



IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM BACIA OCUPADA POR ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS EM CAMPINA GRANDE

Luma Gabriela Fonseca Alves¹ ; Bervylly Lianne de Farias Santos¹; Maria Eduarda Barbosa da Veiga¹ ; Carlos de Oliveira Galvão¹ & Érica Cristine Medeiros Machado²

RESUMO – A urbanização crescente, desarticulada do planejamento da ocupação do solo, promove um crescimento desordenado com altas taxas de impermeabilização que, aliada à carência de infraestrutura urbana para atender às demandas da população, pode levar a diversos desastres associados à alteração do ciclo hidrológico, como enchentes e inundações. Tal processo põe em risco comunidades em situação de vulnerabilidade socioambiental concentradas em conglomerados urbanos precários que, por vezes, são os principais acometidos pela fragilidade sanitária e pelas sobrecargas do sistema de drenagem. Neste sentido, o presente artigo quantifica, através de uma análise multitemporal entre os anos de 1986 e 2019, os efeitos dessas alterações no uso e ocupação do solo refletidas no escoamento superficial de uma bacia urbana localizada na cidade de Campina Grande, Paraíba, caracterizada pela ocupação de áreas ambientalmente fragilizadas próximas à cursos de água. Utilizando-se da modelagem hidrológica, foi estimado um aumento na vazão superior a 200% para todos os períodos de retorno analisados, sendo mais expressivo para o evento chuvoso com TR=2 anos, no qual a vazão máxima de 2019 foi cinco vezes maior que a observada em 1986.

ABSTRACT– The growing urbanization with lack of land use planning promotes disorderly growth with high impermeabilization rates, which combined with the lack of urban infrastructure to meet the demands of the population, can lead to several disasters associated with alteration of the hydrological cycle, such as floods and inundations. Such a process endangers communities in a situation of socio-environmental vulnerability concentrated in precarious urban conglomerates, which are sometimes the main ones affected by fragile health and overloads of the drainage system. In this sense, this article quantifies, through a multitemporal analysis between the years 1986 and 2019, the effects of these changes in land use and occupation reflected in the surface runoff of an urban basin located in the city of Campina Grande, Paraíba, characterized by occupation of environmentally vulnerable areas close to water courses. Using hydrological modeling, an increase in flow greater than 200% was estimated for all the return periods analyzed, being more expressive for the rainfall event with TR = 2 years, in which the maximum flow of 2019 was five times greater than that observed in 1986.

Palavras-Chave – Urbanização; Escoamento Superficial; Assentamentos Precários.

1) Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Aprígio Veloso 882, Campina Grande, PB, 58429-900, Tel (83) 2101-1461, lumagabriela2010@hotmail.com, bervylly.santos@gmail.com, eduardav83@gmail.com, carlos.galvao@ufcg.edu.br
2) Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Jário Vieira Feitosa S/N, Pombal, PB, 58840-000, Tel (83) 3431-4000, erica@ccta.ufcg.edu.br



INTRODUÇÃO

Em suas condições naturais o ciclo hidrológico é entendido como um sistema em constante equilíbrio dinâmico; porém, o crescimento urbano desordenado acarreta em diversas modificações no comportamento do ciclo, comprometendo a bacia hidrográfica e transformando parte das cidades em áreas de solo impermeabilizado. Dessa forma, as águas da chuva que escoam superficialmente são transportadas e descarregadas de forma muito mais rápida em se comparado a sua condição natural. Tais problemas são gerados, principalmente, pelo modo com que a ocupação da bacia se desenvolve, frequentemente desarticulada do planejamento de uso do solo e com diversas apropriações e construções em terrenos que se caracterizam como áreas de risco, revelando a falta de planejamento, de gestão e de controle municipal e ainda, a ausência de fiscalização na aplicação das legislações nos âmbitos municipal e estadual (Mota, 2008; Barros, 2005; Tucci, 2007). Isto torna-se ainda mais evidente nos assentamentos precários que, no processo de dualização da cidade formal e informal, acabam sendo renegados às áreas mais ambientalmente frágeis do município.

Esse processo desigual de ocupação urbana gera consequências além das alterações no ciclo hidrológico, registradas na oscilação dos níveis de conforto urbano dentro do município, ocasionando transtornos advindos de alagamentos e inundações, dificuldades no tráfego de pessoas e veículos, e disseminação de diversas doenças, que acabam por atingir de forma mais intensa a parcela da população mais vulnerável. Segundo Tucci (2008), esses problemas são consequências de uma visão distorcida do controle por parte dos profissionais e do poder público que, por vezes, ainda priorizam projetos localizados sem visão integrada da bacia e dos aspectos sociais das cidades.

