

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM DUAS BACIAS URBANAS

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF LAND USE AND OCCUPATION IN THE GENERATION OF RUNOFF IN TWO URBAN BASINS

Jhonathan Yoshiaki Namba¹

Bruna Forestieri Bolonhez²

Ed Pinheiro Lima²

Paulo Fernando Soares²

Resumo: À medida em que os problemas devido à urbanização se tornaram mais complexos, diversos estudos também surgiram para compreender como solucioná-los. Atualmente, compreende-se que uma urbanização debaixo impacto pode gerar uma situação mais favorável para a ocupação humana. Com esta situação e buscando corroborar com estudos envolvendo problemas de inundação e uso e ocupação do solo, este trabalho analisa as sub-bacias urbanas do Córrego Mandacaru e do Ribeirão Maringá. Estas sub-bacias apresentam ocupações distintas e, portanto, permitem uma análise comparativa. As características das bacias foram determinadas por meio de imagens de satélite e manipuladas em um software de Sistema de Informação Geográfica. Dessa forma, foi feita uma classificação semiautomática do uso do solo que em conjunto com o tipo de solo forneceu a característica hidrológica da bacia. Por meio dos dados obtidos, criou-se uma modelagem hidrológica com cenários de chuva futura para simulação. Os resultados apresentaram que a sub-bacia do Córrego Mandacaru pode apresentar, em eventos de alta frequência, uma vazão por área maior que 26 % ao ser comparada com a sub-bacia do Ribeirão Maringá. Além disso, constatou-se que a menor ocupação urbana pode atenuar o aumento das vazões dos rios e, por conseguinte, diminuir os riscos de inundação.

Palavras-chaves: Drenagem Urbana; Modelagem hidrológica; Desenvolvimento de Baixo Impacto

Abstract: As problems due to urbanization became more complex, several studies have emerged to understand how to solve them. It is understood that low-impact urbanization can generate a more favorable situation for human occupation. With this situation and seeking to corroborate with studies involving problems of flooding and land use and occupation, this work analyzes the urban sub-basins of Mandacaru and Maringá streams. These sub-basins have distinct occupations and, therefore, allow a comparative analysis. The characteristics of the basins were determined by means of satellite images and manipulated in a Geographic Information System software. Thus, a semi-automatic classification of soil use was made, which together with the soil type provided the hydrological characteristic of the basin. Through the data obtained, a hydrological modeling was created with future rain scenarios for simulation. The results showed that the Mandacaru Stream sub-basin may present, in high frequency events, a flow rate per area greater than 26% when compared with the Sub-basin of the Ribeirão Maringá. In addition, it was found that lower urban occupation can mitigate the increase in river flows and, consequently, reduce flood risks.

Keywords: Urban drainage; Hydrologic modeling; Low Impact Development.

1 Introdução

A frequência e a intensidade das cheias urbanas têm chamado atenção da comunidade

¹Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. email: pg401849@uem.br.

²Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. Email: bfbolonhez2@uem.br, eplima2@uem.br, pfsoares@uem.br.

científica e incentivado com que novas estratégias e procedimentos sejam criados para mitigar esse fenômeno. Quando ocorrem precipitações intensas, as cheias urbanas podem se tornar inundações, ou seja, a cota de água no curso hídrico se eleva acima da calha desse. Esse fato traz consigo diversas questões dentro dos contextos social, econômico e ambiental. Ao ocorrer uma inundação, o nível da água se eleva a níveis superiores ao do canal do curso d'água, atingindo edificações construídas nas regiões ribeirinhas.

O homem, como agente transformador, influencia diretamente a natureza com a sua ocupação. Quando essa ocorre sem planejamento, o que se encontra é uma potencialização nas inundações. A transformação do uso e ocupação do solo que ocorreram na formação das cidades impermeabilizaram uma área com capacidade de percolação, o que acentua a transformação da precipitação em escoamento superficial. De acordo com a Lei Federal 12.651/2012 Art. 4º, que define a Área de Preservação Permanente (APP) para zonas rurais e urbanas, a APP mínima para cursos de água com menos de 10 metros de largura é de 30 metros contados a partir da calha regular de cada margem. Apesar da medida empregada pela lei, que garante uma área permeável no entorno dos cursos hídricos, o crescimento das vazões decorrente da urbanização tem tornado crítica a situação dos córregos urbanos durante eventos de precipitação intensa.

Arelado ao fato da dificuldade de planejamento urbano e ao uso e ocupação do solo, ocorre também a intensificação dos eventos meteorológicos devido as mudanças climáticas. Um estudo avaliando dados históricos de precipitações extremas no Estado de Washington concluiu que as estruturas projetadas com base em uma previsão de dados limitados ao século XX, podem receber regimes de precipitações para as quais não foram dimensionadas para suportar (ROSENBERG, E. A. *et al.* 2010). Devido a todos esses fatores, alguns trabalhos têm investigado formas de diminuir esses problemas, como os realizados por Zahmatkesh *et al.* (2014), Pyke *et al.* (2011) e Semadeni-Davies *et al.* (2008). Na maioria desses estudos, o que se encontra são técnicas baseadas em um desenvolvimento de baixo impacto.

