



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 11, Issue, 11, pp. 52279-52283, November, 2021

<https://doi.org/10.37118/ijdr.23450.11.2021>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

A RELAÇÃO ENTRE O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E O AUMENTO DA VAZÃO MÁXIMA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO MUNICÍPIO DE DIVINÓPOLIS-MG

Thaís Prado Vasconcelos Silva¹ and Hygor Aristides Victor Rossoni²

¹ Mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Bambuí

² Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais; Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa – *Campus Florestal*

ARTICLE INFO

Article History:

Received 12th August, 2021

Received in revised form

15th September, 2021

Accepted 17th October, 2021

Published online 30th November, 2021

Key Words:

Urbanização, Bacia Hidrográfica, Comportamento Hidrológico, Tempo de Concentração, Vazão Máxima.

*Corresponding author:

Thaís Prado Vasconcelos Silva

ABSTRACT

Historicamente, o crescimento das cidades brasileiras sempre esteve aliado à impermeabilização do solo e à canalização dos cursos de água. A falta de planejamento urbano, sem considerar o desmatamento, a substituição da cobertura vegetal natural, a ocupação das áreas de inundações e a impermeabilização das superfícies, afetam, principalmente, o sistema de drenagem urbana e as vazões máximas. Neste trabalho foram analisadas as vazões máximas, por meio do método racional, para a simulação de pré-ocupação e para a condição de pós-ocupação (atual) de uma bacia hidrográfica, no município de Divinópolis/MG, a fim de se verificar suas alterações diante dessas duas condições. Como metodologia, utilizou-se o software ArcGis 10.3 para gerar as redes de drenagem numéricas de pré-ocupação, com base no levantamento planialtimétrico. Já para a condição de pós-ocupação, foi utilizado o mesmo software para vetorizar o zoneamento das quadras, áreas verdes e áreas de ruas, a partir da ortofoto e do arquivo digital da hidrografia. Como resultado, foi possível verificar a redução do tempo de concentração, e consequentemente o aumento da vazão máxima para a condição de pós-ocupação em 7,55 vezes maior que a situação de pré-ocupação, devida à alteração do uso e ocupação do solo.

Copyright © 2021, Thaís Prado Vasconcelos Silva and Hygor Aristides Victor Rossoni. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Thaís Prado Vasconcelos Silva and Hygor Aristides Victor Rossoni. “A relação entre o uso e ocupação do solo e o aumento da vazão máxima em uma bacia hidrográfica no município de Divinópolis-MG”, *International Journal of Development Research*, 11, (11), 52279-52283.

INTRODUCTION

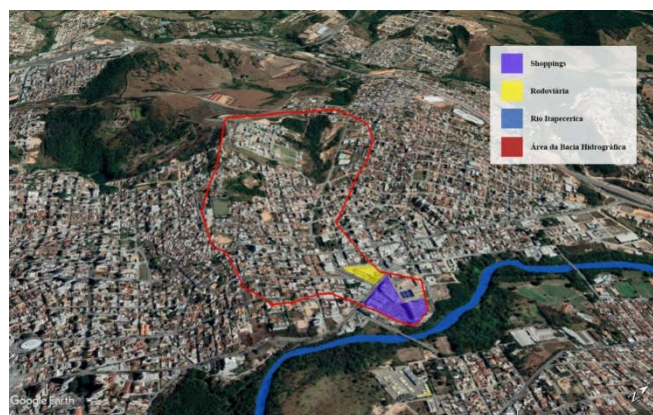
O processo de urbanização necessita de um planejamento adequado em diversos aspectos, principalmente no que se refere à gestão do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos. A gestão das águas pluviais nas áreas urbanas é um problema que atinge os municípios brasileiros, tendo em vista a forma como ocorreu a urbanização no país. De modo geral, o processo de urbanização de uma bacia hidrográfica, inicia-se normalmente a jusante, em áreas planas e mais baixas. Em consequência da impermeabilização e da urbanização, as primeiras obras de canalização surgiram para controlar as enchentes destas áreas ribeirinhas, agravando este problema nas áreas a jusante (MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012). Segundo os autores, com o processo de crescimento das cidades, as áreas a montante passam a ser ocupadas, levando à ocorrência do mesmo processo das áreas a jusante. Neste sentido, para evitar outras enchentes, são estabelecidas novas canalizações neste local e, assim, as áreas mais antigas a jusante voltam a ter problemas de enchente. Por fim, como consequência da urbanização, as áreas de armazenamento natural estão ocupadas, não há mais planície de inundação, toda a bacia é