O conhecimento do hidrograma de pré urbanização da bacia é fundamental na escolha de futuras intervenções em drenagem a serem adotadas em áreas urbanas. Neste contexto, como forma de abordar de forma integrada e realista as diversas bacias urbanas, a modelagem hidrológica-hidráulica se mostra como uma ferramenta cada vez mais importante na caracterização e quantificação dos impactos que as ações antrópicas e a urbanização, acelerada e sem planejamento, têm exercido no meio ambiente e nos consequentes processos de escoamento superficial (Santos, 2009).

O presente trabalho analisa, através de uma abordagem multitemporal, o impacto da urbanização e da alteração do uso e ocupação do solo de uma bacia urbana na cidade de Campina Grande, constituída, em sua maioria, por assentamentos precários. Utilizou-se o modelo de simulação *HEC-HMS* para simular o escoamento e as vazões de pico na bacia, visando estimar seus efeitos intensificadores.



METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo, ilustrada na Figura 1, faz parte dos bairros de Bodocongó e Ramadinha, na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, que, nos últimos tempos foi beneficiada por intervenções de micro e macrodrenagem, com a construção do Canal da Ramadinha, cujas obras foram finalizadas em 2014 e totalizam uma extensão de 1,4 km. A bacia de contribuição do canal abrange uma área urbana de 129 hectares, onde cerca de 30% fazem parte de uma das Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) do município. Caracteriza-se por uma ocupação predominantemente residencial, com carência de infraestrutura e equipamentos públicos, bem como pela incidência de loteamentos irregulares e núcleos habitacionais de baixa renda (PMCG, 2006).

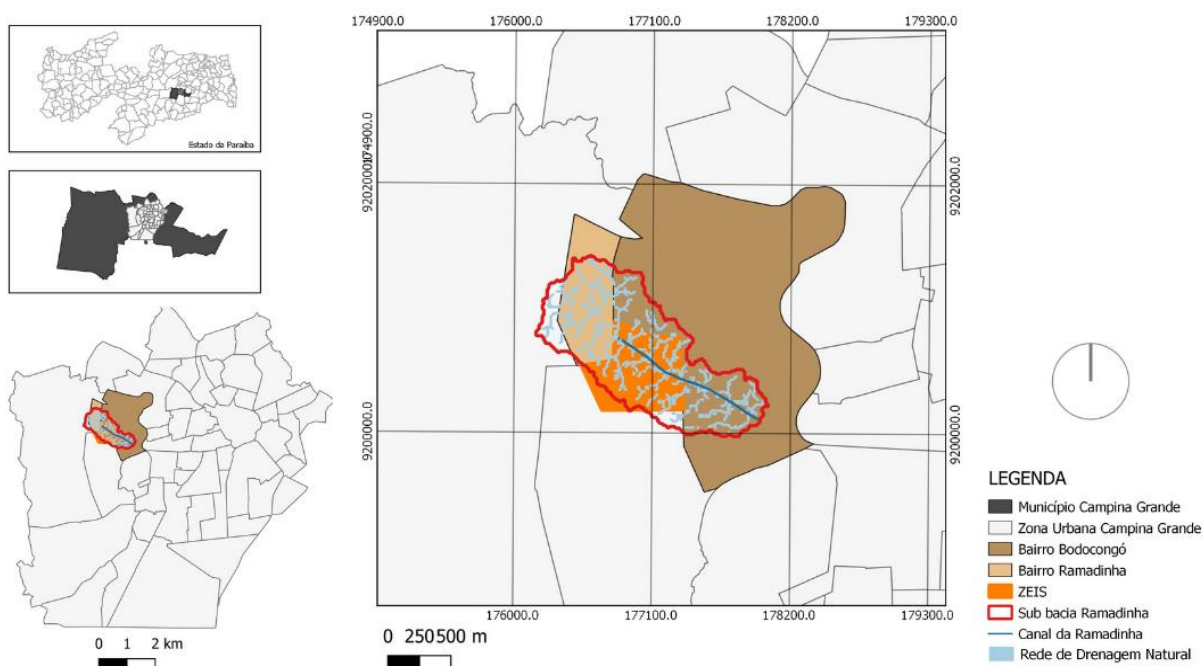


Figura 1 – Localização da bacia de contribuição do canal da Ramadinha

Definição e caracterização dos cenários de urbanização

A fim de compor a análise multitemporal de ocupação da bacia para diferentes cenários de urbanização foram analisados dois períodos distintos da mesma. O primeiro cenário é representado por uma ocupação menos urbanizada e menos impermeável, ano de 1986, enquanto que o segundo corresponde a um período mais recente, o ano de 2019. Mapas de uso e ocupação do solo foram gerados a partir de imagens de satélite obtidas com o auxílio do Google Earth Pro, e processadas no software de geoprocessamento QGis versão 3.10.4. Pela classificação supervisionada das imagens foi



