

ESPACIALIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS COMO SUBSÍDIO AO CONTROLE DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS

SPACIALIZATION OF RAINWATER AS A SUBSIDY FOR FLOOD CONTROL

HELLEM VICTÓRIA RIBEIRO DOS SANTOS

Graduanda em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás
hellemvsantos@gmail.com

LORENA G. VAZ

Graduada em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás
lorenaengenhariacivil@gmail.com

FELIPE CORRÊA VELOSO DOS SANTOS

Professor Doutor da Pontifícia Universidade Católica de Goiás e da Faculdade Metropolitana
de Anápolis
felipecv Santos@hotmail.com

ELIZON D. NUNES

Professor Doutor da Pontifícia Universidade Católica de Goiás
elizonnunes@hotmail.com

VICTORIA CUNHA FASSIONI

Graduanda em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás
victoria.fassioni.vcf@gmail.com

Resumo: O presente trabalho tem como objetivos analisar o escoamento superficial, a partir de imagens georreferenciadas em alta resolução, bem como a sua variação espaço-temporal e estimar o coeficiente de escoamento superficial (coeficiente C). Utilizou-se, para o geoprocessamento de todas as variáveis que caracterizam a bacia hidrográfica, o software ArcGIS; esta ferramenta de geoprocessamento foi utilizada para obter-se o valor do coeficiente C, fazendo-se uso do Método Racional Modificado. Com os resultados obtidos, observou-se que, ao longo destes 10 anos, não houve aumento no valor máximo do escoamento superficial; porém, houve um aumento nas áreas com maiores valores do coeficiente C e isso foi evidenciado pelas análises da declividade e do comprimento de fluxo, da distribuição e variação espacial, da velocidade, do tempo de concentração e estimativa da vazão. Logo, é importante analisar variáveis da bacia e utilizar medidas mitigadoras para evitar as ocorrências de tais eventos.

Palavras-chaves: Geoprocessamento. ArcGIS. Escoamento Superficial.

Abstract: The present work aims to analyze the runoff, from the georeferenced images at high resolution, as well as their spatiotemporal variation and estimate the surface runoff coefficient (C coefficient). Used for the geoprocessing of all variables that characterize the watershed, or ArcGIS software; this geoprocessing tool was used to obtain the C coefficient value using the Modified Rational Method. With the results obtained, it was observed that, over the last 10 years, there was no increase in the maximum surface runoff value; however, there was an increase in areas with higher C coefficient values and this was evidenced by the analysis of other variables that characterize the basin. Therefore, it is important to analyze a basin characteristic and use mitigation measures to prevent such events from occurring.

Keywords: Geoprocessing. ArcGIS. Surface runoff.

INTRODUÇÃO

Fundada em 1933, a cidade de Goiânia (GO) pode ser considerada jovem e, mesmo contendo um plano diretor, teve seu planejamento interrompido por um crescimento acelerado e desordenado da população, com ocupação irregular em áreas de risco (ÁVILA; OLIVEIRA, 2013).

Tucci (2007) descreve dois tipos de medidas para o controle de inundações, são elas: as medidas estruturais e as medidas não estruturais. A primeira representa as obras de engenharia para o controle de enchentes, visando a correlação e prevenção dos fatos ocorrentes como, por exemplo, barragens, diques e canalização; enquanto a segunda é o conjunto de medidas que proporciona o convívio com as enchentes, reduzindo seus danos e consequências, dentre as quais estão o zoneamento de áreas de inundação, o sistema de alerta ligados à defesa civil e os seguros.

Devido à falta de um planejamento de drenagem urbana, foram destacadas algumas áreas de risco de inundações na Carta de Risco de Goiânia, elaborada em 1991 com orientação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT). Proposta juntamente com o Plano Diretor, teve revisão e detalhamento pelo Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Oeste – ITCO (ITCO, 2008).

Um dos setores ressaltados na Carta de Risco é o setor Bueno, que foi o segundo bairro mais populoso da cidade em 2010, de acordo com dados do Anuário Estatístico de Goiânia de 2013, com população de 39.394 habitantes. É considerado também um dos setores mais nobres de Goiânia, com muitas áreas comerciais e rápidas verticalizações (SEMDUS, 2013).

O processo de urbanização trouxe modificações nas características naturais do solo como a expansão da impermeabilização de sua superfície e a redução da sua capacidade de infiltração, provocando um aumento nas ocorrências de inundações (CHAMPS, 2009).

Segundo Rego e Barros (2014), o setor Bueno foi um dos setores mais afetados com inundações e alagamentos entre os anos 1996 e 2005, com o total de 10 ocorrências neste período e, entre os anos de 2006 e 2010, essa região continuou a registrar ocorrências destes tais eventos.