canalizada, os canais não têm capacidade para escoar a nova demanda, a vazão é transferida para a jusante e ocorrem inundações de grandes superfícies urbanas. Diante deste cenário, a cidade estrangula o sistema de drenagem e há poucas possibilidades de novas obras canalizações (MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012). A expansão das áreas urbanas, sem considerar suas limitações, o desmatamento, a substituição da cobertura vegetal natural, a ocupação das áreas de inundações e a impermeabilização das superfícies, tem efeitos diretos no processo hidrológico, que afetam, principalmente, o sistema de drenagem urbana e os picos de vazões. Embora o processo de urbanização represente a prosperidade, o crescimento e o desenvolvimento, estes são, na maioria dos casos, seguidos de impactos negativos ao meio ambiente no qual se inserem. Tucci (2005) afirma que o processo de urbanização, sem planejamento urbano, é um dos principais responsáveis pela alteração do regime hidrológico das regiões, gerando a deterioração da qualidade de vida urbana e o aumento da poluição ambiental. De acordo com Kalantari et. al (2014) há uma relação entre o uso do solo e o deflúvio, em seu estudo foram verificadas variações significativas na vazão de pico em resposta às alterações no uso e ocupação do solo.

Como forma de contribuir com as pesquisas que buscam apontar caminhos para este cenário, este artigo propõe demonstrar como o aumento da vazão de uma área ocupada, por meio da urbanização, está diretamente relacionado às inundações. Nesta análise, serão apresentadas uma simulação de pré-ocupação e situação real de pós-ocupação, da mesma área, na cidade de Divinópolis/MG.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área escolhida está localizada na região norte da cidade e compreende os bairros São Sebastião e Afonso Pena. Nessa região, se localizam os shoppings especializados em confecções (responsável por parte da economia de Divinópolis), a rodoviária, e está próximo do Corpo de Bombeiros e de um hospital, além de ser um dos principais acessos de entrada da cidade (figura 1). O município de Divinópolis localiza-se na macrorregião Oeste do Estado de Minas Gerais, nas coordenadas da sede 20°10'12" S e 44°54'36" W, e possui, em 2021, segundo estimativa do IBGE, 242.505 habitantes.



Fonte: Adaptada pela autora a partir de imagem do Google Earth, 2020.

Figura 1. Área da bacia hidrográfica

A área do total do município é de 708,115 km² e a densidade demográfica, de 300,85 hab./km² (IBGE, 2021). Para a identificação e delimitação da bacia hidrográfica, foram utilizados os levantamentos (planialtimétrico, aerofotogramétrico e hidrográfico) cedidos pela Prefeitura de Divinópolis. A partir da interpolação das curvas de nível, a cada metro, obtidas junto à Prefeitura de Divinópolis, por meio do software ArcGis 10.3, foi gerado o Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC), com as funções Create TIN e TIN to Raster. Após a modelagem do MDEHC, extraiu-se a rede de drenagem numérica e a delimitação exata da bacia por meio do software ArcGis 10.3. Para gerar a rede de drenagem numérica, foi necessário, inicialmente, preencher as pequenas imperfeições nos dados e remover todas as depressões do MDEHC, com a função Fill em Spatial Analyst. Em seguida, gerou-se um raster com a direção do fluxo de cada cédula com a ferramenta Flow Direction em Spatial Analyst. Nessa etapa, cada pixel da imagem é cercado por mais oito pixels confrontantes e, devido ao valor da altitude de cada um no MDEHC, pode-se calcular a declividade para cada uma destas oito localidades vizinhas em relação ao pixel analisado (CHAVES, 2002). De acordo com O'Callaghan e Mark (1984), a rede de drenagem numérica é calculada devido à característica topográfica do terreno, a partir da simulação do caminho preferencial de escoamento superficial da água sobre o raster (MDE). Já a rede de drenagem, obtida junto à Prefeitura de Divinópolis, foi mapeada *in loco* por uma empresa a partir do levantamento aerofotogramétrico.