A urbanização de baixo impacto tem como objetivo promover a ocupação humana com a mínima influência possível nos fenômenos da natureza. Na literatura estrangeira, esse termo é conhecido como Low Impact Development (LID). Estudos vêm sendo realizados de modo a verificar o efeito da aplicação dessa técnica para a resolução dos problemas de drenagem urbana e modelos vêm sendo empregados para a análise da eficiência dos LIDs na mitigação de inundações, como os realizados por Kourtis, Tsihrintzis, Baltas (2018) e Wang *et al.* (2018). Segundo esses estudos, o que se observa é que o uso do solo é o parâmetro que tem maior influência nas gerações das inundações, ou seja, as impermeabilizações superam, inclusive, os efeitos das mudanças climáticas.

O município de Maringá – PR tem seu território dividido em duas grandes bacias, a do Rio Ivaí e a do Rio Pirapó. A porção norte da cidade pertence à Bacia do Rio Pirapó, que contém as sub-bacias dos Córregos Mandacaru, Ibipitanga, Osório, Miosótis, Nazareth, Guaiapó e Ribeirões Maringá e Morangueira. Rubira (2016) afirma que essa região apresentou intenso crescimento entre 1947, ano da fundação da cidade, a 2014. Segundo o autor, o relevo favoreceu tal expansão, permitindo essa ocupação com custos menores. Além disso, estudos realizados por Petsch (2014) estimaram que a sub-bacia do Córrego Mandacaru apresentou um aumento de seu coeficiente de deflúvio (C) de 0,3 em 1963 para 0,63 em 2006. Esse crescimento da área impermeável no entorno de córregos urbanos alterou as características hidrológicas da região. Com tais mudanças, a cidade passou a apresentar problemas de inundação durante precipitações extremas, principalmente no Córrego Mandacaru. As construções de estruturas, como bacias de contenção, podem solucionar alguns casos as inundações, mas ainda são necessários estudos mais detalhados que permitam

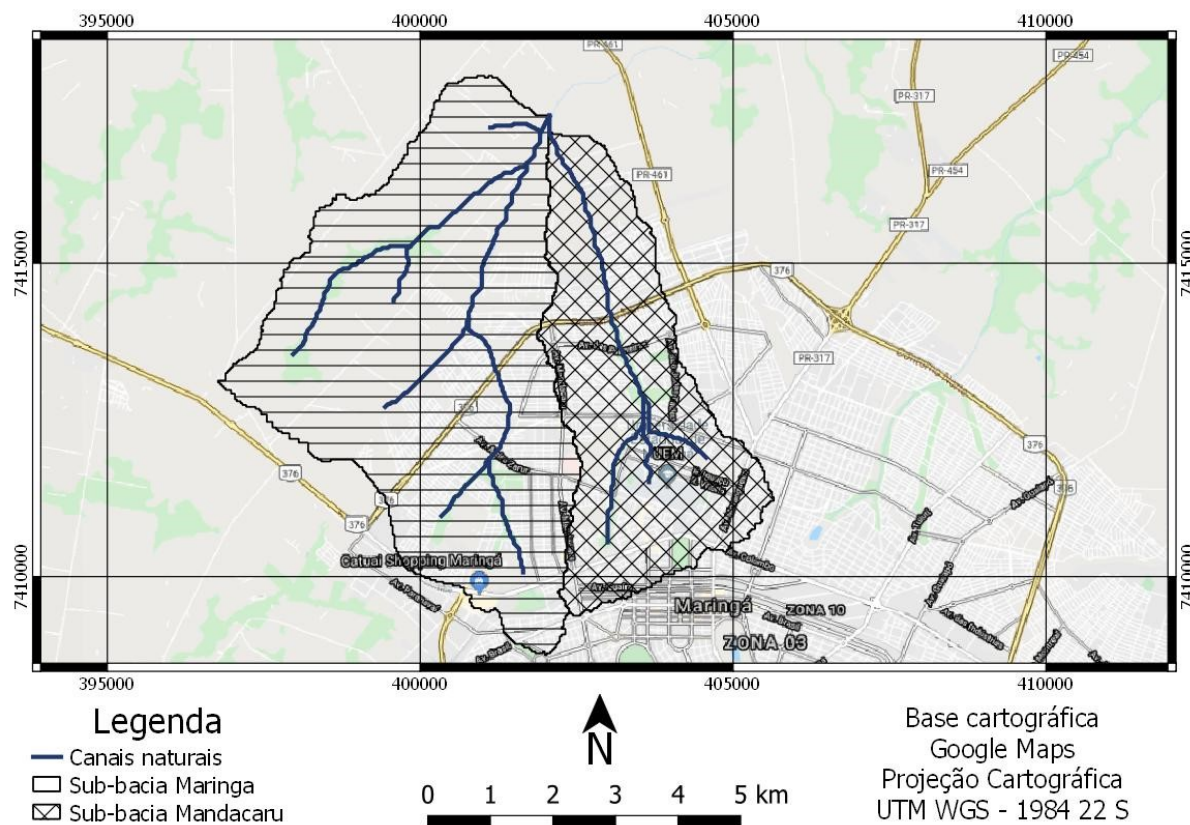
definir as melhores diretrizes de expansão urbana. Dessa forma, investiga-se os efeitos das soluções sobre a região de interesse e seu efeito nas localidades à jusante, que devem ser evitados. Nesses estudos, pode-se usar a modelagem computacional, com análise paralela ou temporal de diferentes cenários.