Segundo Montes (2008), alguns desses eventos foram no ano de 1993, no qual houve, no dia 25 de novembro, uma chuva de intensidade pluviométrica de 20,5 mm.h⁻¹, causando transtornos à população do setor Bueno; no dia 27 de setembro de 2006, uma chuva

de intensidade pluviométrica de $54,5 \text{ mm.h}^{-1}$ foi registrada no setor Marista, inundando a Avenida T-9 na baixada do córrego Vaca Brava; em 04 de janeiro de 2007, uma chuva intensa, provocou forte inundação do córrego Vaca Brava, na Avenida T-9.

O estudo sobre a ocorrência das inundações e alagamentos no setor Bueno, portanto, é necessário para o controle destes fenômenos, além de colaborar para a melhor utilização das medidas estruturais e não estruturais.

Na engenharia civil, o estudo é necessário para identificar uma melhor gestão das águas pluviais e uma otimização das obras de drenagem urbana.

O presente trabalho tem como objetivos analisar o escoamento superficial, a partir de imagens georreferenciadas em alta resolução, bem a sua variação espaço-temporal e, assim, caracterizar a bacia do córrego Vaca Brava e estimar o coeficiente de escoamento superficial (coeficiente C).

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A área de estudo é a bacia do córrego Vaca Brava localizada na região sul de Goiânia, especificamente no setor Bueno, com extensão territorial de aproximadamente $4,12 \text{ km}^2$.

Elaboração dos mapas

Os mapas básicos da bacia em estudo, que serão apresentados ao longo do trabalho, são dos anos de 2006 e 2016, fornecidos pelo município de Goiânia e que foram validados no Sistema de Informação Geográfica ArcGIS sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de $4,79 \text{ m}$.

Estes compreendem a declividade e comprimento de fluxo, distribuição e variação espacial dos coeficientes C, velocidade de escoamento superficial, tempo de concentração e a estimativa de vazão.

Equações e métodos utilizados

Primeiramente, com o mapa de cobertura e uso do solo, declividade e tipo de solo, obteve-se o valor crítico de coeficiente C, na área relativa à bacia em estudo. Por definição, o coeficiente C é a razão entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado (TUCCI, 2000).

Após obter este valor, foi calculada a estimativa de velocidade, utilizando a Equação (1):

$$V_i = C_v \times S_i^{0,5} \quad (1)$$

onde:

- V_i : velocidade de escoamento no segmento considerado ($m.s^{-1}$);
- C_v : coeficiente de escoamento superficial no segmento considerado;
- S_i : declividade média no segmento considerado (%).

Utilizando a da Equação (2) do método cinemático proposta pelo *Soil Conservation Service (SCS)*, calculou-se o tempo de concentração.

$$T_c = \frac{1}{60} \times \sum L_i \times V_i \quad (2)$$

onde:

- T_c : tempo de concentração do escoamento superficial (min);
- L_i : comprimento de cada segmento de vertente (m);
- V_i : velocidade de escoamento em cada segmento de vertente ($m.s^{-1}$).

O próximo passo foi calcular a intensidade máxima de chuva. Utilizando a Equação (3) de chuva desenvolvida por Oliveira *et al.* (2005), já considerando os coeficientes locais de Goiânia ajustados por regressão linear.

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{920,450 \times T_R^{0,1422}}{(t + 12)^{0,7599}} \quad (3)$$

onde:

- $i_{máx}$: intensidade máxima média (mm. h⁻¹);
- t : tempo de duração da precipitação ou tempo de concentração (min);
- T_R : período de retorno (anos).

Como apresenta a Equação (4), fez-se a estimativa de vazão pelo método racional modificado, pelo fato da bacia possuir área com aproximadamente 3 km², multiplicando-se o valor da $Q_{máx}$ por um coeficiente de retardamento (θ) (TUCCI, 1993).

$$Q_{máx} = \frac{CiA}{3,6} \quad (4)$$

onde:

- $Q_{máx}$: vazão máxima do escoamento superficial (m³.s⁻¹);
- C_v : coeficiente de escoamento superficial;
- i : intensidade máxima média da precipitação para uma duração no mínimo igual ao tempo de concentração (mm.h⁻¹);
- A : área da bacia (km²).