Após a geração da imagem com a direção do fluxo, foi criado o raster que determinará a acumulação do fluxo pela ferramenta Flow Accumulation em Spatial Analyst. Em seguida, gerou-se um raster com as drenagens extraídas a partir da ferramenta CON em Spatial Analyst, em que se utilizou o limiar 100 para obter a maior nível de detalhamento das feições de drenagens. O passo final foi vetorizar toda a rede de drenagem numérica por meio da ferramenta Stream to Feature em Spatial Analyst Tool e, depois, Hidrology

(CHAVES, 2002). Para a delimitação da bacia hidrográfica, depois de executar os passos anteriores, utilizou-se a ferramenta Watershed e, por meio da imagem gerada em Flow Direction (direção do fluxo), a partir do exutório pretendido, o programa gera uma imagem com a delimitação da bacia. A partir dessa imagem e pelo comando Raster to Polygon, obtém-se o vetor da delimitação da bacia hidrográfica. Verificou-se o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica com base na Lei Municipal nº 2.418 (CÂMARA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS, 1988), a partir do processo de vetorização de cada área da imagem digital (ortofoto), utilizando o software ArcGis 10.3. Neste processo, foram vetorizados os zoneamentos das quadras dentro das bacias, as áreas verdes e as áreas de rua. A partir da criação desses vetores, obtém-se os valores das respectivas áreas e assim, pode-se calcular o coeficiente de *runoff* por meio da média ponderada, levando em consideração as essas áreas. Os cálculos foram divididos em: a) tempo de concentração; b) período de retorno ou de recorrência; c) vazão máxima de chuva e d) intensidade média de precipitação, conforme descrição a seguir:

Tempo de concentração: Definido como o tempo que a água de chuva leva para sair do divisor mais distante e chegar ao exutório da bacia, é medido em minutos (AZEVEDO NETTO, 2015). O tempo de concentração é um importante parâmetro, porque, nos cálculos hidrológicos, é igualado à duração da precipitação, quando a determinação da sua intensidade é feita por meio das equações de chuva. Este fator interfere diretamente na intensidade das chuvas. Neste sentido, o que se verifica nas áreas urbanizadas, em decorrência do processo de impermeabilização, é uma significativa redução do tempo de concentração. Desta forma, o que se observa é a elevação do pico de vazão pluvial nos fundos de vale das áreas urbanas, decorrentes do aumento das intensidades pluviais (TUCCI, 2012; BOTELHO, 2017). O tempo de concentração pode ser calculado por meio de várias equações, dependendo do uso e da ocupação do solo. Neste trabalho, foi utilizada a equação de George Ribeiro, desenvolvida para áreas urbanas em que se considera porcentagem de cobertura vegetal, declividade e comprimento do talvegue. O tempo de concentração é calculado por intermédio das equações 01 e 02.

$$tc = ts + 10 \text{ minutos} \quad (1)$$

$$ts = \frac{16L}{(1,05 - 0,2p) \times (100 \times Im)^{0,04}} \quad (2)$$

Onde:

tc = tempo de concentração, em minutos;
 ts = tempo de escoamento superficial, em minutos;
 10 minutos = tempo morto (tempo em que já cessou a chuva, mas que continua ocorrendo o escoamento superficial);
 L = comprimento do talvegue principal, em km;
 p = porcentagem de cobertura vegetal da bacia hidrográfica;
 Im = declividade média do talvegue, em m/m.

