

IX-074 – AVALIAÇÃO DO EFEITO DA DISCRETIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS EM SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS

Maria Eduarda Silva Moreira⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.

Izabelly Aguiar Palmeira Bulhões⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.

Alexsandrey Ceccatto⁽³⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Paulo Tarso Sanches de Oliveira⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS. Doutor em Ciências – Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – (EESC-USP). Professor da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Jhonatan Barbosa da Silva⁽⁵⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS. Doutor em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.

Endereço⁽¹⁾: Rua G, 22, Quadra 12, Cohab Cristo Rei, Várzea Grande- MT - CEP: 78135-730 - Brasil - Tel: (65) 99974-8795 - e-mail: enge.eduarda@gmail.com

RESUMO

As medidas de controle de enchentes se baseiam-se de maneira geral no equilíbrio entre o custo das medidas mitigadoras e a redução dos prejuízos causados pelas enchentes. Entre as soluções técnicas para o controle de enchentes, existem os métodos estruturais, que incluem reservatórios ou bacias de retenção, retificação e canalização de rios, construção de diques e polders e, as soluções não estruturais como o zoneamento urbano, a convivência com cheias, sistema de alerta, construções mais apropriadas e sistemas de seguro enchente. O objetivo deste trabalho foi aplicar uma metodologia para avaliação do efeito da discretização de bacias hidrográficas na simulação de bacia de retenção de águas pluviais, simulando diferentes intensidades pluviométricas e percentuais de impermeabilização de uma bacia hidrográfica urbana. A bacia em questão apresentou uma vazão máxima na ordem de 23,4 m³/s com um tempo de pico de 1:16 hh:min. Conclui-se que o número de divisões da área estudada altera muito pouco o hidrograma de saída simulado, permitindo um nível de detalhamento menor do estudo, poupando tempo de trabalho, processamento, agilizando os resultados das simulações com mesmo nível de confiança nas simulações.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia de retenção, modelagem hidráulico-hidrológica, impermeabilização, discretização.

INTRODUÇÃO

A sociedade cada vez mais vem sofrendo com a problemática de enchentes, que são fenômenos naturais, porém agravados pelas práticas humanas nos espaços urbanizados. Com o desenvolvimento desses aglomerados aumentaram também os problemas ambientais devido à poluição e à alteração dos processos hidrológicos, advindos dessas transformações antrópicas (BAPTISTA, 2005).

Isto acaba trazendo grandes transtornos e prejuízos, sendo um grande entrave no desenvolvimento contínuo das cidades. Com o aumento da urbanização, as cheias têm provocado perdas econômicas significativas, além de doenças e epidemias, em muitos casos resultando na perda de vidas humanas.

Deste modo o problema das cheias, principalmente urbanas, tem levado inúmeros pesquisadores a buscar uma solução efetiva para o seu controle. O controle de cheias é entendido como o conjunto de medidas que visa

reduzir os seus impactos ou a neutralização das consequências da interferência antrópica que tende em geral a agravar as cheias (VILAS, 2013).

O crescimento urbano vem acompanhado do aumento da impermeabilização do solo. A impermeabilização da bacia hidrográfica urbana faz diminuir a capacidade de infiltração desse solo e, consequentemente, aumenta-se o volume de água que escoar sobre a superfície e chega até os rios e canais de drenagem durante os eventos chuvosos. Dessa forma, o maior volume de escoamento superficial direto ocasiona maiores vazões ou picos de enchentes.

Dos desastres naturais relacionados ao clima entre 1998 a 2017, a ocorrência de inundações equivale a 43% do observado, se enquadrando assim no tipo mais frequente desses fenômenos. Para exemplificar a magnitude desses eventos, apenas em 2017 mais de 55 milhões de pessoas ao redor do mundo foram afetadas por inundações, gerando perdas econômicas de 20,3 bilhões de dólares (EM-DAT, 2018).

Para tentar minimizar os danos e fatalidades causadas por inundações, ao longo dos anos foram desenvolvidos e aprimorados softwares baseados em modelos matemáticos, capazes de antecipar a possível ocorrência de enchentes ao simular diferentes cenários e condições, viabilizando o alerta e socorro as pessoas situadas em locais de risco (JAIN et al., 2018).