O coeficiente θ é estimado através da Equação (5), segundo Euclides (1987):

$$\theta = 0,278 - 0,00034 \times S \quad (5)$$

onde:

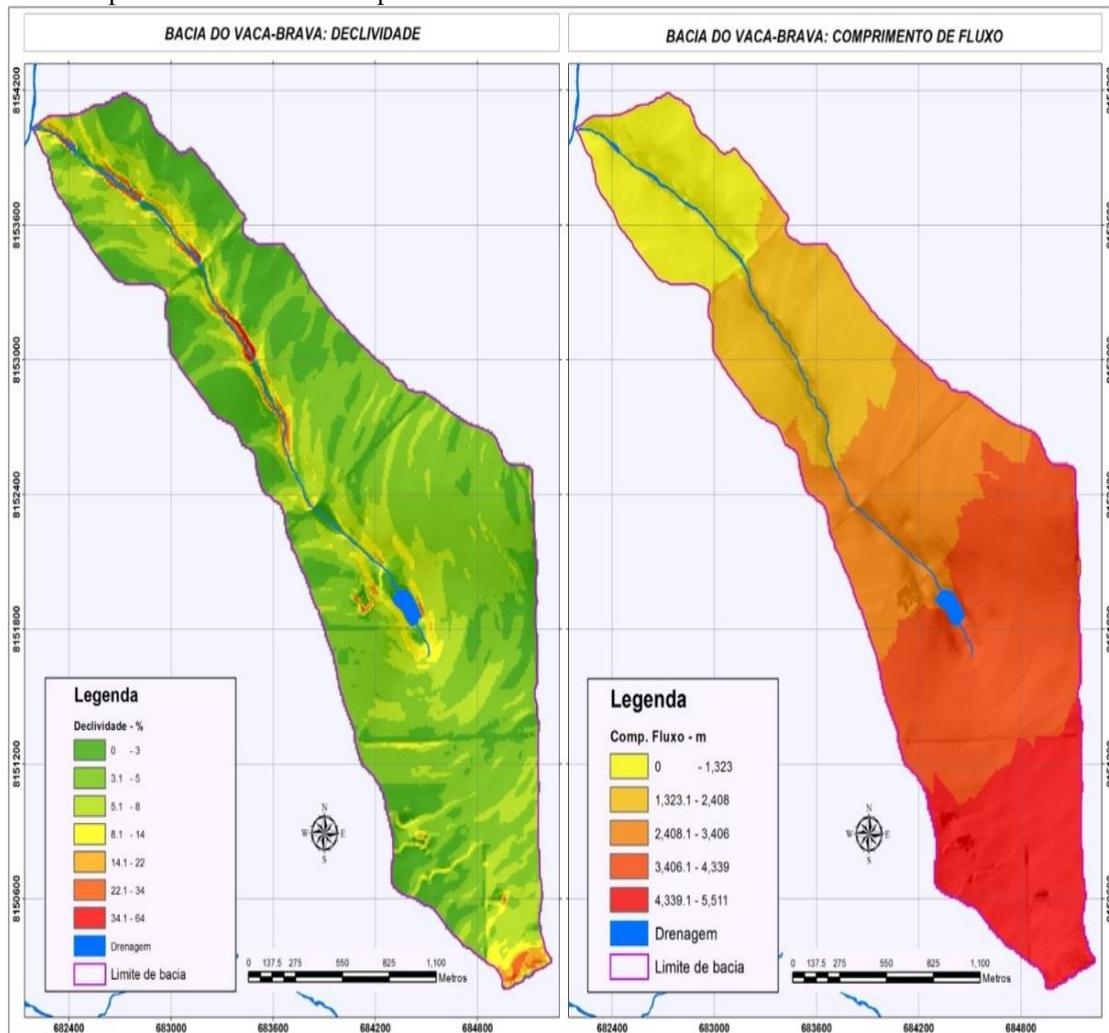
- θ : coeficiente de retardamento do escoamento superficial;
- S : área da bacia (km²).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Declividade e comprimento de fluxo

Na figura 1 estão os mapas de declividade e comprimento de fluxo. O primeiro mapa apresenta sete classes de declividades, variando de 0% a 64%; o segundo, cinco classes de comprimento de fluxo de escoamento superficial, variando de 0 m a 5.511 m.

Figura 1 – Mapas de declividade e comprimento de fluxo.



Fonte: Autores, 2019

As declividades são de baixo valor, exceto onde representa parte do Morro da Serrinha. As declividades de maior valor se concentram em áreas próximas à bacia e em áreas não pertencentes a esta. Tal informação é de grande importância para caracterizar o relevo da bacia e para, juntamente com as próximas variáveis, auxiliar na compreensão do comportamento do escoamento superficial e da capacidade de drenagem da bacia em estudo.