Período de retorno ou de recorrência: Definido com o tempo, medido em anos, em que um evento, chuva, leva para ser igualado ou superado em pelo menos uma vez. Esta variável tem relação inversamente proporcional à frequência com que ocorre um evento, chuva. Uma chuva que ocorre com muita frequência apresenta períodos de retorno baixos (SILVA, 2015). Da mesma forma, chuva pouco frequente leva a períodos de retorno elevados. Diante disso, o estabelecimento do período de retorno permite determinar o risco a se correr de uma estrutura hidráulica vir a falhar. A Tabela 1 apresenta valores utilizados para os períodos de retorno de acordo com os dispositivos de drenagem, conforme determina Silva (2015).

Vazão máxima de chuva: Conforme Azevedo Netto (2015), o estudo do escoamento superficial é obtido pela necessidade de estimar vazões de projetos em obras de engenharia. Neste trabalho, optou-se pelo método racional, pois as duas bacias escolhidas para o estudo de caso têm área inferior a 5 km² e suas áreas são predominantemente impermeabilizadas, de acordo com Azevedo Netto (2015) e Botelho (2017). O método racional para avaliação da vazão máxima está representado por meio da equação 3.

Tabela 1. Tempo de retorno em função dos dispositivos de drenagem

Tipos de dispositivos de drenagem	Tempo de retorno, anos
Microdrenagem – dispositivos de drenagem superficial, galeria de águas pluviais	10
Aproveitamento de rede existente – microdrenagem	5
Canais de macrodrenagem não revestidos	10
Canais de macrodrenagem revestidos, com verificação para $T_r = 50$ anos sem considerar borda livre	25

Fonte: SILVA, 2015.

$$Q = C \times I \times A \tag{3}$$

Onde:

- Q = vazão pluvial, em m^3/s ;
 - C = coeficiente de esgotamento superficial da bacia hidrográfica ou de runoff;
 - i = intensidade média de precipitação sobre toda a bacia com duração igual ao tempo de concentração, em mm/s ;
 - A = área da bacia hidrográfica, em m^2 .
 - d) Intensidade média de precipitação
- O cálculo da intensidade média de precipitação foi feito por meio da equação geral de chuva:

$$i = \frac{k \times (t_r)^a}{(t_c + b)^c} \tag{4}$$

Onde:

- i = intensidade média de precipitação, em mm/h ;
- k, a, b e c = constantes;
- t_r = tempo de retorno, em anos;
- t_c = tempo de concentração, em minutos.

Para obtenção das constantes k, a, b e c, utilizou-se o *software* Plúvio 2.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os valores para o município de Divinópolis correspondem a: $k = 2377,021$, $a = 0,205$, $b = 22,171$ e $c = 0,869$. Para o cálculo da intensidade de precipitação e da vazão utilizaram-se os tempos de retorno de 25 e 50 anos, conforme recomenda Silva (2015), para pré e pós ocupação.

O coeficiente de *runoff*, definido como a relação entre o volume escoado superficialmente e o volume precipitado sobre uma bacia, é estabelecido em função da ocupação (CANHOLI, 2014). Foi calculada com base na média ponderada, levando em consideração as áreas verificadas na bacia e o coeficiente correspondente a elas, de acordo com a Tabela 2. Para as áreas das quadras ($702.487,06 m^2$) utilizou-se o coeficiente de 0,6, para as áreas verdes ($36.352,51 m^2$), 0,3, e para as áreas das ruas ($184.060,19 m^2$) de 0,95.

