



ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS DE TRANSFORMAÇÃO CHUVA-VAZÃO PARA PEQUENAS BACIAS URBANAS

Luiz CARVALHO¹, José SCARATI²

1. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, luiz.carvalho.11@usp.br

2. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, scarati@usp.br

RESUMO

A estimativa das características geomorfológicas da bacia e a escolha do método de transformação de chuva em vazão na seção de controle da área de análise, condicionam o dimensionamento de redes de microdrenagem e de pequenas estruturas de retenção aplicadas ao contexto da drenagem urbana. Diante da difusão do conceito de controle de cheias pela retenção distribuída em pequenas áreas, é de fundamental importância a compreensão das limitações e das peculiaridades dos métodos mais utilizados no meio técnico para a simulação hidrológica de pequenas bacias urbanas. Este trabalho, então, propõe uma análise comparativa do desempenho de três métodos de transformação chuva-vazão (Método do Hidrograma Unitário Racional, Método do NRCS e o Método de Clark) aplicados a uma pequena bacia localizada dentro dos limites do campus da Universidade de São Paulo, Brasil, analisando-se não somente a vazão de pico, mas também o volume e a forma do hidrograma, características de fundamental relevância para o dimensionamento de estruturas de retenção conectadas a sistemas de microdrenagem. Para tanto, foram realizadas medições do nível d'água na seção de controle do canal de drenagem interno ao campus por meio de um sensor ultrassom de precisão de 1 minuto, desenvolvido no próprio laboratório da universidade, durante a época chuvosa do mês de março de 2019. Foram registrados nove eventos, dos quais cinco foram selecionados para a calibração dos modelos analisados. Para a análise foram estabelecidas três funções objetivas diferentes para cada modelo, considerando como parâmetro de otimização a vazão de pico, o volume total e a forma do hidrograma, expressa pelas ordenadas de vazão e o tempo de pico. As funções objetivo foram construídas de forma a minimizar o erro percentual da vazão máxima, o erro médio absoluto das ordenadas de vazão e o erro percentual do volume total, ajustando-se os parâmetros relativos às perdas por infiltração e efeitos de retenção superficial concentradas no parâmetro C, no caso do método racional, e CN, no caso do método do NRCS, usado também para Clark.

Palavras-Chave: hidrologia; drenagem; hidrograma unitário; pequenas bacias;

1. INTRODUÇÃO

Uma gama de soluções técnicas que realizam a retenção de um determinado volume de água de chuva em pequenos e médios lotes para reduzir o pico de runoff neles gerado foi e ainda está sendo desenvolvida e aprimorada recentemente, principalmente em países onde o conceito de drenagem sustentável está mais difundido, tanto no meio acadêmico quanto no meio técnico. São as chamadas LID's – Low Impact Development ou SUDS – Sustainable Urban Drainage Systems, que incluem dentre outras técnicas, os reservatórios de retenção de pequeno porte para controle do escoamento na fonte (Mascarenhas et al., 2005). Todavia, essas soluções encontram ainda certa resistência no cenário brasileiro em razão de alguns fatores, dentre eles, a carência de referências técnicas nacionais que balizem o seu dimensionamento adequado, assim como a carência de recursos para sua implantação.

A utilização, em pequenas bacias, de modelos hidrológicos originalmente desenvolvidos para contextos mais amplos ou genéricos pode frequentemente resultar picos de vazão e/ou volumes de armazenamento superestimados, levando a custos de implantação maiores que os necessários, o que torna a solução economicamente pouco interessante. (Mascarenhas et al., 2005). Nesse contexto, o aprimoramento dos modelos hidrológicos que sejam mais adequados para o caso de pequenas bacias visa contribuir para o desenvolvimento de soluções menos sujeitas a distorções, as quais frequentemente aumentam o custo de implantação e dificultam a difusão do conceito no país.



