samambaia.

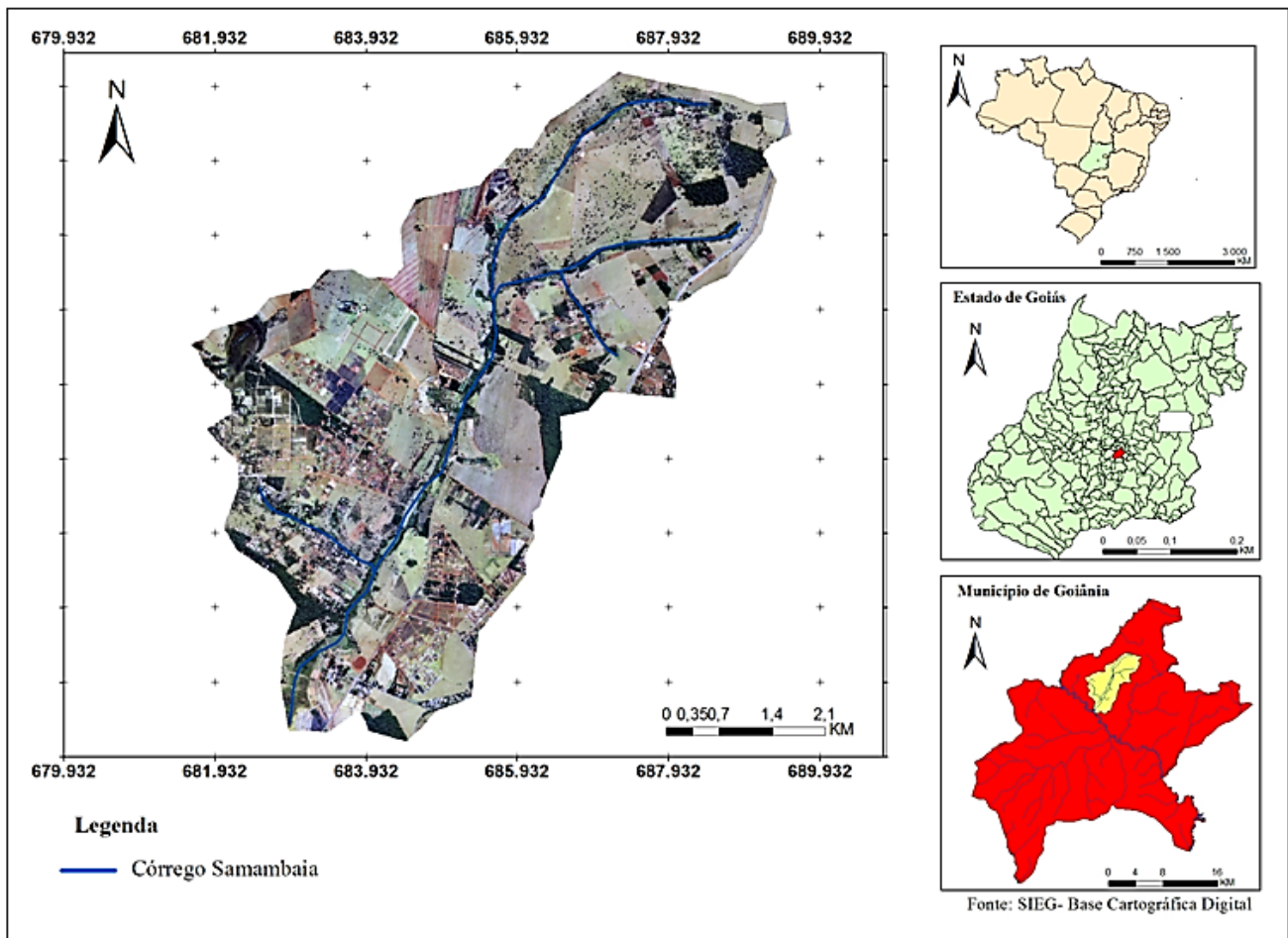


Figura 1: Localização da bacia do córrego Samambaia.

Tabela 1: Características Físicas da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia.

Características Físicas	
Área	32 km ²
Perímetro	14 km
Extensão do Curso Principal	10 km
Declividade do curso Principal	0,011 m/m
Declividade Média da Bacia	0,0293 m/m

Existem vários métodos para criar uma distribuição temporal para chuvas de projeto. Um método frequentemente utilizado quando disponível a equação das curvas intensidade-duração-frequência (i-d-f) é conhecido como método dos blocos alternados.