Tabela 2. Coeficiente de runoff

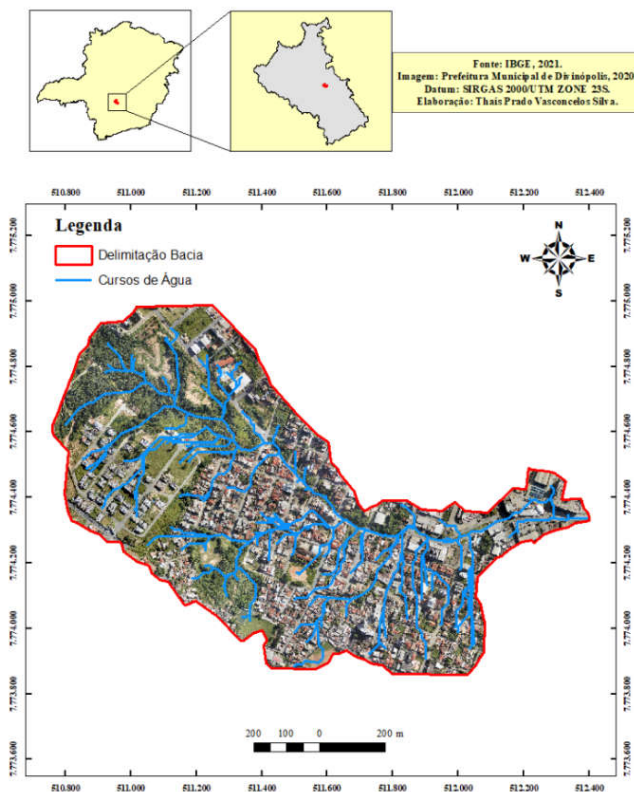
DESCRIÇÃO DA ÁREA	COEFICIENTE DE RUNOFF
Área residencial	-
Residências isoladas	0,35 a 0,50
Unidades múltiplas (separadas)	0,40 a 0,60
Unidade múltiplas (conjugadas)	0,60 a 0,75
Lotes com $2000 m^2$ ou mais	0,30 a 0,40
Área com prédios de apartamentos	0,50 a 0,70
Área industrial	-
Indústrias leves	0,50 a 0,80
Indústrias pesadas	0,60 a 0,90
Áreas não urbanizadas	0,10 a 0,30
CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE RUNOFF
Ruas	-
Pavimentação asfáltica	0,70 a 0,95
Pavimentação de concreto	0,80 a 0,95

Fonte: Adaptado pela autora a partir de SÃO PAULO, 1986.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, pode-se observar a mesma bacia na situação pré-ocupação, a partir da simulação da rede de drenagem numérica.

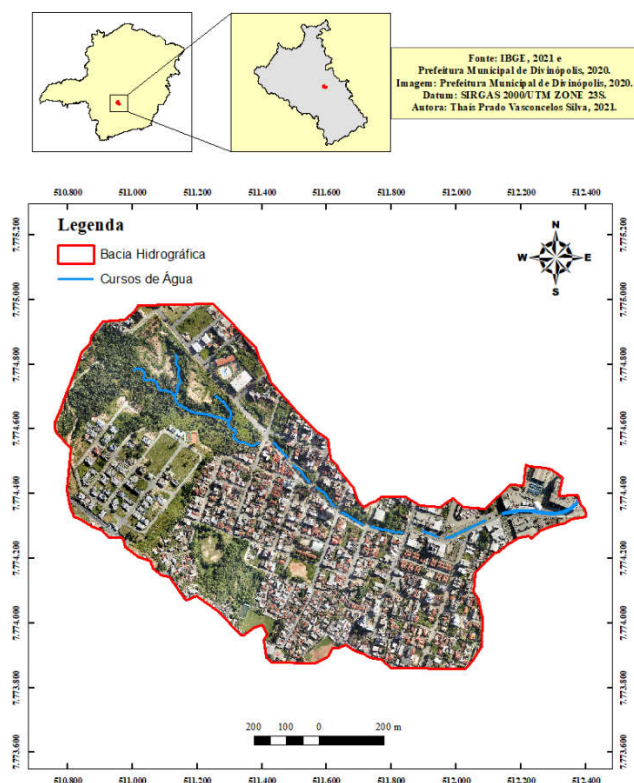
Mapa da Bacia Hidrográfica



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Figura 2. Área da Bacia Hidrográfica (pré-ocupação)