14.º SILUSBA

A trajetória deste ramo da hidrologia registrou o nascimento de uma variedade desses modelos, dentre os quais destacam-se o Método do NRCS – Natural Resources Conservation Service (NRCS, 1957) e o Método de Clark (Clark, 1945). Ainda, existem aqueles derivados da teoria do Método Racional, dentre os quais destaca-se o Método do Hidrograma Unitário Racional (Singh e Cruise, 1992), concebido especificamente para pequenas bacias. Esses modelos são utilizados pela maioria dos softwares de modelagem hidrológica adotados na prática da engenharia de projetos em diferentes contextos, inclusive para o dimensionamento de pequenas estruturas de retenção. Vale destacar, porém, que a maioria desses modelos foram concebidos por meio de análises de grupos específicos de bacias, transmitindo as peculiaridades desses grupos para as características dos hidrogramas gerados pelos respectivos métodos. Dessa forma, a aplicação generalizada desses métodos, frequentemente implica distorções, que ao longo do tempo motivaram o desenvolvimento de algumas adaptações a esses modelos de forma a incluir aspectos específicos regionais nas características dos hidrogramas gerados.

Esses três modelos aparecem frequentemente na literatura devido sua ampla utilização no meio técnico (Innocente e Chaffé, 2017) sendo que foram e continuam sendo avaliados comparativamente com relação ao seu desempenho em diferentes estudos de caso. Exemplos recentes indicam conclusões variadas pois frequentemente dependem do contexto em que estão sendo feitas as avaliações. Alguns estudos recentemente publicados apontam melhores resultados do Método de Clark em determinados casos quando comparado a outros métodos, como o Método Racional (Seibt et al., 2012) e o Método do NRCS (Wilkerson e Merwade, 2010). Da mesma forma, existem estudos que apontam um melhor desempenho do método Racional em relação ao Método do NRCS em pequenas bacias (Tassi, 2015), e outros apontam um melhor desempenho do Método do NRCS em relação aos demais. Ainda assim, são poucos os trabalhos que tenham avaliado comparativamente o desempenho desses três modelos especificamente para pequenas bacias urbanas, menores que 2 km², ordem de grandeza comum para áreas drenadas por pequenas estruturas de retenção.

Este trabalho, então, foca na análise comparativa desses três métodos de transformação chuva-vazão aplicados a um mesmo contexto, uma bacia muito pequena drenada por um pequeno canal de drenagem aberto. Será analisada a aderência dos hidrogramas calculados aos hidrogramas observados, derivados de registros minuto a minuto da variação do nível d'água na seção de controle do canal que recebe a drenagem de grande parte da área do campus da USP. Serão avaliadas às vazões de pico, a forma do hidrograma e os volumes de escoamento de cada método sob as mesmas condições de contorno.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise comparativa do desempenho dos três métodos de transformação chuva-vazão selecionados será realizada por meio de um estudo de caso em uma pequena bacia urbana real, localizada no município de São Paulo, Brasil, e seu comportamento observado na ocorrência de cinco eventos pluviométricos de diferentes intensidades, durações e distribuições temporais, ocorridos durante o mês de março de 2019. Cada correspondência a um pluviograma, coletado do banco de dados do Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo – SAISP, relativo ao pluviógrafo da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH, localizado dentro do campus da USP, a poucos metros da seção de controle do canal de drenagem monitorado neste estudo.

Cada um dos três métodos receberá como dado de entrada a chuva total correspondente ao evento e produzirá um hidrograma, considerando as perdas iniciais por infiltração e retenção superficial em seus respectivos métodos de geração de chuva excedente e transformação do excesso em vazão. O método do hidrograma unitário racional modificado usará o parâmetro C para a quantificação desse efeito, em quanto o método do NRCS utilizará o parâmetro CN, atrelado ao cálculo de perdas desenvolvido pelo NRCS. O método de Clark também utilizará a metodologia do NRCS para o cálculo da chuva excedente, também por meio do parâmetro CN.