possível analisar o avanço da extensão da mancha urbana que ocorreu neste período de 33 anos entre os cenários (Figura 2).

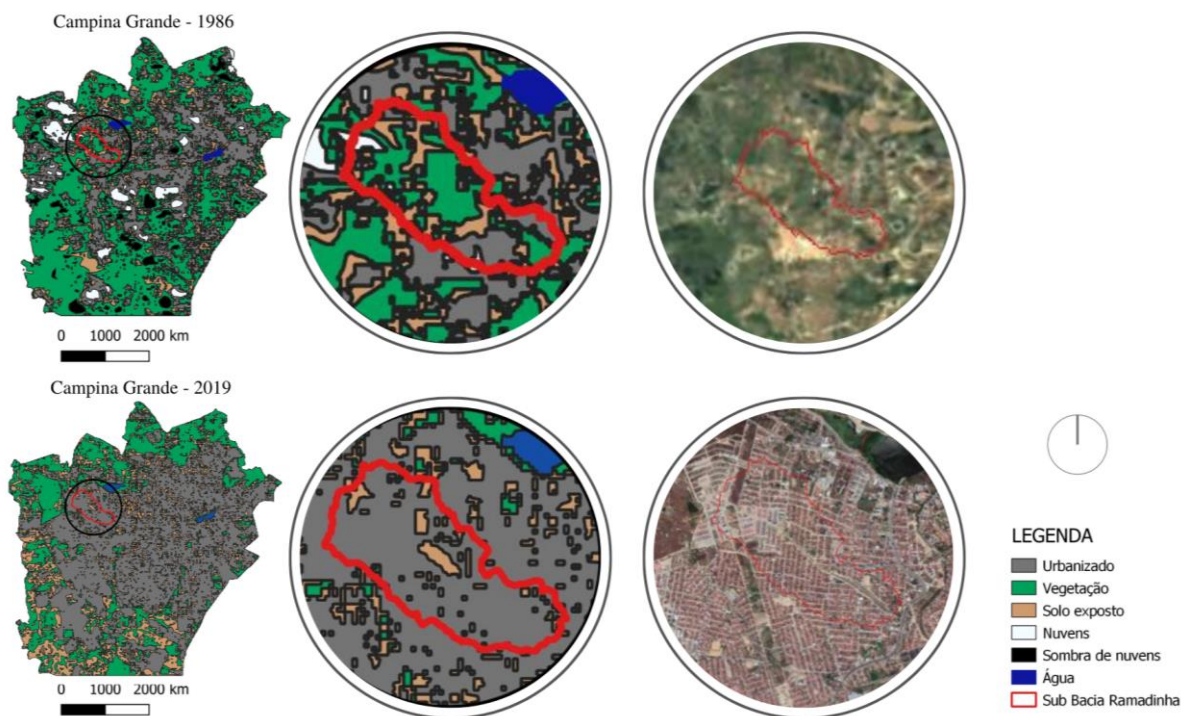


Figura 2 – Cobertura do solo da cidade de Campina Grande para os anos de 1986 e 2019 com enfoque na bacia da Ramadinha

Comparando as imagens da bacia na Figura 2 e pelo conhecimento da área, é possível observar que, no ano de 1986, grande parte era composta por vegetação rasteira e solo exposto, com a parcela urbanizada mais concentrada a jusante. Em 2019, a urbanização crescente na cidade afetou de forma significativa esta área de contribuição do canal da Ramadinha, que se encontra, atualmente, em uma condição urbana totalmente consolidada, com grande extensão de ruas pavimentadas e lotes ocupados de caráter residencial. Além disso, em uma análise mais detalhada do território da bacia em seu cenário atual (Figura 3), percebe-se a irregularidade com que se deu a ocupação da mesma em relação à disposição das suas áreas construídas, fato este que reflete a carência de um planejamento urbano adequado em regiões caracterizadas por assentamentos precários.