Sendo assim, a precipitação foi determinada por meio da equação das curvas i-d-f proposta para a cidade de Goiânia por Costa e Prado (2003), para o período de retorno recomendado, sendo que para este caso utilizou-se a equação válida para $1 \text{ ano} \leq T \leq 8 \text{ anos}$. A Equação 01 é utilizada para o cálculo da chuva considerando um tempo de retorno de 5 anos.

$$i = \frac{56,7928 \cdot \left(T^{0,1471 + \frac{0,22}{T^{0,09}}} \right)^{0,6274}}{(t+24,8)^{0,974711}} \quad \text{Eq. [01]}$$

Em que:

i : intensidade pluviométrica (mm/min);

T : período de retorno (anos);

t : duração da precipitação (min).

Segundo Costa et al. (2007), a duração “ t ” da precipitação usualmente assume o mesmo valor do tempo de concentração que por sua vez é definido como o tempo necessário para que toda a área drenada esteja contribuindo para a seção de projeto, ou seção de interesse.

Fisicamente, a precipitação efetiva é a que de fato produz escoamento superficial, considerando-se as abstrações como a infiltração durante o evento de chuva, a interceptação e o armazenamento em depressões. Neste estudo a precipitação efetiva foi calculada pelo método *Soil Conservation Service* (SCS), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e aplicado especialmente quando não se dispõe de dados hidrológicos.

Este método relaciona o escoamento superficial direto acumulado com a precipitação total a partir do traçado da curva-número (CN) (Silva, 2007). Segundo Methods (2003), o método SCS consiste de um procedimento da divisão do total da chuva representado

por um modelo de hietograma, com extrações iniciais (interceptação, infiltração e armazenamento em depressões), retenção do solo e o escoamento.

2.2 APLICAÇÃO DO MODELO SWMM

O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um modelo hidrológico dinâmico, que, a partir de dados de entrada, simula hidrogramas resultantes. Pode determinar a quantidade de escoamento gerado em cada sub-bacia, a vazão, a profundidade do fluxo, a qualidade da água em cada tubulação ou canal, dentre outros. O modelo é dividido em vários blocos diferentes que podem ser simulados separadamente (Collodel, 2009). O bloco “*Runoff*” refere-se à transformação de chuva em vazão, o bloco “*Transport*”, ao transporte na rede de drenagem segundo o conceito da onda cinemática, o bloco “*Extran*” à modelação hidrodinâmica em condutos e canais e o bloco “*Storage/Treatment*” à qualidade das águas (Garcia; Paiva, 2006) e o bloco “*Statistics*” que separa o registro em hidrograma e polutogramas para eventos de chuva independentes, além de fazer cálculos estatísticos e realizar análises de frequência (SMITH, 1992). O bloco utilizado neste estudo é o bloco “*Runoff*” do SWMM versão 5.0.022, para a simulação do escoamento superficial da área de estudo.

O bloco “*Runoff*” gera hidrogramas a partir de dados meteorológicos (chuva e evaporação) e de um conjunto de parâmetros. Estes parâmetros descrevem as características físicas (área, largura “*width*”, inclinação “*slope*”) e hidrológicos (porcentagem de área impermeável, armazenamento em depressão, coeficiente de rugosidade de Manning, e os parâmetros de infiltração) da bacia.

A bacia hidrográfica em estudo pode ser representada na forma de um conjunto de sub-bacias e canais de propagação interconectados (Carvalho, 2011) ou a bacia pode ser considerada de forma concentrada. Ou seja, o usuário do programa divide a área de estudo em um número adequado de sub-bacias ou considera a bacia com apenas uma área e identifica o ponto de saída

da água (exutório). O escoamento superficial, segundo Bastos (2007), é obtido através de um reservatório não-linear para cada área ou sub-áreas representando pela combinação das equações de Manning e da continuidade. O usuário do SWMM pode selecionar o nível de sofisticação que deseja para resolver estas equações. Por tanto, existem três modelos hidráulicos de transporte de água: o fluxo em regime uniforme, onda cinemática e onda dinâmica (ROSSMAN, 2010). Neste trabalho optou-se por trabalhar com o método da onda cinemática.

O SWMM permite selecionar três modelos de infiltração são eles, Equação de Horton, Método Green-Ampt e o modelo de infiltração baseado na Curva Número (CN) do Método SCS. (Rossman, 2010). Neste estudo, utilizou-se a última opção para simular o processo de infiltração e estimar o escoamento superficial da área de estudo, o principal parâmetro de entrada é o número CN (*curve number*).

2.3 APLICAÇÃO DO MODELO HEC-HMS

O *Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) assume que uma bacia hidrográfica é reproduzida como um grupo interligado de áreas e que os processos hidrológicos podem ser representados pelos parâmetros que refletem as condições médias dentro da área (Milde et al., 2002). Um dos componentes do modelo é o *Meteorologic Model*, que pode ser usado para modelar precipitação e o processo de evapotranspiração. Geralmente, apenas o primeiro processo é considerado, uma vez que a evapotranspiração pode ser insignificante

na simulação de precipitações de curta duração (Cundelik; Simonovic, 2004).