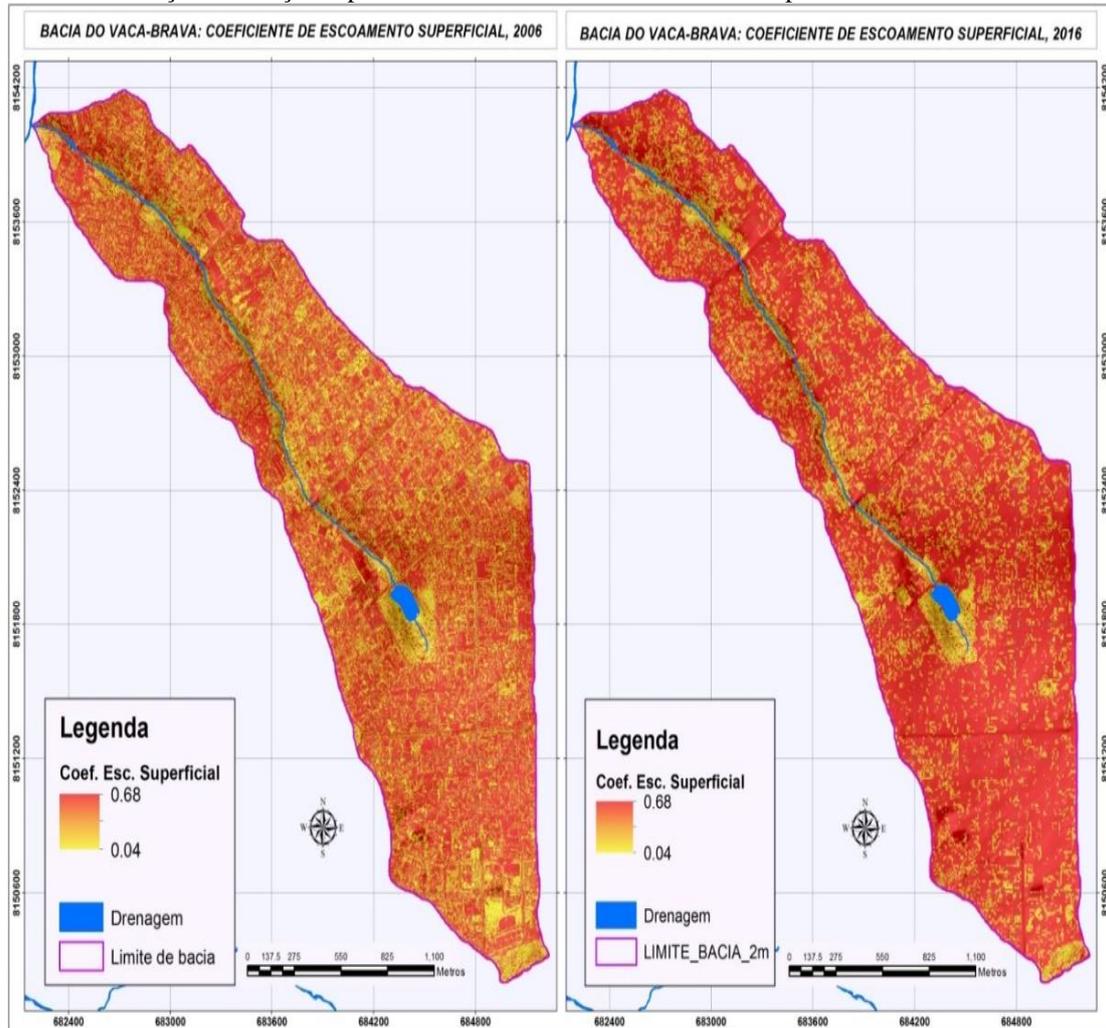
Os comprimentos de fluxo, referentes às distâncias que a precipitação levará para percorrer até o exutório da bacia, são maiores nas áreas de maior declividade.

Distribuição e variação espacial

A figura 2 apresenta a distribuição dos coeficientes C e a variação espacial desse coeficiente na bacia hidrográfica do Córrego Vaca Brava nos anos de 2006 e 2016.

A faixa vermelha representa os maiores valores de coeficiente C, enquanto a faixa laranja representa valores intermediários e a faixa amarela representa os menores valores para este coeficiente.

Figura 2 – Distribuição e variação espacial dos coeficientes de escoamento superficial nos anos de 2006 e 2016.



Fonte: Autores, 2019

Nas áreas próximas ao canal de drenagem estão os coeficientes C de menor valor, explicados pelo fato dessa área ser representada pelo parque Sullivan Silvestre, mais conhecida como Parque Vaca Brava. As outras áreas com coeficiente C de menor valor são áreas em que ainda existem vegetação ou que foram reflorestadas.

Os maiores valores para o coeficiente C encontram-se em áreas edificadas ou impermeabilizadas. Tanto em 2006 quanto em 2016, maior valor encontrado para este coeficiente foi de 0,68.