Durante a modelagem matemática, é necessário inserimos os dados que caracterizam a bacia, tais como a área da bacia, a área permeável, o comprimento do talvegue, a declividade, a intensidade da precipitação, entre outros fatores para aproximarmos o modelo criado o mais próximo da realidade possível e gerar resultados mais precisos (SMART, 2017).

A modelagem matemática implica na determinação e escolha de parâmetros e variáveis, que irão nortear todos os resultados pretendidos do estudo hidrológico. A discretização da bacia hidrográfica ocupa papel determinante nos resultados dos estudos, podendo conduzir a conclusões errôneas ou corretas das simulações.

Dentre os diversos softwares utilizados na avaliação do comportamento de bacias, destaca-se o SSD ABC6 – Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em bacias complexas. O ABC6 caracteriza-se por ser um software brasileiro, gratuito e apresentar diversos modelos de determinação da precipitação efetiva e da geração de hidrogramas sintéticos (GALBETTI, 2015).

Assim, esse estudo procura avaliar se a divisão e a discretização de uma bacia hidrográfica, influência nos resultados de simulação de hidrogramas de saída, de uma bacia de detenção, inserida em área uma bacia hidrográfica urbana.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Prosa, situada na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul (Figura 1). O município possui uma população estimada de 885.711 habitantes e área urbana de 35.904 hectares, apresentando clima com estação chuvosa durante o verão e seca no inverno, sendo a precipitação média anual de 1.745 mm. A temperatura média no mês mais quente é de 25 °C e no mês mais frio de 20 °C (IBGE, 2018; PLANURB, 2016).

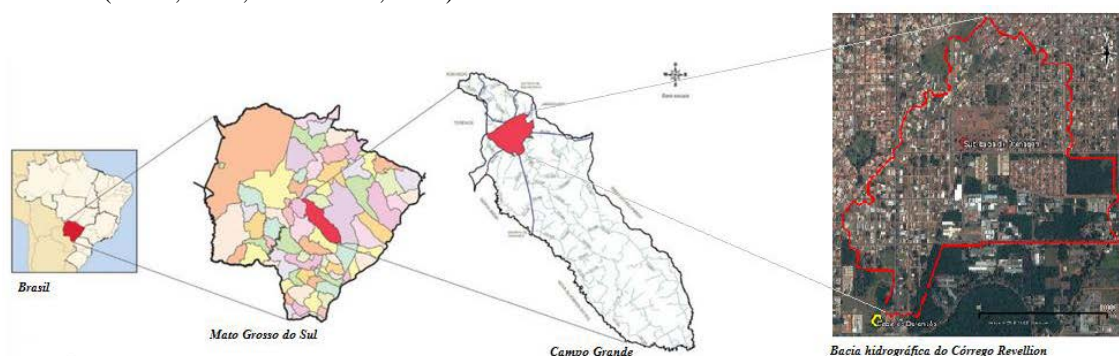


Figura 1: Localização da sub-bacia estudada (adaptado de PLANURB, 2016).

A região analisada possui 1,89 km² de área, é predominantemente residencial e atualmente está em um forte processo de urbanização, resultando na elevação da sua área impermeável. A bacia hidrográfica do Prosa é uma das regiões de maior valor comercial no setor imobiliário de Campo Grande e no Plano Diretor de Drenagem Urbana (2009) foi diagnosticada com múltiplos pontos de inundação e alagamentos.

Primeiramente, foi delimitado o divisor de águas da bacia de drenagem a partir de plantas geradas no software AutoCAD e as características físicas da sub-bacia estudada, exportando estes dados para o software QGis e sobrepondo-os às ortofotos de julho de 2013, com resolução espacial de 10 a 15 cm (Figura 2).