A evolução na aquisição de dados, o acoplamento de softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a modelagem hidrodinâmica e hidrológica tem permitido a evolução dos estudos sobre drenagem urbana. Nessa linha, destaca-se em vários estudos o uso do software HEC-HMS, um modelo de transformação chuva-vazão desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (SURIYA E MUDGAL, 2012; RAZI, *et al.*, 2010; KNEBL *et al.*, 2005). Com o uso da modelagem, este trabalho investiga como a ocupação humana pode influenciar o escoamento superficial em duas bacias urbanas, a do Córrego Mandacaru e do Ribeirão Maringá, ambos no município de Maringá – PR. A pesquisa se desenvolve utilizando os softwares ArcGIS e HEC-HMS e compara as características das bacias diretamente com as vazões obtidas de chuvas de projetos. Essas bacias urbanas foram escolhidas por possuírem diferentes ocupações e graus de impermeabilização, e em função dos eventos de inundações do Córrego Mandacaru durante eventos de precipitação intensos.

2 Materiais e Métodos

O local do estudo é composto pelo conjunto de sub-bacias urbanas do Córrego Mandacaru e do Ribeirão Maringá que, juntas, ocupam uma área de aproximadamente 44,3 km² da região norte do Município de Maringá – PR, conforme se observa na Figura 1.

Figura 1. Identificação do local de estudo



2.1 Pré-processamento e obtenção de dados geofísicos

A delimitação das sub-bacias e a aquisição das características geofísicas foram coletadas a partir de um modelo digital do terreno (MDT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019). Os dados do MDT foram pré-processados para corrigir imperfeições, como dados ausentes ou espúrios. Para o processamento e geração do arquivo de exportação para o HEC-HMS utilizou-se o plug-in HEC-GeoHMS acoplado ao software ArcGIS (USACE, 2013).

O primeiro processo aplicado ao MDT foi a diminuição de picos, em que as irregularidades encontradas em na imagem são corrigidas por um processo de análise de vizinhança. Caso o valor do pixel seja muito diferente dos seus outros 8 vizinhos, o seu valor é substituído e, dessa forma, obtêm-se uma suavização da superfície do terreno (PLANCHON e DARBOUX, 2002).

Com a suavização da superfície do terreno, é calculada a direção do fluxo, que realiza uma análise da vizinhança criando-se um “caminho” que teoricamente leva um líquido do ponto mais alto até o mais baixo (TARBOTON, 1997).

Tendo obtido a informação de relevo e o caminho preferencial das águas ponto a ponto, foram determinados os locais prováveis em que o volume de água tende a se acumular (JENSON e DOMINGUE, 1988). Com os locais de acumulação de água encontra-se os prováveis rios existentes no mapa em questão.

Definidos os córregos e rios é necessário delimitar as áreas das sub-bacias de acordo com cada trecho. Dessa forma, gera-se a divisão dos rios, a delimitação da área correspondente a cada rio e, por fim, a geração dos polígonos de área que compõem as sub-bacias, com suas devidas informações separadas.

Após delimitar as bacias e defini-las como polígonos, processa-se os trechos dos cursos hídricos e as áreas das bacias para enfim gerar o arquivo de exportação para o software HEC-HMS.

2.2 Determinação do Escoamento Superficial

Dentre os modelos de transformação chuva-vazão disponíveis na literatura, adotou-se neste estudo o método do *Soil Conservation Service* (SCS) que determina o volume de escoamento por meio da Equação 1 e Equação 2 (USDA, 1986).