O tempo de concentração da bacia, grandeza de elevado significado físico e fundamental importância na caracterização do hidrograma, será estimado por meio de fórmulas semi-empíricas, que correlacionam as características geomorfológicas da bacia ao desenvolvimento do escoamento. O método do Hidrograma Unitário Modificado utilizará a fórmula proposta pelo FAA – Federal Aviation Agency, que atrela o tempo de concentração ao parâmetro C da bacia. Os métodos do NRCS e de Clark utilizarão a fórmula proposta pelo NRCS, a qual relaciona o tempo de concentração ao tempo de retardo da bacia, também atrelando a sensibilidade desse parâmetro às características geomorfológicas da bacia, porém por meio do parâmetro CN.

Os hidrogramas gerados por cada modelo para cada evento serão comparados com os hidrogramas reais registrados, tomando-se como referência a vazão máxima, o erro médio absoluto das ordenadas de vazão e o

volume total do hidrograma. Cada hidrograma observado foi derivado dos registros de nível d'água a cada minuto durante a ocorrência do evento de precipitação, por meio da curva-chave do canal de drenagem desenvolvida para a seção de controle analisada neste estudo. A intenção da elevada precisão temporal dos registros é observar com maior detalhes a sensibilidade do canal à passagem da onda de cheia gerada por precipitações de diferentes durações, distribuições temporais e intensidades (inclusive precipitações de pequeno volume) e a capacidade dos modelos de simular essa sensibilidade.

2.1. Caracterização da área de estudo

A bacia analisada neste estudo encontra-se localizada internamente ao campus da Universidade de São Paulo e possui uma área de 1,089 km², a qual foi determinada após a análise cruzada da topografia, por meio do modelo digital de terreno da área, com as informações do levantamento cadastral das redes de drenagem do campus, ambos fornecidos pela administração central da universidade. A figura abaixo ilustra a área de estudo e a seção de controle do canal de drenagem onde foram realizadas as medições da variação do nível d'água.



Figure 1 – Imagem aérea e delimitação da bacia de estudo

2.2. Monitoramento dos eventos

Para viabilizar o registro da variação do nível de água na ocorrência dos eventos pluviométricos foi desenvolvido um sensor ultrassom com precisão de 0,25 centímetros de medição e frequência de aquisição de 1 minuto, de modo a registrar a sensibilidade do canal na passagem das ondas de cheias de precipitações de diferentes características temporais e testar a aderência dos modelos a essa sensibilidade. O sensor foi instalado na face inferior do tabuleiro de uma ponte de pedestres sobre o canal de drenagem da área de estudo. Exatamente abaixo dessa ponte é a seção de estudo para a qual foi desenvolvida a curva chave do canal. O sensor utiliza tecnologia de um processador arduino e um cartão de memória micro SD que aquisita os dados de altura d'água de minuto a minuto e os registra no cartão, que é posteriormente colhido e descarregado em computador pessoal.