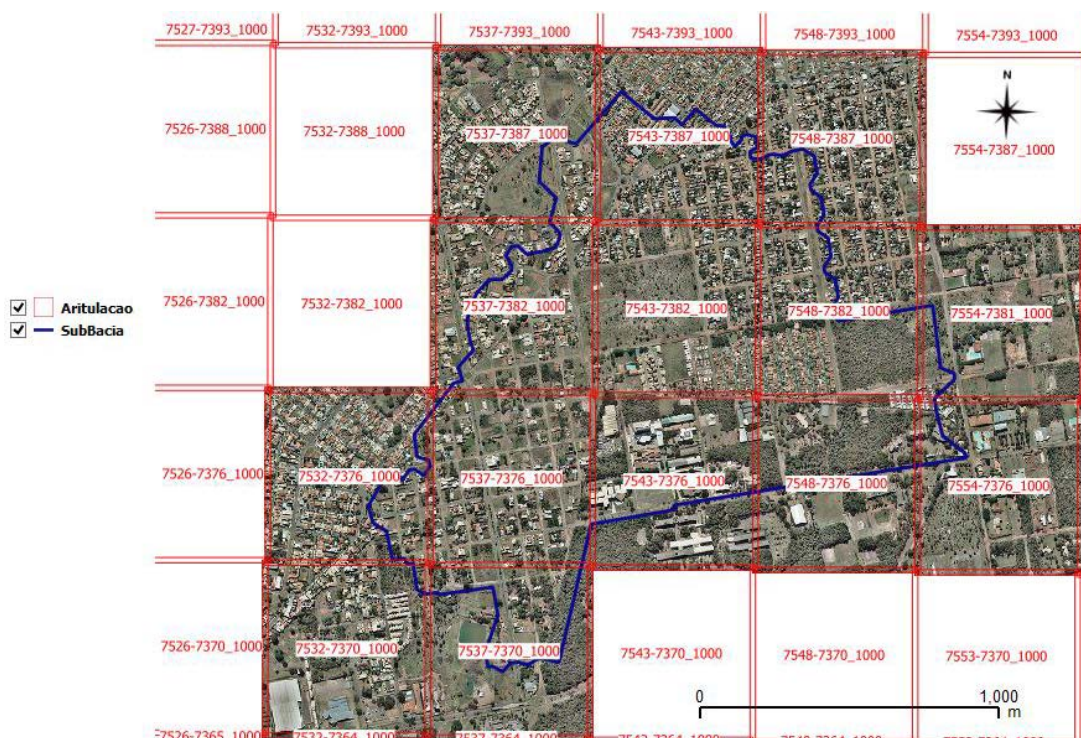


Figura 2: Composição das ortofotos com a delimitação da sub-bacia de estudo.

Foram simulados 6 cenários com diferentes níveis de discretização, sendo o primeiro dividido em 54 subdivisões delimitadas no software QGis, correspondentes a cada trecho retilíneo ou aproximadamente retilíneo das galerias de drenagem pluvial. Os demais cenários foram compostos fazendo a união das áreas das 54 subdivisões, originando as demais situações com 29, 15, 3 e 1 subdivisão, esquematicamente mostrado na Figura 3.

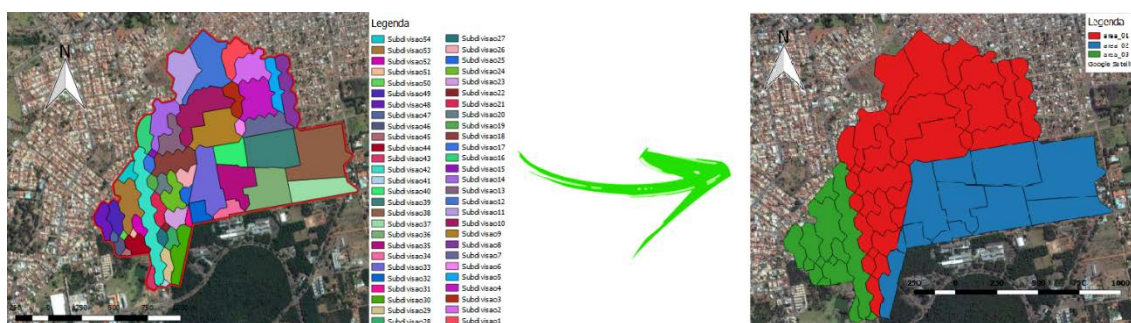


Figura 3: Sub-bacia discretizada esquematicamente.