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)} \quad \text{Equação 1}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 2}$$

O método do SCS necessita de um valor que compreende o tipo de solo e o uso e ocupação, este dado é denominado de Curve Number (CN), que foi determinado para cada uma das sub-bacias. A obtenção desse valor médio foi feita por meio de mapas do tipo e uso do solo no ArcGIS e aplicando-se a Equação 3.

$$CN_{\text{médio}} = \frac{\sum CN_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad \text{Equação 3}$$

A classificação do uso do solo foi realizada a partir de uma imagem de satélite obtida no Google Maps (2019), seguindo o procedimento similar ao usado por Amaral e Rios (2012). No software ArcGIS, foram selecionadas amostras de coberturas, da imagem de satélite, e foi feita uma reclassificação do arquivo de imagem de forma semiautomática. As duas bacias

tiveram as suas áreas classificadas de acordo com cinco usos estabelecidos: residencial; grama; plantação; florestas; e solo sem cobertura. O mapa de tipo de solo usado foi o disponibilizado pela EMBRAPA (2006), em que se uniu essa informação com a informação do uso e ocupação. Como modelo para determinar os valores de CN, adotou-se o proposto pela Secretaria Municipal do Desenvolvimento Urbano de São Paulo (SMDU) conforme Tabela 1.

Tabela 1. CN de acordo com uso e tipo de solo

Tipos de uso de solo/ Tratamento/ Condições Hidrológicas	A	B	C	D
Uso Residencial: Tamanho de lote até 500m e 65% impermeável	77	85	90	92
Florestas condições boas	36	60	73	79
Parques, jardins: boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	80
Culturas de grãos linha reta condições boas	63	75	83	87
Terreno preparado para plantio, descoberto	77	86	91	94

Fonte: (Adaptado de SMDU, 2012)

2.3 Modelagem no HEC-HMS

2.3.1 Evapotranspiração

A evaporação foi obtida ao calcular as médias mensais disponibilizadas pelo INMET (2016) e configuradas no software HEC-HMS, adotando o tipo de evaporação como constante mensal. Os dados usados na modelagem são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Evaporação média obtida a partir de dados da estação meteorológica de Maringá

Evapotranspiração (mm)												
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Total	87,6	116,1	125,8	94,9	81,8	87,4	163,1	161,2	263	140,7	174	118,8
Média diária	2,83	4,15	4,06	3,16	2,64	2,91	5,26	5,20	8,77	4,54	5,80	3,83

Fonte: (INMET, 2016)

2.3.2 Precipitação

As precipitações inseridas no modelo hidrológico e usadas na calibração da sub-bacia do Córrego Mandacaru e na validação do ribeirão Maringá foram as disponibilizadas pelo INMET (2019). As precipitações foram configuradas como dados de precipitação horária de acordo com a Equação 4. Para cada evento de dados, foram realizadas simulações testes e se constatou que a adoção de 2 dias antes e 7 dias após a leitura da vazão permitia a verificação da estabilização do hidrograma e total desenvolvimento da curva de recessão.

$$Precip_{horaria} = \frac{Precip_{diaria}}{24} \quad \text{Equação 4}$$

2.3.3 Modelo chuva-vazão (SCS)

O modelo chuva-vazão do SCS foi configurado no HEC-HMS, inserindo o valor do número de curva (CN) e o tempo de atraso (T_L) calculado para cada uma das bacias urbanas

estudadas. Para o tempo de atraso, adotou-se a Equação 5 de Kirpich, devido sua aplicação para bacias de grande porte na área urbana (SILVEIRA *et al.*, 2005).

$$T_L = 0,03978 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad \text{Equação 5}$$

2.3.4 Calibração e Validação do Modelo

A calibração é realizada para a aproximação do modelo aos eventos reais. Para isso, são necessários dados obtidos de variáveis importantes para a representação dos eventos reais por um modelo, ou seja, dados obtidos de forma direta da situação a ser simulada. Tanto o Córrego Mandacaru quanto o Ribeirão Maringá são corpos hídricos sem monitoramento por estações fluviométricas, automáticas ou manuais. Essa falta de dados de monitoramento dificulta a aquisição de dados de vazão por meio direto. Para contornar esse problema, são obtidos dados usando flutuadores, molinete ou *Flow Tracker*. Os dados usados para realizar a calibração do modelo do Córrego Mandacaru foram provenientes de Rigon (2010). Já para o Ribeirão Maringá, usou-se apenas um dado de vazão coletado com a ferramenta *Flow Tracker* no exutório da bacia para a calibração, devido à dificuldade de acesso e por questões de segurança.

2.3.5 Chuvas de projeto

A estação meteorológica OMM 83767 localizada na latitude -23,4 e longitude -51,91 no município de Maringá. A estação 83767 tem dados meteorológicos disponíveis, dentre eles a precipitação. A chuva de projeto foi obtida aplicando-se distribuições estatísticas à um conjunto de dados entre 1961 e 2018. Esse conjunto de dados não estava completo, sendo que para alguns anos, poucos ou nenhum dado estavam disponíveis. Dessa forma, foram desconsiderados os anos de 1978, 1975, 1974, 1973, 1972, 1971 e 1962. Foram usadas as distribuições empírica, normal, log-normal e Gumbel para o conjunto de dados. Como método de avaliação considerou-se a distribuição empírica como a mais fiel ao real, no entanto, devido à sua limitação de projeção, adotou-se a distribuição que mais se aproximou dela (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

2.3.6 Análise comparativa

Com a modelagem pronta foram executadas as simulações para as chuvas de projeto com tempo de retorno de 1000, 500, 200, 100, 50, 25 e 10 anos. Com os resultados, analisou-se como cada uma das bacias se comportou de acordo com seu uso e ocupação. Dessa forma, foi verificado a influência na geração de escoamento superficial, mantendo as características das bacias constantes para cada tempo de retorno.