Existem sete métodos que podem ser utilizadas no modelo HEC-HMS versão 3.5 para simulação da precipitação sobre a bacia: *Specified Hyetograph*, *gage weighting*, *inverse-distance gage weighting*, *gridded precipitation*, *frequency storm*, *SCS storm*, *standard Project storm*. Segundo Cunderlik e Simonovic (2004), todos os métodos assumem que a precipitação é distribuída uniformemente sobre a área da bacia para um período de tempo determinado. Neste estudo, foi usada a opção de dados de precipitação informados pelo usuário (*Specified Hyetograph*), sendo informado o hietograma gerado pelo método dos blocos alternados.

Aplicou-se o método infiltração baseado na Curva Número (CN) do Método *Soil Conservation Service* (SCS) e adotou-se o método da onda cinemática para a produção dos hidrogramas. O parâmetro CN está relacionado ao tipo de uso do solo e a condições médias de umidade antecedente tanto para bacias rurais ou urbanas, ou seja, o CN determina o total de excesso de chuva que se tornará escoamento superficial direto.

2.4 DISCRETIZAÇÃO DA ÁREA E DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS

Para a simulação foi considerada duas hipóteses: a bacia discretizada em 5 sub-áreas e a bacia concentrada, como apresenta as Figura 2 e 3. A discretização buscou a subdivisão da área em sub-bacias homogêneas, para isso foram utilizadas as características físicas, obtidas a partir do modelo digital de elevação (MDE).

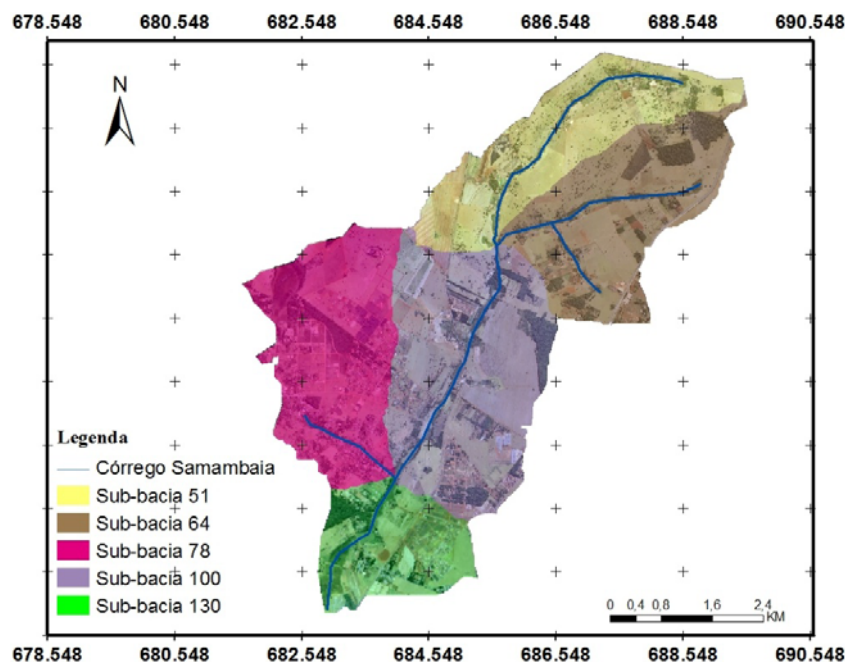


Figura 2: Bacia hidrográfica do córrego Samambaia discretizada em 5 sub-bacias.