Em seguida, foram fundidos os dados de área permeável, gerados manualmente no software QGis (Figura 4), originando a área permeável (AP) e impermeável (AI) de cada subdivisão, e a área impermeável diretamente conectada (AIDC) foi adotada igual ao valor da AI para melhores efeitos de comparação dos cenários testados.



Figura 4: Delimitação da área permeável da sub-bacia de estudo no software QGIS.

O próximo passo foi a modelagem do sistema utilizando o software ABC6, um modelo matemático agregado, desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP). O ABC6 é muito utilizado para simular eventos de chuva em bacias hidrográficas urbanas e pequenas bacias rurais. É um modelo sintético, onde seus parâmetros são ajustados de acordo com as características físicas da bacia. As simulações feitas por ele resultam em transformações de volume ou vazões das parcelas do ciclo hidrológico.

O intervalo de discretização dos cálculos (Δt) no programa foi de 1 minuto. O modelo ABC6 disponibiliza várias equações para o cálculo do tempo de concentração (T), que é o tempo de percurso da água do ponto mais distante da bacia até uma seção de interesse. A equação escolhida foi a de Onda Cinemática, solução teórica das equações que regem o escoamento turbulento em um plano, e que costuma funcionar bem para pequenas bacias hidrográficas.

Como o canal é capaz de amortecer parte do escoamento superficial, foi adotado o coeficiente de amortecimento do canal (X) da Equação da Onda Cinemática igual a 0,25, que consiste no valor médio entre 0, quando o amortecimento é máximo, e 0,5, quando não ocorre amortecimento. Já os valores de tempo de trânsito da onda de cheia no canal (K) e velocidade (V), foram calculados automaticamente pelo programa ABC6, através da equação de Manning.

A intensidade da chuva de projeto (I) foi definida por meio da Equação Intensidade-Duração-Frequência (Curva IDF) para o município de Campo Grande, disponível no software ABC6. Seguindo as recomendações do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Campo Grande, o período de retorno (Tr) foi adotado igual a 10 anos e a duração da chuva igual a 60 minutos. A equação da Curva IDF é descrita a seguir:

$$I = \frac{1973,15 * Tr^{0,178}}{(t + 22)^{0,958}}$$

Onde:

I : intensidade pluviométrica, em mm/h;

Tr : tempo de retorno, em anos; e

t : tempo de concentração, em minutos.

As estimativas de infiltração e de escoamento superficial direto foram determinadas pelo método do CN-SCS, desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, devido a sua simplicidade de aplicação. Assim, foram definidos os números tabelados de Curve Number (CN) primeiramente para cada uma das 54 subdivisões, enquanto que para os demais cenários com menor discretização, o CN era obtido pela média ponderada das áreas das subdivisões mescladas.

O escoamento superficial direto da bacia atualmente se dá pela rede pública de microdrenagem através de galerias pluviais, que o encaminha para o leito do Córrego Réveillon, um dos afluentes do Córrego Prosa. Desta forma, o coeficiente de rugosidade de retardo (c) e o coeficiente da rugosidade de Manning (n) foram adotados de acordo com os valores usuais indicados na literatura (PORTO, 2006) para concreto liso, sendo iguais a 0,012 e 0,015, respectivamente.

O comprimento do talvegue (m) foi definido, pelo software AutoCAD, como sendo o comprimento da galeria de drenagem pluvial em cada uma das 54 subdivisões e para os outros cenários, eram observados os caminhos de drenagem das subdivisões unidas, somando os talvegues de cada subdivisão dos caminhos definidos e adotava-se a maior soma. Já a declividade (S) foi fixada igual a 0,5% ou 5 m/km, que é a inclinação mínima para o projeto de galerias de drenagem pluvial, conforme a norma NBR 15645 (ABNT, 2008).

A Tabela 01 apresenta os parâmetros inseridos no software ABC6:

Tabela 1: Descrição dos parâmetros inseridos no software ABC6.