Por fim, a comparação entre as bacias foi realizada, afim de constatar se a bacia com menor alterações antrópicas (Ribeirão Maringá) apresenta uma geração de escoamento superficial menor que a outra mais alterada (Córrego Mandacaru). Esta comparação foi realizada com a divisão da vazão total pela área total das bacias obtendo-se, portanto, a capacidade de geração de escoamento de cada uma das bacias por unidade de área e para vários eventos de precipitação.

3 Resultados e discussões

Ao realizar o pré-processamento dos dados geométricos obteve-se as características

apresentadas na Tabela 3. O que se observa a partir dos dados da Tabela 3 é que, apesar da bacia do Ribeirão Maringá apresentar o dobro da área da bacia do Córrego Mandacaru, as características de declividade e comprimento do canal principal são próximas.

Tabela 3. Características geofísicas das bacias estudadas

Dados	Bacia estudada	
	Córrego Mandacaru	Ribeirão Maringá
Área Total (km ²)	15,2	29,1
Declividade (m/m)	0,01194	0,01248
Compr. do canal (m)	7705,1	8495,8
CN (Curve Number)	72	68

Fonte: (Autoria própria, 2020)

Após a reclassificação da imagem do Google Maps (2019) no ArcGIS, pôde-se obter os valores de uso e ocupação do solo para as duas bacias urbanas, apresentados na

Tabela 4. O que se observa nos resultados apresentados é que a bacia referente ao Ribeirão Maringá apresenta uma porcentagem urbana muito menor que a do Córrego Mandacaru e maior área de cultura de grãos. Essa diferença entre o uso do solo é significativa, visto que áreas urbanas, com maior impermeabilização, tendem a gerar mais escoamento superficial.

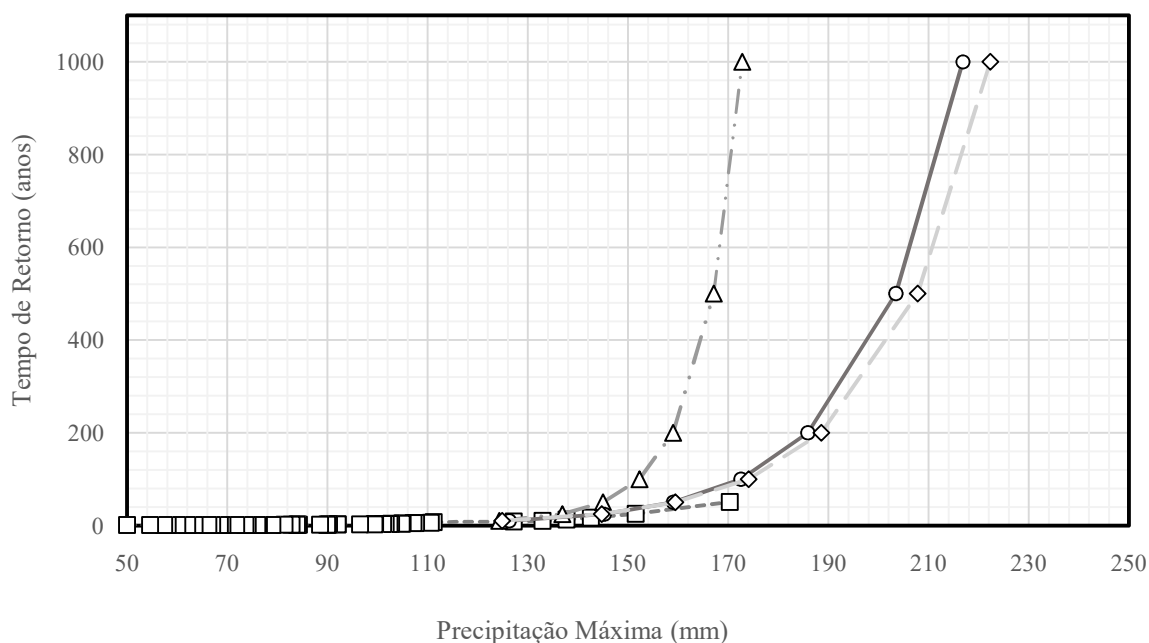
Tabela 4. Uso e ocupação do solo

Uso do solo	Bacia estudada	
	Córrego Mandacaru	Ribeirão Maringá
Cultura de Grãos	13,13	47,93
Floresta	16,74	16,07
Grama	9,76	5,36
Residencial	59,31	29,09
Solo sem cobertura	1,05	1,56

Fonte: (Autoria própria, 2020)

As chuvas de projeto calculadas seguiram a distribuição estatística de Gumbel que apresentou o comportamento mais próximo ao da distribuição empírica, como se observa na Figura 2 e ainda permite uma projeção para tempos maiores que a quantidade de dados disponível. Esta escolha é corroborada por pesquisas de análise de chuvas intensas usando métodos estatísticos (BORGES E THEBALDI, 2016).