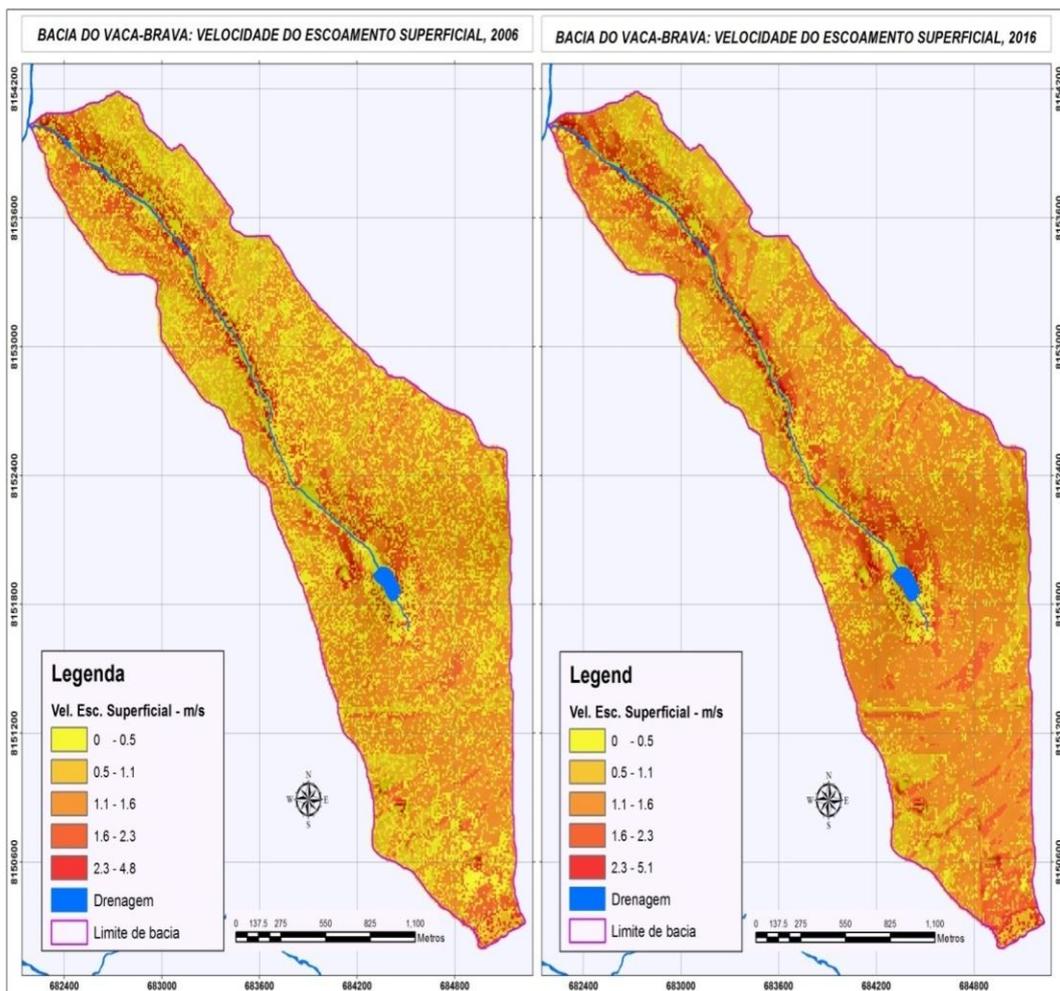
Entretanto, apesar de ambos os anos apresentarem o mesmo valor, a quantidade de áreas com os maiores valores para o coeficiente C aumentou, o que demonstra um adensamento das áreas edificadas ou impermeabilizadas, implicando numa diminuição na quantidade de água que infiltra no solo e consequente escoamento superficial.

Portanto, no ano de 2016, a bacia hidrográfica está mais vulnerável a eventos pluviométricos como os alagamentos e as inundações.

Velocidade

As velocidades de escoamento superficial nos anos de 2006 e 2016 estão contidas na figura 3. Estas estão divididas em cinco classes, variando de 0 a $4,8 \text{ m.s}^{-1}$ e de 0 m/s a $5,1 \text{ m.s}^{-1}$ nos anos 2006 e 2016, respectivamente.

Figura 3 - Velocidade do escoamento superficial nos anos de 2006 e 2016.