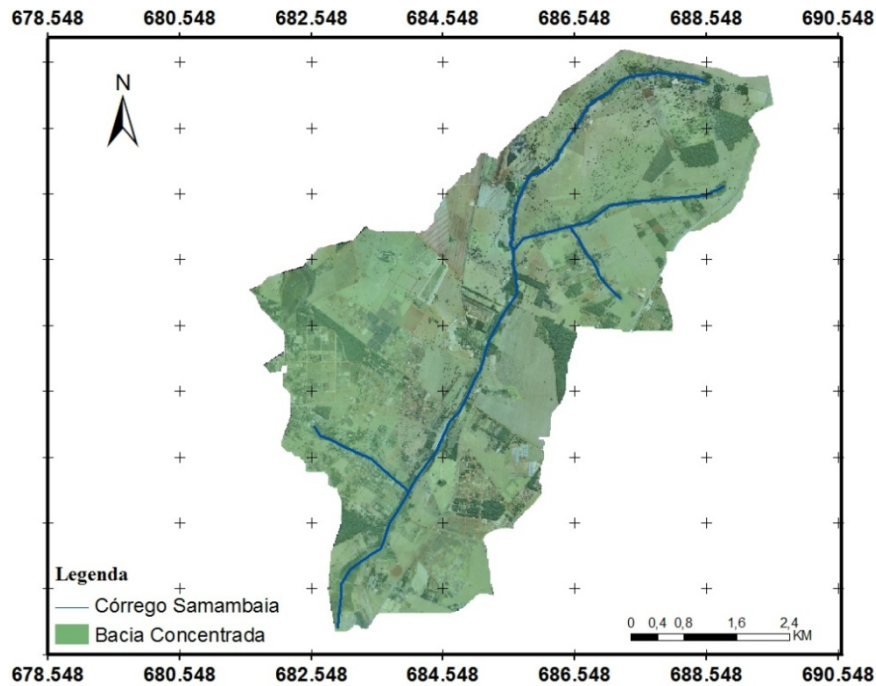


Figura 3: Bacia hidrográfica do córrego Samambaia de forma concentrada.

Para a porcentagem de área impermeável das sub-bacias utilizou-se o Google Earth, a consulta das imagens ocorreu em junho de 2012, porém as imagens eram data de março de 2009. A declividade da cada sub-bacia foi obtida a partir do modelo digital de elevação (MDE) da região hidrográfica em estudo.

Nas Tabelas 3 e 4 podem ser visualizados os valores dos parâmetros de entrada obtidos para a bacia hidrográfica e cada sub-bacia para modelação no SWMM. Destaca-se, que o valor do número CN foi estimado a partir dos valores da tabela determinada

pela *Soil Conservation Service* (1975), conforme o tipo de solo da área de estudo, considerando a situação em que os solos estão secos (AMC I).

Para a determinação dos parâmetros de entrada do modelo HEC-HMS, procedeu-se da mesma forma. Destaca-se que a porcentagem de área para os planos representa a metade do total de cada sub-bacia (50 %) e as porcentagens de áreas impermeáveis foram iguais as calculadas para modelação no SWMM. Os dados obtidos encontram-se sumariados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 2: Parâmetros necessários para simulação no SWMM.

Coef. de Manning Sup. permeável	Coef. de Manning Sup. impermeável	Coef. Manning Curso d'água	Armaz. em depressões Sup. permeável	Armaz. em depressões Sup. impermeável	Curva Número (CN)
0,17	0,011	0,025	5,08	1,90	77,00

Tabela 3: Características da bacia concentrada e sub-bacias utilizadas para simulação no SWMM.

Parâmetros/Características	Sub-bacias					Bacia concentrada
	51	64	78	100	130	
Largura das sub-bacias (m) - Width	8,253	5,283	4,826	4,275	4,724	8,399
Declividade (%)	1,55	0,99	0,50	0,67	1,07	2,93
Área (hectares)	591,65	675,29	695,95	923,71	380,51	3267,11
Área impermeável (%)	4,60	4,40	54,50	25,00	10,00	21,47

Tabela 4: Parâmetros necessários para simulação no HEC-HMS.

Coef. de Manning dos planos	Coef. Manning do canal	Inclinação Lateral (m)	Largura do fundo (m)	Curva Número (CN)
0,17	0,025	0	1,00	77,00

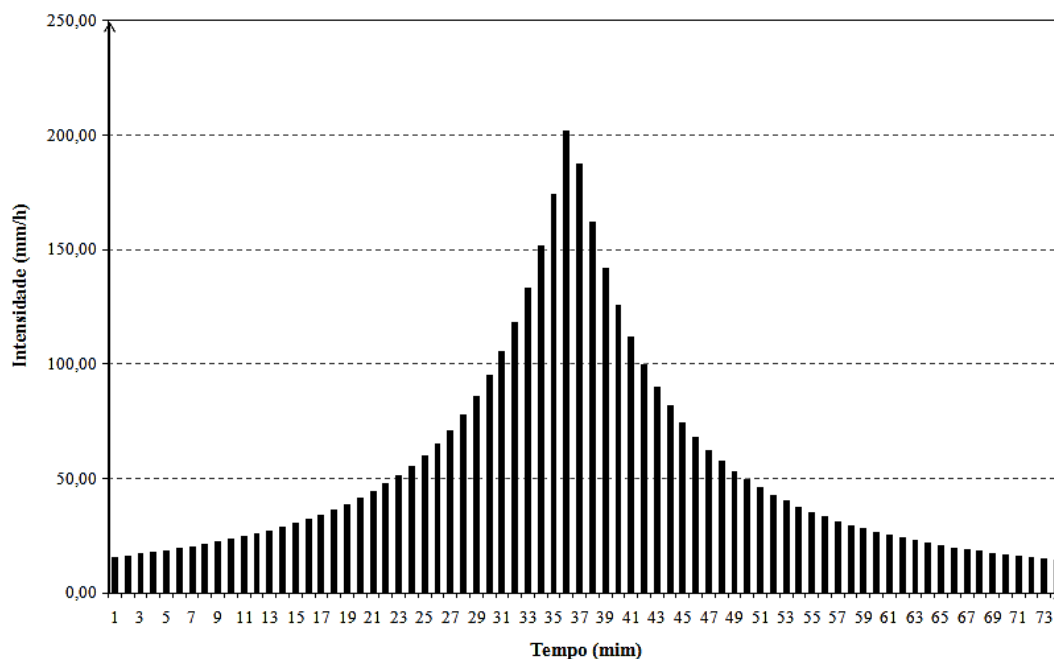
Tabela 5: Características da bacia concentrada e sub-bacias utilizadas para simulação no HEC-HMS.