Figura 2. Projeção estatística da precipitação com os dados da Estação Meteorológica

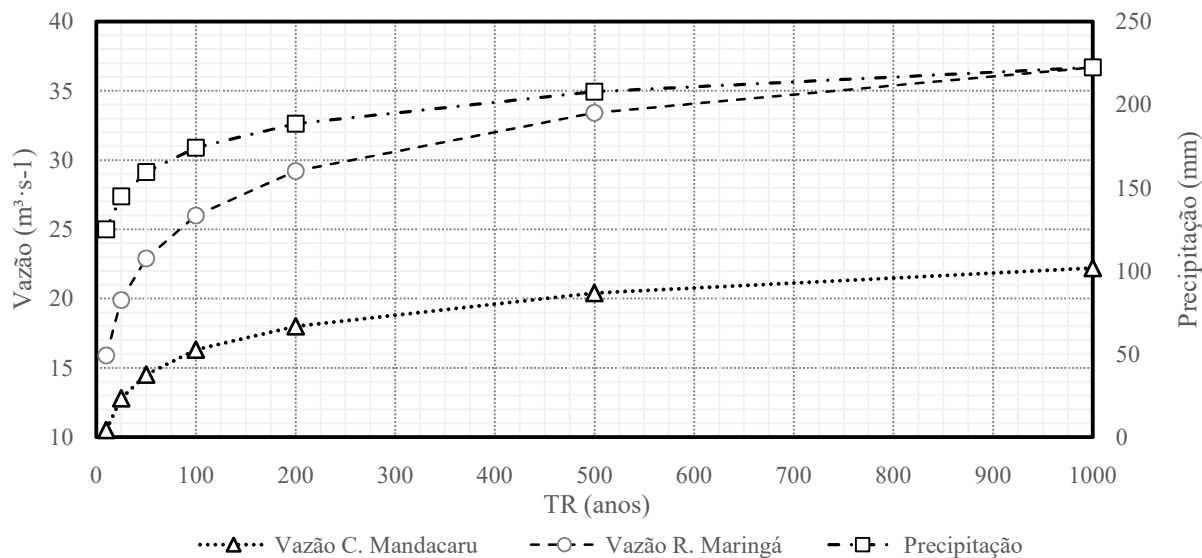


--□-- TR Empírico --△-- TR Normal --○-- TR Log-Normal --◇-- TR Gumbel

Fonte: (Autoria própria, 2021)

Por meio do modelo calibrado no software HEC-HMS e das chuvas críticas obteve-se os seguintes resultados expressos na Figura 3.

Figura 3. Comparação das vazões



.....△..... Vazão C. Mandacaru --○-- Vazão R. Maringá --□-- Precipitação

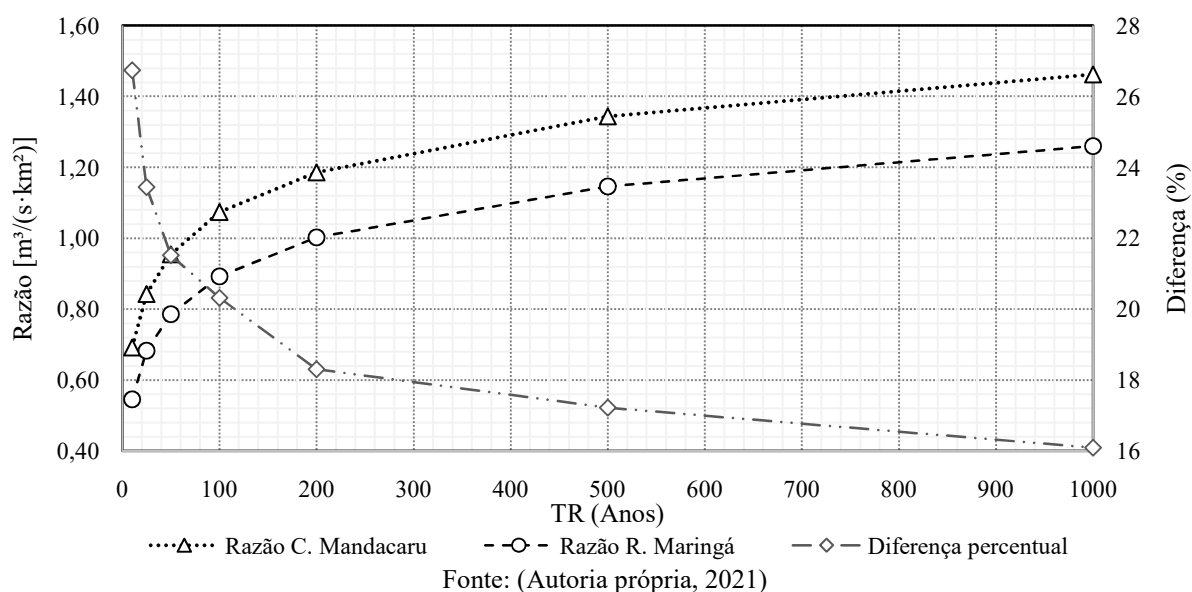
Fonte: (Autoria própria, 2021)