Fonte: Autores, 2019

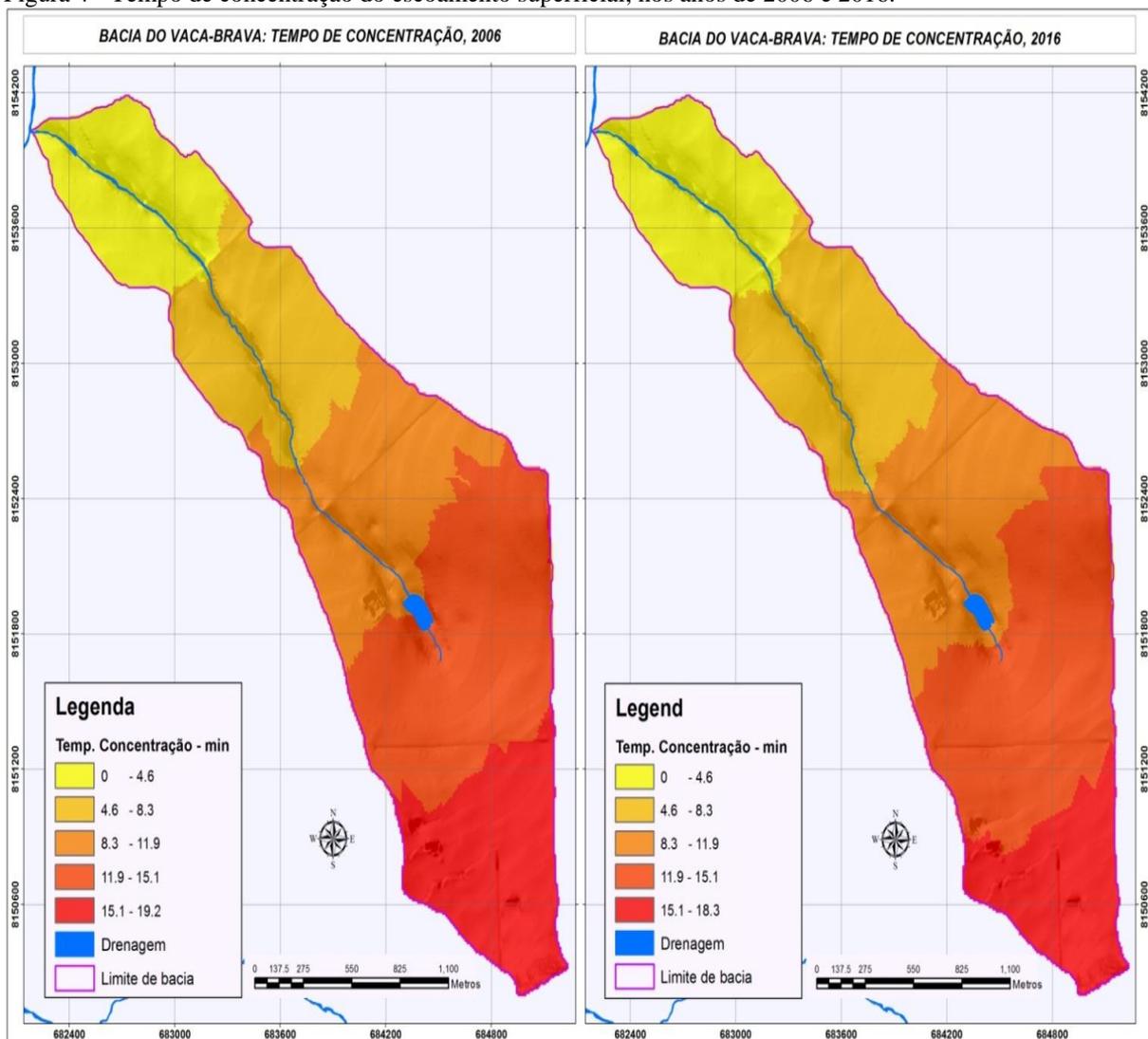
Em 2006, a maior velocidade foi de $4,8 \text{ m.s}^{-1}$, estando as maiores velocidades próximas ao canal de drenagem. Em 2016, as maiores velocidades também se localizavam no canal de drenagem e, ademais, houve um aumento de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ na maior velocidade.

Apesar deste pouco ganho de velocidade, deve-se observar as alterações das classes de cor amarela para as demais no 2016. Ou seja, neste ano, predominou-se as maiores velocidades, o que se deve ao aumento de compactação e impermeabilização do solo.

Tempo de concentração

Na figura 4 estão os tempos de concentração do escoamento superficial. Estes estão divididos em cinco classes, variando de 0 a 19,2 minutos no ano de 2006 e de 0 a 18,3 minutos no ano de 2016.

Figura 4 - Tempo de concentração do escoamento superficial, nos anos de 2006 e 2016.