Parâmetros/Características	Sub-bacias					Bacia concentrada
	51	64	78	100	130	
Área (km ²)	5,91	6,75	6,95	9,23	3,80	32,67
Comprimento - canal (m)	4849,15	5044,4	4970,2	3740,77	2336,3	10926,34
Comprimento dos planos (m)	1231,08	1582,66	2010,08	2467,14	2438,65	2702,01
Comprimento- Plano 2 (m)	615,54	791,33	1005,04	1233,57	1219,32	1351,01
Declividade do plano 1 (m/m)	0,015	0,010	0,005	0,007	0,011	0,0293
Declividade do plano 2 (m/m)	0,0075	0,005	0,0025	0,0035	0,0055	0,0147
Declividade do canal (m/m)	0,020	0,018	0,015	0,0078	0,007	0,0012
Área impermeável (%)	4,60	4,40	54,50	25,00	10,00	21,47

3. RESULTADOS OBTIDOS

Para a simulação do escoamento superficial na área de estudo por meio dos modelos SWMM e HEC-HMS é necessário que o usuário forneça os dados de entrada para a simulação, que neste caso foi a precipitação. A precipitação foi calculada para cada minuto de chuva até o tempo de concentração calculado, 76 minutos, sendo possível construir o hietograma de projeto, baseado no arranjo 5-3-1-2-4-6, conforme recomenda o método *Soil Conservation Service (SCS)* (Figura 4).

Para a discretização temporal, adotou-se 1 minuto para cada incremento de precipitação, mesmo intervalo computacional utilizado nas simulações do módulo *Runoff* do SWMM e no componente *Meteorologic Model* do HEC-HMS. Essa discretização foi adotada após a leitura de alguns trabalhos onde se verificou que períodos maiores podiam não representar bem os resultados, enquanto, que tempo menores não apresentam diferenças significativas nos mesmos. Para o tempo de retorno de 5 anos a intensidade pluviométrica resultante foi de 53,410 mm/h.

**Figura 4:** Hietograma da precipitação de projeto para a bacia de estudo.

Os modelos estudados apresentaram resultados similares para o evento de chuva de projeto, como pode ser observado na Tabela 7. Para as duas configurações analisadas, as respostas dos modelos apresentaram variações pouco significativas em termos de volumes escoados.

Os hidrogramas foram estabelecidos considerando-se a adoção de uma precipitação hipotética com período de retorno de 5 anos, durações iguais ao tempo de concentração da bacia. Nas Figuras 5 e 6 é possível visualizar as hidrógrafas obtidas a partir dos dois modelos analisados.

Tabela 6: Resultado da simulação para as hipóteses propostas.

Hipóteses	Vazão de pico (m ³ /s)		Tempo de pico (min.)		Volume escoado (1000m ³)		Total de perdas (mm)	
	SWMM	HEC-HMS	SWMM	HEC-HMS	SWMM	HEC-HMS	SWMM	HEC-HMS
1ª Hipótese	40,93	37,88	57	74	137,37	137,20	15,59	16,82
2ª Hipótese	47,98	41,59	56	75	137,21	137,15	15,62	16,83