Observa-se nos resultados apresentados na Figura 3, a relação da vazão máxima decorrente de cada evento de precipitação no exutório de cada uma das bacias. A vazão da bacia do Córrego Mandacaru apresenta um comportamento similar à precipitação, aumentando conforme aumenta o tempo de retorno e a intensidade da chuva. Já o Ribeirão Maringá apresenta um aumento de vazão máxima maior em pouca alteração do tempo de

retorno. Como visto na Tabela 3, as declividades das bacias são similares, portanto, pode-se inferir que esse comportamento se deve à maior área de contribuição da bacia do Ribeirão Maringá, além das condições de impermeabilização e direcionamento da drenagem.

Uma melhor análise comparativa entre as duas bacias é obtida pela normalização dos resultados obtidos, ou seja, diminuir os efeitos da diferença de área de contribuição. Para isto, criou-se uma razão entre a vazão encontrada na modelagem e a área de cada bacia. Dessa forma, pode-se obter dados de vazão por tempo de retorno e pela área da bacia, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4. Comparação das razões



Por meio da Figura 4 é possível notar a diferença entre a vazão de escoamento superficial produzido em cada km² para cada uma das bacias. Além disso, pode-se verificar que em alguns casos, a diferença entre as vazões pode superar 26 % no caso com Tempo de Retorno de 10 anos. A medida que acontecem os eventos menos recorrentes, essa diferença de vazão torna-se menor, chegando a um valor próximo de 16 %. Pontua-se, ainda, que a área ocupada por residências e regiões impermeabilizadas é superior na bacia do Ribeirão Mandacaru, ocupando 59,31% de sua área. Para a bacia do Córrego Maringá, as residências ocupam somente 29,09% de sua área total. Tais variações implicam em uma maior contribuição de escoamento superficial na bacia do Córrego Mandacaru.

Analisando também os valores utilizados para o número de curva das bacias, obteve-se um CN de 72 para o Córrego Mandacaru e 68 para o Ribeirão Maringá. Isto significa que o potencial de geração de escoamento superficial da bacia do Córrego Mandacaru é maior comparada a bacia do Ribeirão Maringá. Esta relação de vazão maior em locais antropizados corrobora com resultados encontrados por Pyke et al. (2011) e Hundedcha e Bárdossy (2004) para várias composições de uma mesma bacia. Nos trabalhos, os autores determinaram as vazões resultantes de vários cenários para uma mesma bacia, aumentando as áreas residenciais e diminuindo as de florestas. Os resultados demonstraram que as bacias com maior índice de ocupação humana e menor área de florestas apresentavam vazões maiores que as bacias com uma porção maior de vegetação. Isto pode ser relacionado a este trabalho, considerando que a bacia do Córrego Mandacaru apresenta uma área percentual urbanizada maior do que a bacia do Ribeirão Maringá.

Pode-se inferir, analisando os dados de simulação das duas bacias, que a capacidade

do desenvolvimento de baixo impacto produzir vazões menores é válida. Apesar do estudo aplicado neste trabalho não comparar as mesmas bacias para diferentes usos, a análise das duas bacias vizinhas com ocupações diferentes permite verificar esta situação. Dessa forma, o desenvolvimento de baixo impacto pode ser considerado como uma das formas de mitigação para problemas de inundação, tendo em vista a geração de escoamento menor para bacias com menor ocupação humana.