Descrição da Variável	Símbolo	Unidade
Área total	AT	Km ²
Área impermeável	AI	%
Área impermeável diretamente conectada	AIDC	%
Intervalo de discretização	Δt	min
Tempo de concentração	T	h
Coeficiente de amortecimento no canal	X	-
Tempo de trânsito da onda de cheia no canal	K	h
Velocidade no canal	V	m/s
Intensidade da precipitação	I	mm/h
Período de retorno da precipitação	Tr	anos
Número da curva de área permeável	CN	-
Rugosidade de retardo	c	-
Rugosidade de Manning	n	s.m ^{-1/3}
Comprimento do talvegue	m	m
Declividade	S	m/km

Dessa forma, cada cenário foi modelado no software ABC6 conforme mostrado na Figura 5.

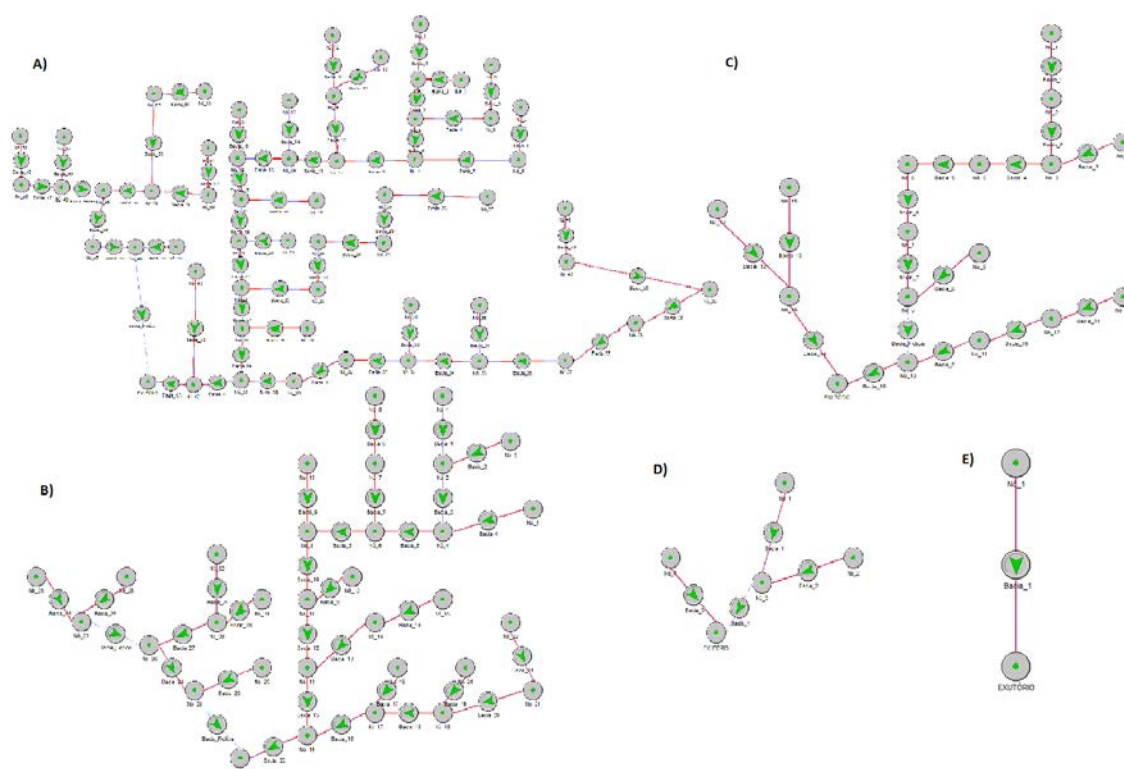


Figura 5: A) 54 divisões; B) 29 divisões; C) 15 divisões; D) 3 divisões e; E) 1 divisão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o software ABC6 calcular os cenários modelados, foram gerados hidrogramas para cada um deles e através do Excel, foi elaborado o gráfico a seguir (Figura 6) com os hidrogramas de todos os cenários.