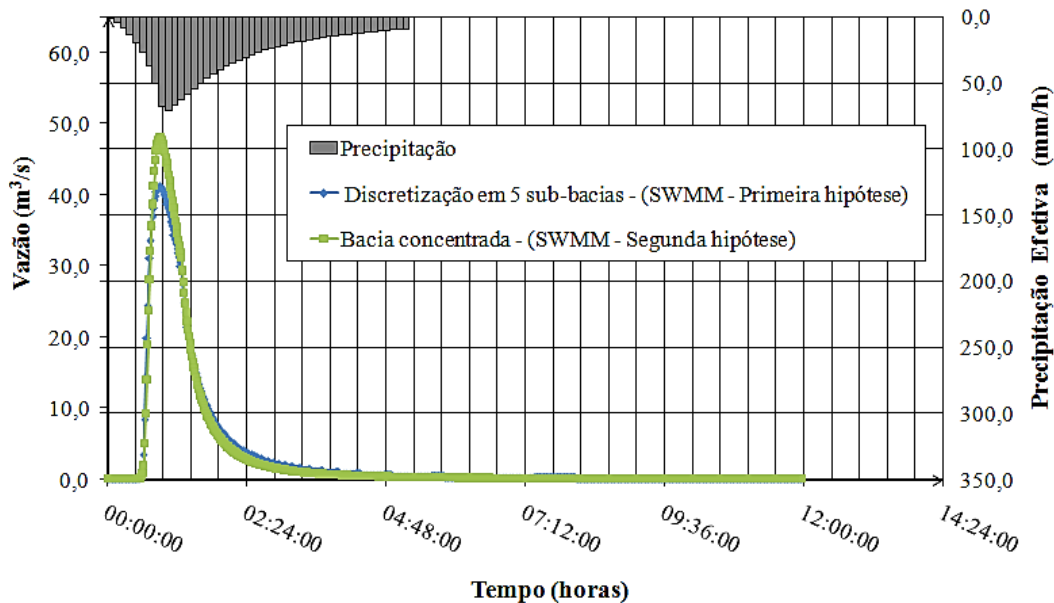


Figura 5: Resultados das simulações de escoamento superficial a partir do modelo SWMM.

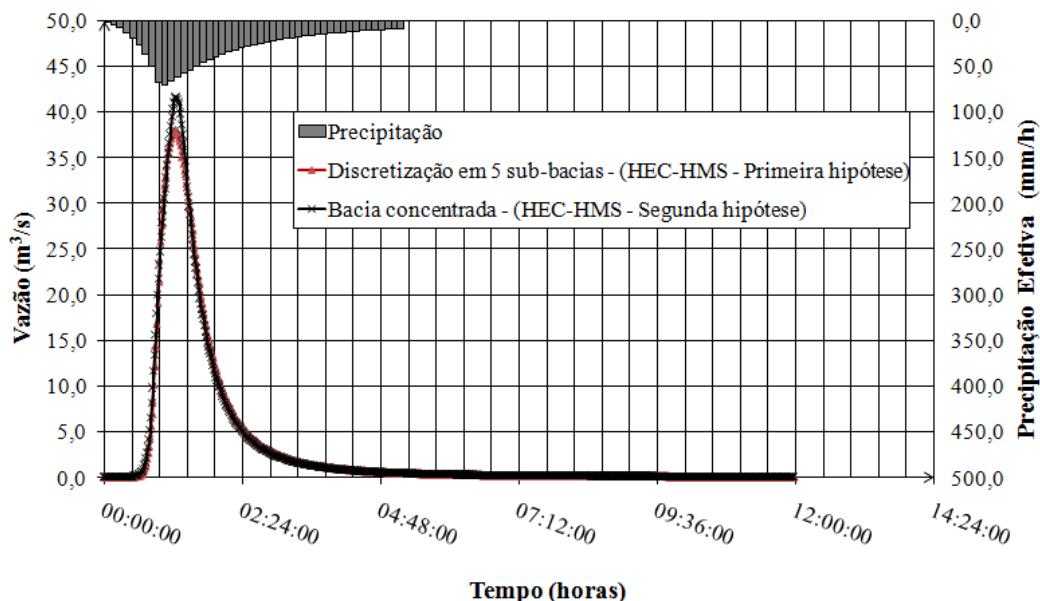


Figura 6: Resultados das simulações de escoamento superficial a partir do modelo HEC-HMS.

A vazão simulada pelo SWMM para a primeira configuração foi 7,45% maior que a vazão simulada pelo HEC-HMS. Para a segunda hipótese a vazão de pico sofreu variação de 13,31%, sendo maior no SWMM. Os tempos de ocorrência dos picos variaram consideravelmente, com alterações de 20%, comparando as respostas dos modelos para as duas configurações.

Apesar dos dois modelos utilizarem o mesmo método para obtenção do hidrograma (onda cinemática), cada modelo analisa as influências dos parâmetros na modelação do escoamento de forma diferente, visto que o modelo HEC-HMS requer uma quantidade maior de parâmetros de entrada para simulação, comparado ao modelo SWMM, implicando em uma variação nos valores de vazão e tempo de pico para as duas configurações modeladas, uma vez que o total precipitado sobre as áreas foi o mesmo, 21,09 mm. Quanto ao volume escoado, para as duas configurações, os hidrogramas apresentaram variações inferiores a 1%, comparando os resultados dos dois modelos.

Nota-se, também, que as perdas computadas pelo HEC-HMS foram superiores, influenciando diretamente na vazão máxima e consequentemente no tempo de pico, vale destacar que cerca de 56% do volume escoado no hidrograma modelado pelo HEC-HMS ocorreu antes da vazão de pico, o que explica o fato dos valores de vazão máxima e volume escoado sofrerem variações com relação aos resultados apresentados pelo

outro modelo analisado. No SWMM o volume escoado cresce à medida que aumenta a intensidade da chuva, sendo que o pico da vazão geralmente coincide com a intensidade máxima de precipitação.