4 Conclusões

Foi verificado que a aplicação de ferramentas de modelagem pode otimizar o processo de análise futura ao se aplicar sobre determinados modelos e situações estatisticamente previstas. Todavia, verifica-se uma dificuldade no processo de calibração e validação do modelo devido à pouca disponibilidade de dados e a falta de monitoramento de córregos e ribeirões urbanos. A calibração com poucos dados e a falta de validação, por sua vez, torna os resultados com uma precisão limitada. No que concerne a comparação das vazões entre as bacias, pôde-se verificar que a referente ao Ribeirão Maringá apresentou um aumento de vazão maior conforme aumentou-se o tempo de retorno dos eventos, fato esse que se supõe ser devido a sua área maior. Ao comparar as vazões geradas por km² de bacia, o que se constatou foi que a bacia do Córrego Mandacaru, mais impermeabilizada e com um valor de CN maior, pode apresentar uma vazão por área até 26 % superior à vazão da bacia do Ribeirão Maringá, com menor área impermeabilizada. Isto significa que a diferença entre as vazões provenientes de bacias com áreas antropizadas distintas são maiores para eventos de precipitação mais frequentes. Pode-se concluir então, que para o caso estudado, com duas bacias com ocupações distintas, a diferença de vazão provenientes da impermeabilização e no CN diminuiu com o aumento da intensidade das precipitações, ou seja, quando considerado eventos de precipitação com maiores tempos de retorno. Além disso, pode-se supor que o desenvolvimento de baixo impacto, com menor impermeabilização e retirada de vegetação, pode trazer efeitos benéficos em situações com a diminuição da vazão máxima em eventos de chuva. Este fato foi inferido após comparar a forma como as duas bacias analisadas neste trabalho se comportaram para os eventos de chuva.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPQ, à Fundação Araucária e à Universidade Estadual de Maringá pela concessão de bolsas PIBIC que permitiram a execução deste trabalho.

Referências

- AMARAL, M. B.; RIOS, A. S. Geoprocessamento: mapeamento do uso da terra no alto curso do Rio Piedade. **Revista de geografia física**, n. 2, p.1-8, 2012.
- BORGES, G. M. R.; THEBALDI, M. S. Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. **Ambiente&Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 4, p. 891-902, 2016.
- BRASIL. 2012. **Código Florestal Brasileiro**. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1032082/lei-12651-12>>. Acesso em 12 jan. 2020.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia Para Engenharia E Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Brasília: Serviço de produção de informação, 2006.

GOOGLE MAPS. Satélite. Disponível em <<https://www.google.com.br/maps/@-23.3906788,-51.9404637,23020m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em 18 set. 2019.

HUNDECHA, Y.; BÁRDOSSY, A. Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model. **Journal of hydrology**, v. 292, n. 1-4, p. 281-295, 2004.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 18 set. 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 18 set. 2019.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Topodata 2008**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

JENSON, S. K.; DOMINGUE J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593–1600, 1988.

KNEBL M. R. et al. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. **Journal of Environmental Management**, v. 75, p. 325-336, 2005.

KOURTIS, I. M.; TSIHRINTZIS, V. A.; BALTAS, E. Simulation of Low Impact Development (LID) Practices and Comparison with Conventional Drainage Solutions. **Proceedings** 2, 640, 2018.

PETSCH, C. Aspectos da evolução da impermeabilização na Bacia do Córrego Mandacaru, Maringá – PR. **Geoamazonia**, n. 2, v. 1, p. 42-58, 2014.

PLANCHON, O.; DARBOUX, F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. **Catena**, v. 46, n. 2, p. 159–176, 2002.

PYKE, C. et al. Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change. **Landscape and Urban Planning**, v. 103, p. 166-173, 2011.

RAZI, M. A. M. et al. Flood Estimation Studies using Hydrologic Modelling System (HEC-HMS) for Johor River, Malaysia. **Journal of Applied Sciences**, v. 10, p. 930-939, 2010.

RIGON, B. T. C. **Avaliação Têmporo-Espacial do Processo Erosivo Marginal dos Córregos Mandacará e da Romeira – Maringá-PR**. 2010. Dissertação de mestrado em Geografia – Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR.

ROSENBERG, E. A. et al. Precipitation extremes and the impacts of climate change on stormwater infrastructure in Washington State. **Climatic Change**, v. 102, p. 319-349, 2010.

RUBIRA, F. G. Análise multitemporal da expansão urbana de Maringá-PR durante o período de 1947 a 2014 envolvendo o Parque Municipal do Cinquentenário e as principais áreas verdes no município. **Caderno de Geografia**, n. 46, v. 26, p. 333-361, 2016.

SEMADENI-DAVIES, A. et al. The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater. **Journal of Hydrology**, v. 250, p. 114-125, 2008.

SILVEIRA, A. L. L. et al. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 1 Jan/Mar, p. 5-23, 2005.

SMDU. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: Gerenciamento do Sistema de Drenagem Urbana**. São Paulo: Secretaria Municipal de Desenvolvimento

Urbano. 220 p. v. 2, 2012.

SURIYA, S.; MUDGAL, B. V. Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed – A case study. **Journal of Hydrology**, v. 412, p. 210-219, 2012.

TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997.

USACE. U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension User's Manual. Version 10.1 for Windows, 2013.

USDA. United States Department of Agriculture. **Urban hydrology for small watersheds**. Technical Release 55 (TR-55) 2^a ed. Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division, 1986.

WANG, M. et al. Assessing hydrological effects and performance of low impact development practices based on future scenarios modeling. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 12-23, 2018.

ZAHMATKESH, Z. et al. Low-Impact Development Practices to Mitigate Climate Change Effects on Urban Stormwater Runoff: Case Study of New York City. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, n. 1, v. 141, 04014043, 2015.