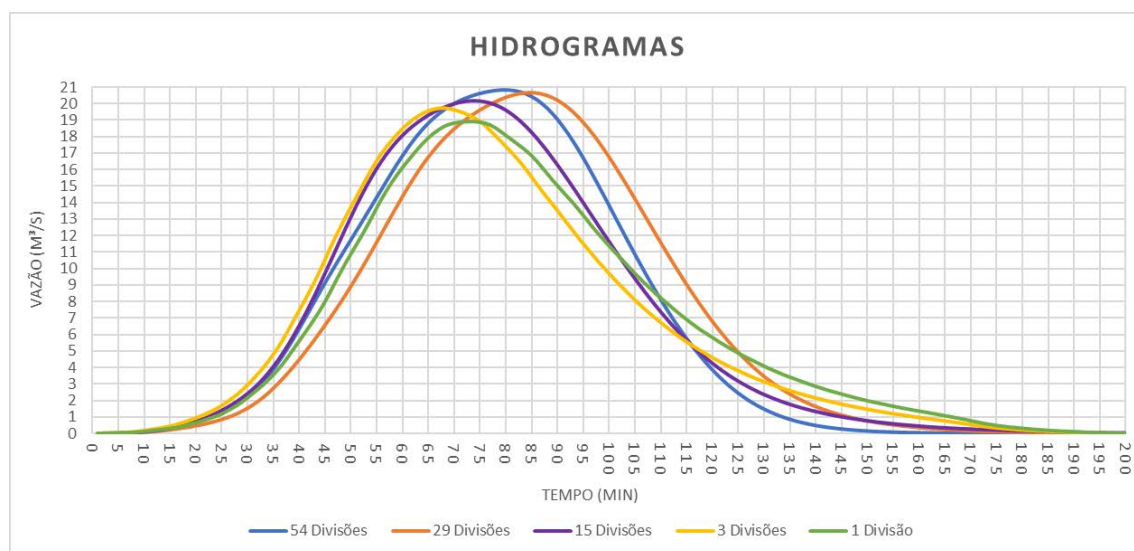


Figura 6: Hidrogramas de vazão para os cenários modelados.

Apenas analisando os hidrogramas gerados, é possível constatar que as curvas apresentam comportamentos semelhantes, sendo os cenários com 54 e 29 divisões os que apresentam maiores picos de escoamento e também demoram mais tempo até chegar ao pico. Já na Tabela 2 a seguir, podemos ver alguns outros pontos importantes, como o volume máximo de escoamento (QMÁX), o tempo de pico (TP) e o tempo de base (TB).

Tabela 2: Dados do hidrograma.

Subdivisões	Q _{MÁX} (m ³ /s)	T _P (min)	T _B (min)
01	18,914	73	200
03	19,709	68	200
15	20,184	74	249
29	20,657	85	302
54	20,811	80	187

É possível notar um aumento contínuo do volume máximo do escoamento (Q_{MÁX}) conforme aumenta o nível de discretização da bacia, mas que tende a ser constante quando o nível de discretização é maior, como podemos verificar no gráfico da vazão máxima em função do número de subdivisões (Figura 7) mostrado abaixo:

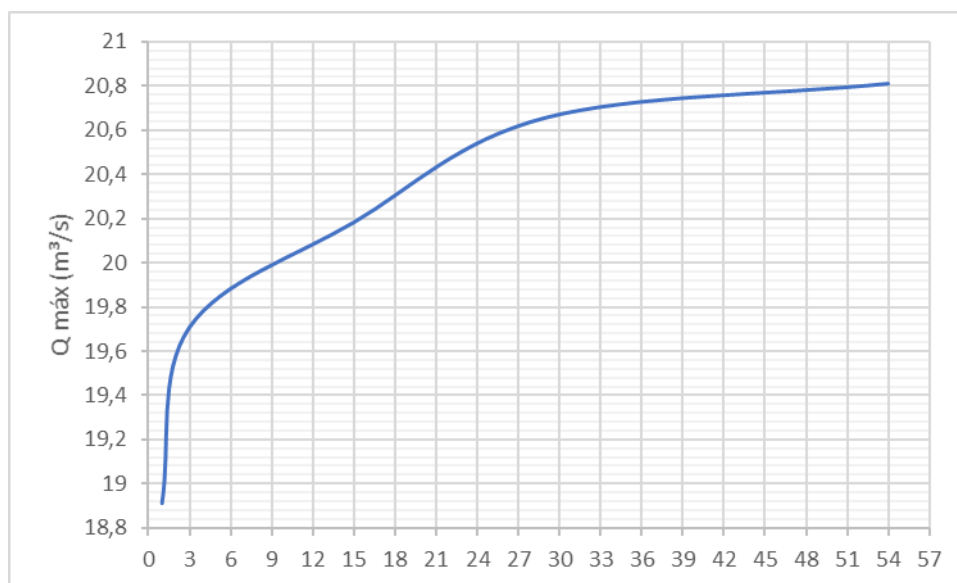


Figura 7: Q_{MÁX} x Subdivisões.