Mapa da Bacia Hidrográfica

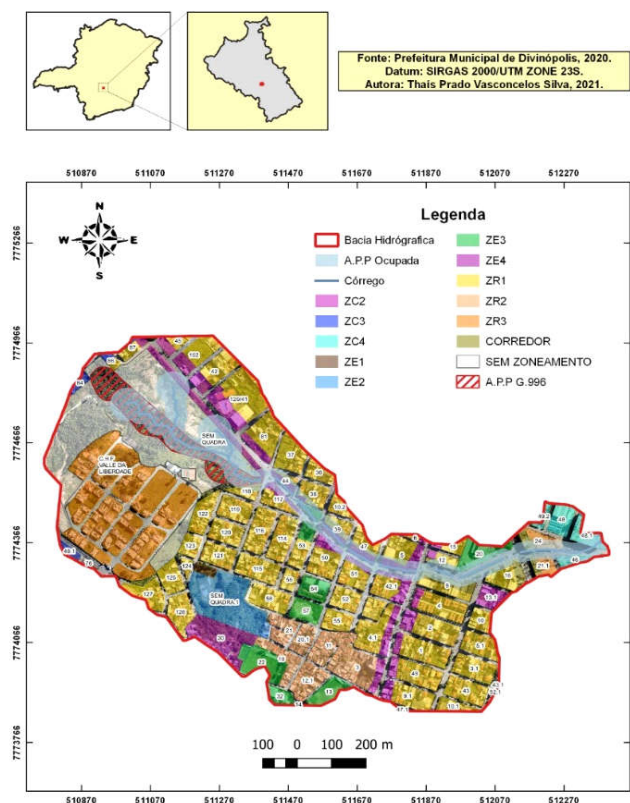


Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Figura 3. Área da Bacia Hidrográfica (pós-ocupação)

A Bacia Hidrográfica, pós-ocupação com a rede de drenagem obtida junto à Prefeitura, apresenta uma área de 0,922899 km² e perímetro de 5,01387 km, e seus cursos de água não têm denominação (Figura 3). Localizada na região norte da área urbana, compreende os bairros São Sebastião e Afonso Pena.

Zoneamento da Bacia Hidrográfica



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Figura 4. Zoneamento (pré-ocupação)

O comprimento do talvegue foi de 1.856,61 m, a declividade, de 3,83% e o percentual de área verde, de 100% para situação pré-ocupação.

Tabela 3. Resultados das intensidades de precipitação máxima e das vazões máximas

Situação da ocupação	Tr (anos)	I (mm/h)	Q (m ³ /s)
Pré-ocupação Bacia	25	121,76	3,12
	50	140,35	3,60
Pós-ocupação Bacia	25	139,26	23,56
	50	160,53	27,16

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Ao analisar os dados pós-ocupação, observou-se a redução do comprimento do talvegue para 1.618,60 m, da declividade para 2,58% e da cobertura vegetal para 3,94%. O valor de 3,94% utilizado para a cobertura vegetal foi obtido por meio do mapa de uso e ocupação do solo, tendo em vista que não há, para a bacia em questão, nenhuma deliberação estabelecida por Lei Municipal. Na Figura 4, pode-se observar o zoneamento da bacia hidrográfica em situação de pós-ocupação (atual), com destaque para a área descrita como Área de Preservação Permanente A.P.P. G.996, que foi utilizada como cobertura vegetal para os cálculos desta pesquisa (3,94%). O tempo de concentração, calculado pelas equações 01 e 02, obtido para a bacia foi de 43,12 min e 33,77 min, para a condição de pré e pós-ocupação, respectivamente. Pode-se verificar uma redução de 21,68%, do tempo de concentração. Este fato gera o aumento da intensidade da precipitação sobre as áreas e, conseqüentemente, gerará o aumento da vazão de pico conforme relatam Tucci, 2012 e Botelho, 2017. Em