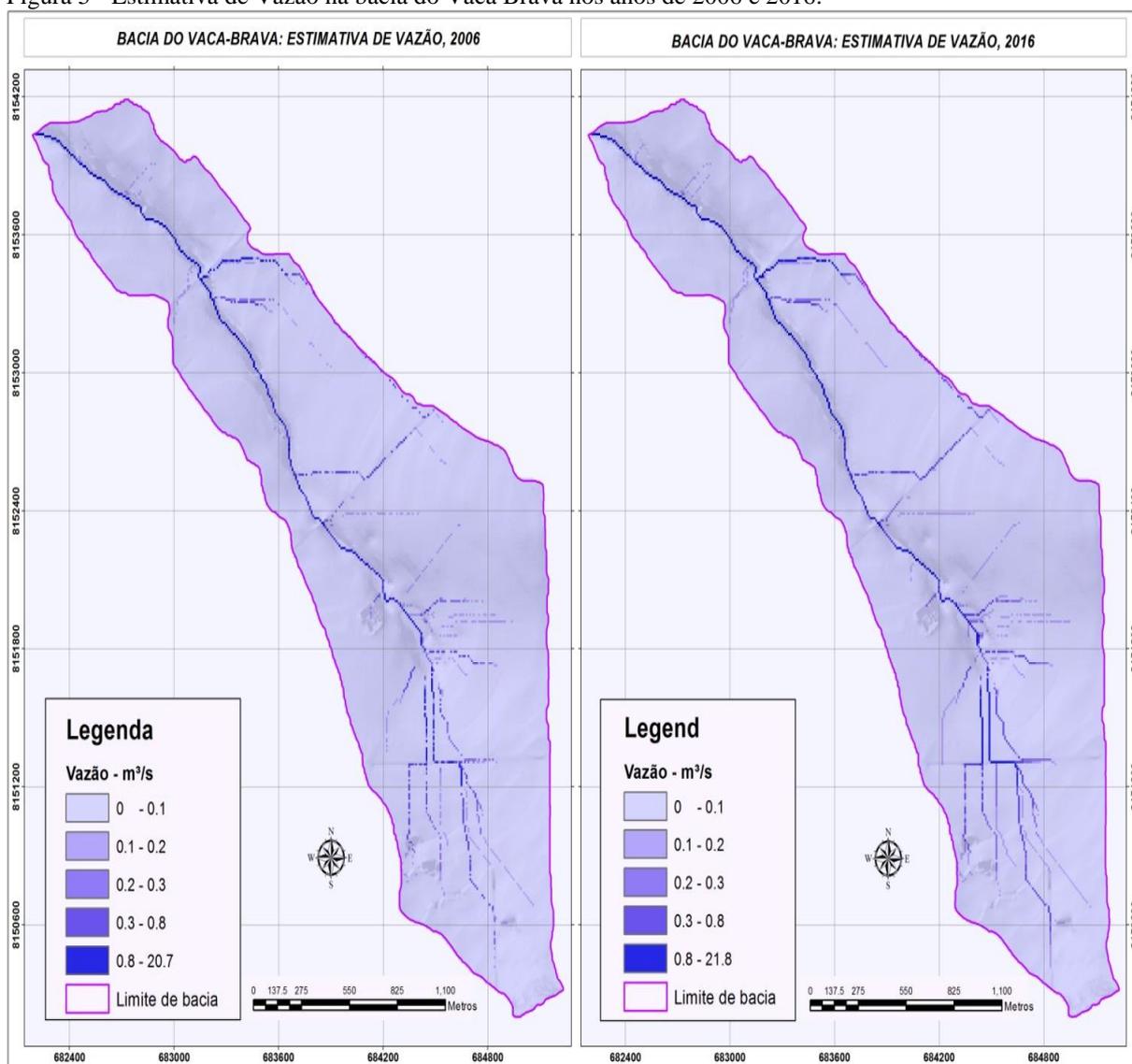
Fonte: Autores, 2019

Pode-se observar que, no ano de 2016, houve uma diminuição de 0,9 minutos no tempo de concentração, o que se deve ao aumento de velocidade, como visto anteriormente. Apesar da pouca diferença no tempo de concentração máximo, ocorreram alterações nas classes de 0 a 4,6 minutos para menores valores no tempo de concentração.

Estimativa de vazão

Na figura 5 está a estimativa de vazão representada em cinco classes, variando de 0 a 20,7 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ em 2006 e de 0 a 21,8 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ em 2016.

Figura 5 - Estimativa de Vazão na bacia do Vaca Brava nos anos de 2006 e 2016.



Fonte: Autores, 2019

Observa-se que o aumento de vazão máxima foi de $1,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. No entanto, em 2016, houve aumento na estimativa de vazão ao longo da bacia, evidenciado por linhas contínuas na faixa de cor azul escuro.

Houve também um incremento nas classes menores, que não se refletiu num maior volume de escoamento superficial no exutório devido a vários fatores, principalmente pela existência do lago no parque Vaca Brava.

Em eventos hidrológicos extremos, de alagamento e inundações, o lago funciona como um grande reservatório de detenção/retenção, concentrando um expressivo volume de água, proveniente do escoamento superficial (MONTES, 2008).