Colocando em números, o Q_{MÁX} do cenário com 54 subdivisões é 10,03% maior que o cenário com 1 subdivisão, já os demais cenários com 3, 15 e 29 subdivisões apresentam aumentos de 5,59%, 3,11% e 0,75%, enquanto que o aumento do nível de discretização para esses cenários foram de 1700%, 260% e 86,2%, respectivamente.

Assim, verifica-se que o aumento percentual do nível de discretização da bacia é muito superior ao do volume máximo de escoamento, donde podemos chegar à conclusão de que em determinado ponto, não se justifica mais aumentarmos o nível de discretização da bacia, já que esse aumento não influenciará significativamente os valores do volume de escoamento máximo Q_{MÁX}.

CONCLUSÕES

A metodologia aplicada neste estudo mostrou-se eficiente para a avaliação do nível de discretização da bacia hidrográfica simulada.

A partir de 15 subdivisões não se justifica mais aumentarmos o nível de discretização da bacia, já que esse aumento não influenciará significativamente os valores do volume de escoamento máximo Q_{MÁX}.

Conclui-se que o número de divisões da área estudada altera muito pouco o hidrograma de saída simulado, permitindo um nível de detalhamento menor do estudo, poupando tempo de trabalho, processamento, agilizando os resultados das simulações com mesmo nível de confiança nas simulações.

A bacia em questão apresentou uma vazão máxima na ordem de 23,4 m³/s com um tempo de pico de 1:16 hh:min.

Levando em consideração os cenários de simulação esse estudo indicou uma potencialidade de auxiliar a tomada de decisões em projetos de controle de enchentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRÉS-DOMÉNECH, I.; MONTANARI, A.; MARCO, J. B. **Efficiency of Storm Detention Tanks for Urban Drainage Systems under Climate Variability**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 138, n. 1, p. 36-46. 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15645: 15645 – Execução de obras de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais utilizando-se tubos e aduelas de concreto**. Rio de Janeiro, 2008.
3. CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302p.
4. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. **EM-DAT—The International Disaster Database**. ([available at <http://www.emdat.be/database>], 2018).
5. G. M. Smart (2017): **Improving Flood Hazard Prediction Models**, *International Journal of River Basin Management*, DOI: 10.1080/15715124.2017.1411923
6. GALBETTI, M. V. **Comparação dos modelos hidrológicos presentes no SDD ABC6 aplicados a uma bacia urbana**. 2015. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
7. GRIBBIN, J. E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 533p.
8. IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/campo-grande/panorama>>. Acesso em: 11 fev. 2019.
9. OLIVEIRA, C. M. P.; PORTO, R. L. L.; ROBERTO, A. N.; ZAHED FILHO, K. **ABC6 Um sistema de suporte a decisões para análise de cheias em bacias complexas**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1999, Belo Horizonte, MG. Anais Belo Horizonte: ABRH, 1999. p. 56-65.
10. PLANURB. Instituto Municipal de Planejamento Urbano. **Perfil Socioeconômico 2016 de Campo Grande**. 23. ed. rev. Campo Grande, MS, 2016.
11. PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. São Carlos, SP: EESC USP, 2006.
12. ROLIM, R. S.; TEIXEIRA, K. M. D. **Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis na luta contra a incineração**. In: Seminário Internacional Cidade e Alteridade: Convivência Multicultural e Justiça Urbana, 2012, Belo Horizonte. Anais (no prelo). Belo Horizonte: Faculdade de Direito da Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
13. Sharad Kumar Jain, Pankaj Mani, Sanjay K. Jain, Pavithra Prakash, Vijay P. Singh, Desiree Tullos, Sanjay Kumar, S. P. Agarwal & A. P. Dimri (2018): **A Brief review of flood forecasting techniques and their applications**, *International Journal of River Basin Management*, DOI: 10.1080/15715124.2017.1411920