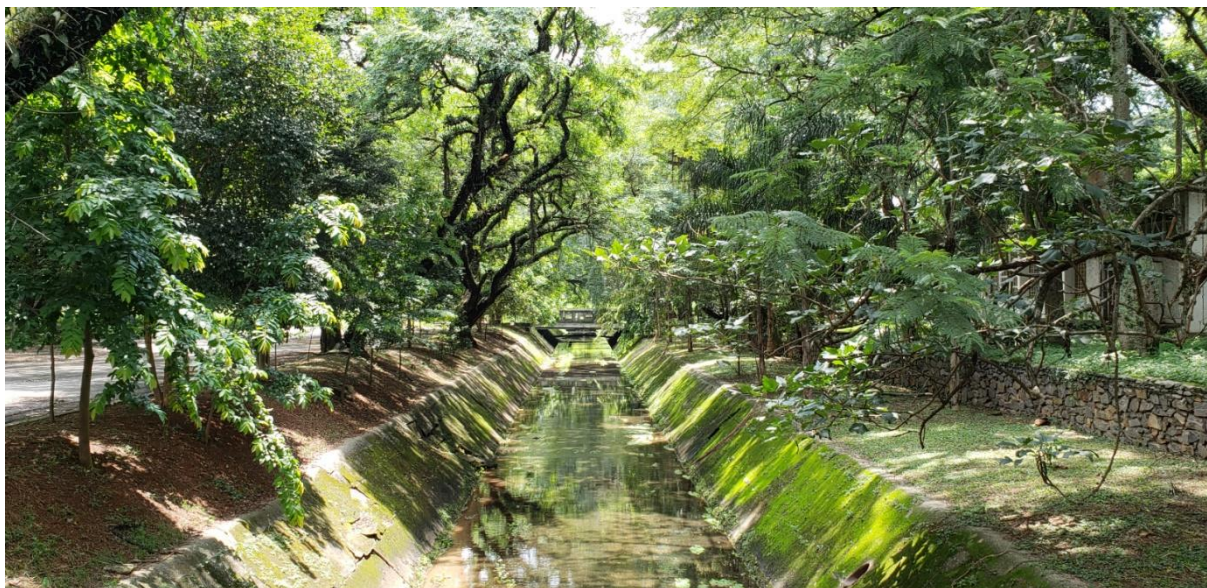


Figure 2 - Canal de drenagem na seção de monitoramento do nível d'água

3. CONCLUSÕES

As verificações indicam, a princípio, que o método do hidrograma unitário racional modificado é o método que produz a pior aderência aos valores observados quando a calibração é realizada pela vazão máxima, embora apresente um formato similar ao formato dos hidrogramas observados e apresente satisfatória performance quando calibrado pelo volume total. Já os hidrogramas derivados do método do NRCS e de Clark apresentam algumas simulações com grande aderência aos hidrogramas observados, porém em uma média geral apresentam resultados aquém quando comparados ao método do hidrograma unitário racional calibrado pelos volumes totais. Ainda, em uma análise geral das performances de todos os cenários simulados, os resultados sugerem que a otimização pelo volume total produz hidrogramas de maior aderência aos hidrogramas observados. Maiores detalhes dos gráficos e dados finais serão publicados na versão completa do artigo, proposta por este resumo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLARK, C. O. **Storage and the unit hydrograph: Transactions**. American Society of Civil Engineers, v. vol. 110,, p. p. 1419-1488., 1945.
- INNOCENTE, C.; CHAFFE, P. L. B. **Uma revisão preliminar sobre a aplicação do hidrograma unitário na pesquisa, no ensino e na engenharia**. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,. Florianópolis, 2017.
- GUO, J. C. Y. **Detention Storage Volume for Small Urban Catchments**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 125, n. 6, p. 380-382, 1999.
- MASCARENHAS, F. et al. **On-site stormwater detention as an alternative flood control measure in ultra-urban environments in developing countries**. 2005.
- NRCS. **Use of storm and watershed characteristics in synthetic hydrograph analysis and application**. 1957
- SEIBT, A. C. et al. **Comparação das vazões de projeto pelo método racional e método tempo área para bacias urbanas do município de Goiânia – GO**. 2012, v. 4, n. 2, 2012-09-08 2012. ISSN 2179-0612.
- SEIBT, A. C. et al. **Comparação das vazões de projeto pelo método racional e método tempo área para bacias urbanas do município de Goiânia – GO**. 2012, v. 4, n. 2, 2012-09-08 2012. ISSN 2179-0612.
- TASSI, R. **Comparação de duas metodologias para determinação do volume de retenção em pequenas bacias urbanas: O Caso De Porto Alegre/RS - Brasil**. 2015.
- WILKERSON, J. L.; MERWADE, V. M. **Determination of Unit Hydrograph Parameters for Indiana Watersheds**. Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana. 2010