CONCLUSÃO

Durante a utilização das medidas estruturais para controle de inundações como a canalização e construção de diques e barragens deve-se observar os impactos ambientais, sociais e econômicos para que tais medidas sejam uma solução para o problema e não mais um causador deste. Uma vez que tais eventos pluviométricos ocasionam a perda de inúmeros bens materiais e até mesmo deixam diversos moradores desabrigados.

Durante os anos de 2006 e 2016, houve uma redução do tempo de concentração e um aumento do escoamento superficial e um incremento de áreas com valores maiores para o coeficiente C, o que se relaciona com a compactação do solo e com a diminuição da quantidade de água que infiltra no solo devido ao adensamento das áreas edificadas ou impermeabilizadas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. P.; TELES, M. G. L.; LAGO, W. J. S. **Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM**. 2009. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.07.25/doc/4631-4638.pdf>, Acesso em: 02/06/2016.

ÁVILA, W. R.; OLIVEIRA, L. C. N. Uso do Quantum GIS e Google Earth para Delimitação e Análise de Áreas de Preservação Permanentes da Sub-bacia do Córrego Água Branca em Goiânia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu (PR). **Anais...** Foz do Iguaçu: SBSR, INPE, 2013, v. 13, p. 1775-1181. Disponível em: <http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GN4J>, Acesso em: 17/04/2016.

CHAMPS, J. R. Manejo das Águas Pluviais Urbanas: o desafio da integração e da sustentabilidade. In: **Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico**. (Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos). Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA, Brasília, DF, p. 334-344, v. 2, 2009. Disponível em: http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Lei11445_Livro2.pdf#page=95, Acesso em: 07/03/2016.

EUCLYDES, H. P. Saneamento Agrícola e Atenuação de Cheias: metodologia e projeto. **Rural Minas**, Belo Horizonte, 1987. p. 320.

ITCO – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CENTRO OESTE. **Revisão e Detalhamento da Carta de Risco e Planejamento do Meio Físico do Município de Goiânia**. Prefeitura Municipal de Goiânia. Goiânia, GO, 2008. Disponível em: http://www.goiania.go.gov.br/download/aprovnet/Conta_Risco/Relatorio_Carta_Risco_IB.pdf, Acesso em: 10/03/2016.

MONTES, R. M.; LEITE, J. F. A Drenagem Urbana de Águas Pluviais e seus Impactos Cenário Atual da Bacia do Córrego Vaca Brava-Goiânia–GO. **PUC Goiás**, Goiânia, 2008. Disponível em: <http://pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/A%20DRENAGEM%20URBANA%20DE%20C3%81GUAS%20PLUVIAIS%20E%20SEUS%20IMPACTOS%20CEN%20ATUAL%20VACA%20BRAVA.pdf>, Acesso em: 11/11/2016.

OLIVEIRA, L. F. C. *et al.* Intensidade, Duração e Frequência de Chuvas Intensas para Algumas Localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.13-18, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luiz_Oliveira27/publication/237030993_INTENSIDADE-DURAO-FREQUENCIA_DE_CHUVAS_INTENSAS_PARA_LOCALIDADES_NO_ESTADO_DE_GOIS_E_DISTRITO_FEDERAL/links/54200a590cf2218008d43616.pdf, Acesso em: 04/11/2016.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia de Superfície**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

PORTO, R. L. *et al.* Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M., org. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2004.

QUEIROZ, G. R.; FERREIRA, K. R. Tutorial sobre Bancos de Dados Geográficos. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2006. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/eb08/c2baa1a8d44027f5c8fc090376a4543dd30e.pdf>, Acesso em: 02/06/2016.

REGO, T. L.; BARROS, J. R. Alagamentos e Inundações em Goiânia: uma análise a partir da imprensa local e dos registros da defesa civil. **Formação (Online)**, Presidente Prudente, v. 1, n. 21, 2014.

SEMDUS – SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL. **Bairros Mais Populosos – Goiânia - 1991, 2000 e 2010.** 2013. Disponível em: http://www.goiania.go.gov.br/shtml/seplam/anuario2013/_html/d_bairros.html, Acesso em: 07/03/2016.

SILVA, A. P. M.; BARBOSA, A. A. Validação da Função Mancha de Inundação do SPRING. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5499-5505. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.21.46.50>, Acesso em: 02/06/2016.

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T.. **Geoprocessamento e Análise ambiental: aplicações.** Bertrand Brasil, 2004.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres Naturais: conhecer para prevenir. **Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo.** 1^a ed., 2009, p. 196. Disponível em: <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>, Acesso em: 02/05/2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** EDUSP. Editora da UFRGS, ABRH, p.952, 1993.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000. Disponível em: <http://rhama.net/download/artigos/artigo11.pdf>, Acesso em: 14/11/2016.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)**, Porto Alegre, v. 11, 2007, p. 389.