relação ao comprimento do talvegue houve uma redução de 12,82% e se constata que houve ocupação irregular ao longo do tempo sobre os cursos de água. Para a determinação das vazões máximas (Eq. 03), obteve-se coeficiente de runoff médio (C) para a situação de pós-ocupação de 0,66, a partir dos valores recomendados por Silva (2015) e apresentados na Tabela 2. Já para a situação de pré-ocupação, utilizou-se o coeficiente recomendado por Silva (2015) para áreas sem intervenção, equivalente a 0,10. A Tabela 3 apresenta os valores das vazões máximas e os resultados das intensidades de precipitação máxima (Eq. 04), para os tempos de retorno de 25 e 50 anos. Ao se observar os resultados das vazões, tanto para o tempo de retorno de 25 anos quanto para o de 50 anos, pode-se afirmar que o aumento da vazão para a situação de pós-ocupação da bacia foi de 7,55 vezes que a relativa à de pré-ocupação, conforme demonstrado por Kalantaria et al. (2014) em pequenas bacias hidrográficas urbanas. Este resultado, também, confirma a constatação de Tucci (2003) para o estudo feito na bacia do rio Belém, no município de Curitiba (PR). Além disso, pode-se ainda afirmar que o aumento do pico de vazão acarreta em processos erosivos, carreamento de sólidos para os cursos de água e a conseqüente piora na qualidade desta, obstrução dos sistemas de microdrenagem ocasionada pelos resíduos sólidos, redução da recarga dos lençóis freáticos e enchentes nas áreas a jusante, conforme relatam os Tonello et al. (2006) e Tucci (2016).

CONCLUSÕES

Após a finalização do estudo proposto pode-se verificar que a bacia hidrográfica apresentou alteração no seu comportamento hidrológico em função da alteração do uso e ocupação do solo. Essas alterações foram devidas à redução do tempo de concentração que passou de 43,12 min para a simulação de pré-ocupação, para 33,77 min para a situação de pós-ocupação. Verificou-se, também, que o coeficiente de runoff após a urbanização chegou a 0,66 o que representa que a área da bacia hidrográfica sofreu uma ocupação que representou um incremento de 56% no escoamento superficial, quando comparada à situação sem o processo de urbanização. Essas duas variáveis resultaram em uma vazão máxima de 7,55 vezes maior que a vazão para a condição de pré-ocupação, para os períodos de retorno de 25 e 50 anos. Estes resultados comprovam o que afirmam Tucci (2003) e Kalantaria et al. (2014) com relação ao impacto gerado pela urbanização nas vazões máximas. Torna-se então imprescindível que medidas de gestão de drenagem urbana sejam priorizadas pelos municípios no sentido de garantir que o processo de urbanização se dê em consonância com o comportamento hidrológico das bacias urbanas para que sejam minimizadas as inundações.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO NETTO, José Matiniano de. Manual de hidráulica. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos. Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades. Colaboração especial de Angelo S. Filardo Júnior. 4. ed. rev. e sensivelmente ampl. São Paulo: Blucher, 2017. 344 p.
- CÂMARA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS. Lei Ordinária nº 2.418, de 18 de novembro de 1988. Dispõe sobre o uso e a ocupação do solo no município de Divinópolis. Disponível em: <https://sapl.divinopolis.mg.leg.br/norma/9763>. Acesso em: 28 set. 2021.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CHAVES, Marcelo de Ávila. Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica. 2002. 115 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- KALANTARIA, Zahra et al. Quantifying the hydrological impact of simulated changes in land use on peak discharge in a small catchment. Science of the Total Environment, v. 466, p. 741-754, 2014.

- MIGUEZ, Marcelo Gomez; VERÓL, Aline Pires; CARNEIRO, Paulo Roberto Ferreira. Sustainable drainage systems: an integrated approach, combining hydraulic engineering design, urban land control and river revitalisation aspects. In Tech, Rio de Janeiro, p. 21-54, 2012. Disponível em: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/30387.pdf>. Acesso em: 22 set. 2021.
- O'CALLAGHAN, Jonh F.; MARK, David M. The extraction of drainage networks from digitalelevation data. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Holanda, n. 28, p. 323-344, 1984.
- SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Drenagem urbana: manual de projeto. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 464 p.
- SILVA, Luciene Pimentel da. Hidrologia: engenharia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- TONELLO, Kelly Cristina et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. Revista Árvore, Viçosa, v. 30, p. 849-857, 2006.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Drenagem urbana. Ciência e Cultura, Campinas, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gestão de águas pluviais urbanas. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gestão da drenagem urbana. Brasília: 2012. 50 p. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48).
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 29-42, 2016.