Outro fator importante é a formulação espacial adotada por cada modelo para representação da bacia. Enquanto, no HEC-HMS cada bacia e sub-bacia hidrológica são representadas por dois planos inclinados, compondo uma disposição em “V” simulando as duas encostas que compõem o vale, com junções ligando e recebendo contribuições das sub-bacias e trechos simulando os canais através dos quais a água esco. No SWMM a bacia e sub-bacias são representadas por planos com nós ligando e recebendo contribuições das sub-bacias, e condutos simulando os canais de propagação da água. A forma de representação espacial da bacia e sub-bacias considerada pelo modelo HEC-HMS, lhe garante melhor aplicabilidade na modelação da macro drenagem de bacias rurais, como a bacia estudada, já a representação adotada pelo SWMM é mais adequada para a modelação da micro drenagem urbana. É importante salientar, que a forma de representação adotada por cada modelo pode influenciar os valores das funções objetivos.

Na Figura 7 é possível ter uma melhor visualização do conjunto de hidrogramas obtidos pela modelações no SWMM e HEC-HMS.

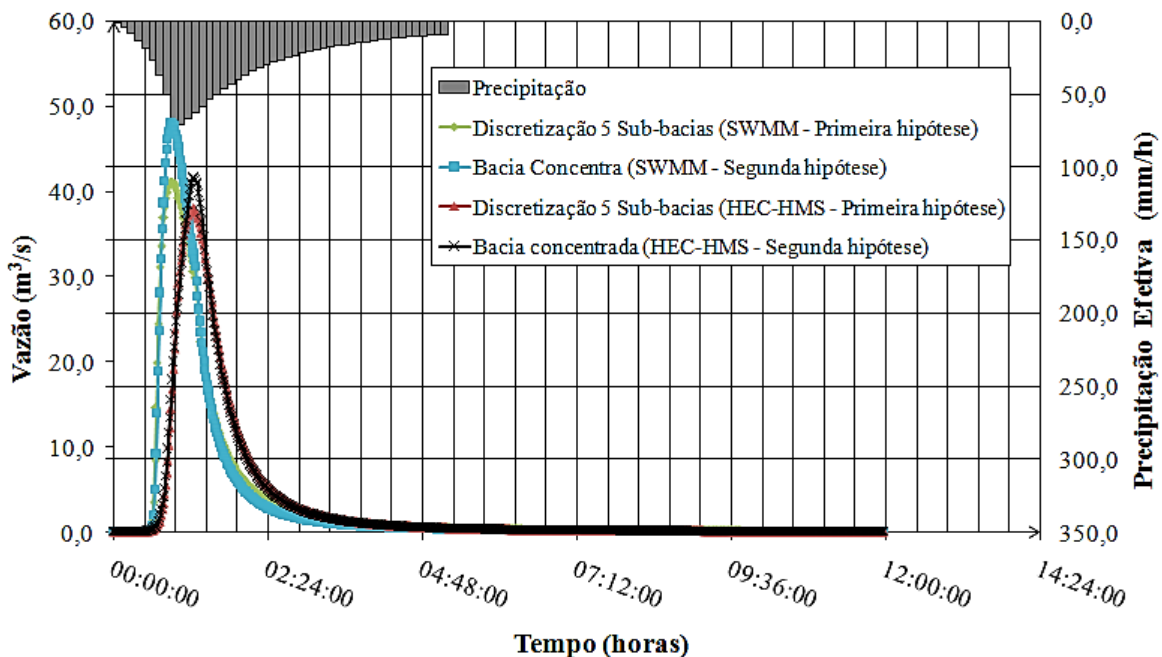


Figura 7: Conjunto de hidrogramas obtidos pela modelação no SWMM e HEC-HMS.

Observa-se que os hidrogramas para bacias discretizadas apresentam um melhor ajuste dos resultados, principalmente para os valores de vazão de pico, em comparação com a bacia concentrada. Em relação ao volume escoado para a bacia concentrada modelado pelo SWMM, ser inferior ao volume da bacia discretizada, se deve principalmente aos totais de perdas serem maiores. Outro fator importante é a desconsideração da presença do canal, fazendo com que o tempo de translação da água até o exutório ocorre em um tempo menor, diminuindo o tempo de subida do hidrograma.

4. CONCLUSÃO

O trabalho teve por objetivo comparar a modelação do processo de escoamento superficial entre os modelos hidrológicos SWMM e HEC-HMS, a partir de um evento de chuva hipotético, tendo como caso de estudo a bacia hidrográfica do córrego Samambaia.

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que a forma de representação espacial da bacia e sub-bacias considerada pelo modelo HEC-HMS é mais adequado para a modelação do processo de escoamento superficial em bacias rurais, visto que a quantidade de parâmetros envolvidos na simulação garante um maior detalhamento das características apresentadas por essas áreas. Quanto à representação adotada pelo SWMM, se adéqua mais a modelação do sistema de drenagem de bacias urbanas.

Conclui-se, também, que os hidrogramas para bacias discretizadas apresentam um melhor ajuste dos resultados, comparado aos resultados da bacia concentrada. As hidrógrafas referentes à modelação no SWMM e HEC-HMS refletem bem esta constatação, visto que a simulação da bacia de forma discretizada aproxima-se mais da situação real da bacia hidrográfica.

E por fim, constatou-se que cada modelo analisa as influências dos parâmetros na modelação do escoamento de forma diferente, desta forma, ressalta-se a importância da análise de sensibilidade e calibração dos parâmetros na utilização de um desses modelos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. P.; TELES, M. G. L.; LAGO, W. J. S. **Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009. **Anais...** Natal: INPE, 2009, p. 4631-4638.

BASTOS, G. A. P. **Análise dos parâmetros do modelo SWMM para avaliação do escoamento em duas bacias periurbanas em Santa Maria-Rs**. 2007. 170 f. Dissertação (Mestrado), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

CARVALHO, M. **Calibração de modelos de drenagem urbana utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo**. 2011. 107 f. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2011.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na Avaliação de Diferentes Níveis de Detalhamento da Bacia Hidrográfica Submetida ao Processo de Transformação Chuva-Vazão**. 146 p. 2009. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009.

COSTA, A. R. da; PRADO, L. A. **Espacialização de chuvas intensas para o Estado de Goiás e o sul de Tocantins**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, São Paulo, v.23, n.2, p.268-276, 2003.

COSTA, A. R.; SIQUEIRA, E. Q.; MENEZES FILHO, F. C. M. **Curso Básico de Hidrologia Urbana: nível 3**. Brasília: ReCESA 2007. 130 p.

CUNDERLIK, J. SIMONOVIC, S. P. Calibration, verification, and sensitivity analysis of the HEC-HMS hydrologic model: **Assessment of water resource risk and vulnerability to changing climatic condition**. Project Report IV. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, University of Western Ontario. 2004. Disponível em: <<http://www.eng.uwo.ca/research/iclr/fids/publications/cfcas-climate/reports/Report%20IV.pdf>>. Acessado em: 05 jul. 2012.

ENGMAN, E. T. **Remote sensing applications to hydrology. Future Impact**. Hydrology Sciences Journal, v. 41, n. 4, p. 637-647, 1996.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. **Monitoramento Hidrológico E Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela – RS**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V. 11 n.4, p. 99-108, Out/Dez 2006.

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de seguro para risco hidrológico com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundação**. 2010. 191 f. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2010.

JOHNSON, L. E. **Geographic information systems in water resources engineering**. Ed. Ilustrada. New York: IWA Pub. 2009. 298 p.

METHODS, H. Durrans, R. S. **Stormwater Conveyance Modeling And Design**. 1. ed. 2003. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/76459116/Storm-Water-Conveyance-Modeling-Design>>. Acessado em: 05 jul. 2012.

MILDE, L. C. E.; MORAES J. M.; MORTATTI, J.; FERRAZ, FERNANDO F. I. B.; GROPPPO, J. **Modelo espaço-temporal HEC-HMS: avaliação na bacia de drenagem de Analândia.** Revista de Ciência & Tecnologia, v. 10, n. 19, p. 61-69, 2002

MIRANDA, E. E.; (Coord.). **Brasil em Relevo.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 jun. 2012

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. **Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications.** Hydrological Processes, v. 5, p. 3-30, 1991.

MOREIRA, I. A. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros.** 2005. 96 f. Dissertação (Mestre), Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005.

ROSSMAN, L. A., **Storm Water Management Model. Version 5.0.** National Risk Management Research Laboratory, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. 2010.

SILVA, K. A. **Análise da eficiência de métodos de controle de enchentes na atenuação de picos de cheias utilizando o modelo computacional SWMM.** 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2007.

SIQUEIRA, E.Q. **Complexity and Uncertainty in Hydrological Modeling for Urban Areas of Varying Database Quality.** 2003. 117f. Tese (Doutorado), University of Guelph, Canada. 2003.

SMITH, J. A. *Precipitation.* In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of Hydrology.** 1. ed. New York: McGraw-Hill. Cap. 3, p. 3.1-3.47, 1992.

USACE. **Basin-level digital elevation models availability and applications - The Red River of the North basin case study.** IWR Report 04-R-1. Disponível em: <<http://www.iwr.usace.army.mil/docs/iwrreports/04-R-1.pdf>>. Acessado em: 26 maio 2012.

VISSMAN, W.; LEWIS, L. **Introduction to Hydrology.** 4. ed. New York: HarperCollins College Publisher. 1996. 737 p.