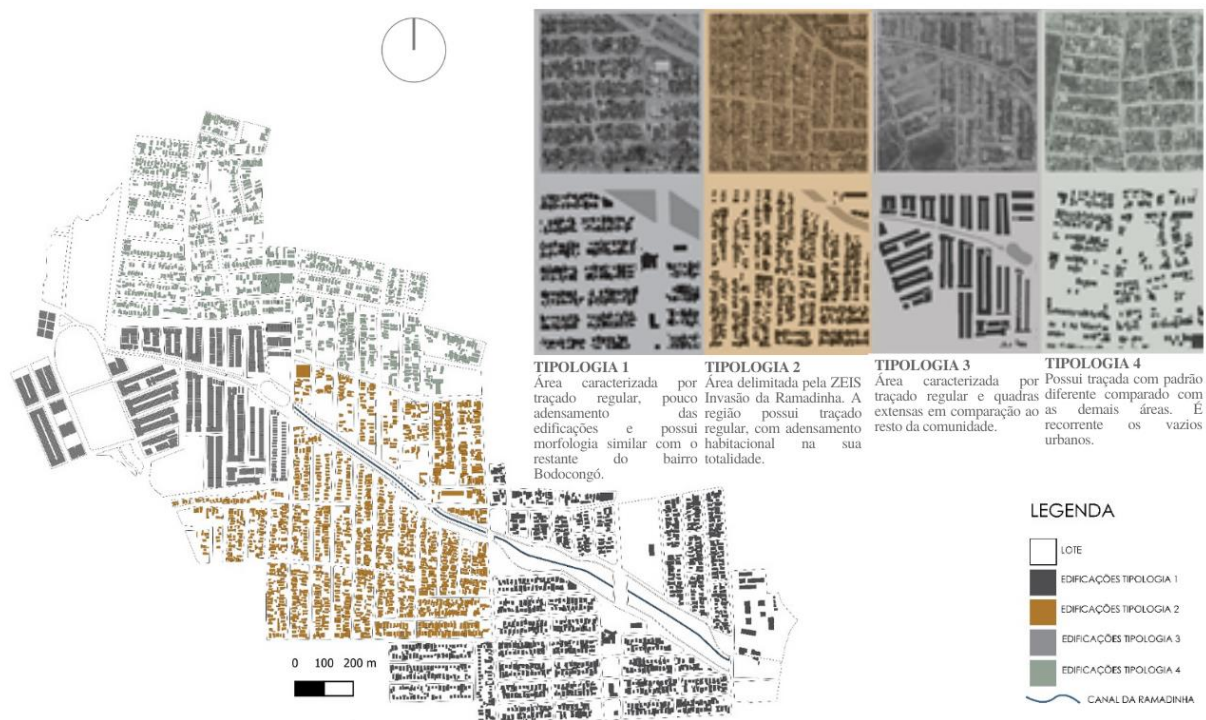


Figura 3 - Tipologias das áreas construídas na bacia

Simulação Hidrológica

As simulações hidrológicas, com o intuito de quantificar o escoamento superficial para ambos os cenários de urbanização, foram realizadas com uso do modelo computacional HEC-HMS, com geração de escoamento pelo modelo do Soil Conservation Service – SCS (SCS, 1964) e propagação de cheias pelo método de Muskingum. Os parâmetros de entrada necessários para o modelo de simulação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros necessários no modelo HEC HMS

Dados de Entrada	Sigla	Unidade
Área	A	Km ²
CN-Curva Número	CN	-
Tempo de concentração	tc	Min.
Comprimento de Talvegue	L	Km
Tempo de Translado	t_t	Min.
Tempo de entrada	t_e	Min.

Fonte: Os autores (2020)

Para permitir um detalhamento das condições de uso e ocupação do solo necessário à representação adequada no modelo, a bacia foi discretizada em 28 sub-bacias. Para ambas as simulações hidrológicas de 1986 e 2019, foram feitas estimativas do parâmetro CN em cada sub-bacia condizentes com os padrões de uso e ocupação do solo observados para cada época. Considerou-



se também, nos trechos de escoamento do cenário de 2019, a influência da construção do canal da Ramadinha, que era inexistente no primeiro cenário. Além disso, o talvegue para a composição das sub-bacias no cenário menos urbanizado seguiu os trechos da rede de drenagem natural, mostrada na Figura 1. Para a situação atual de urbanização consolidada, seguiu-se os arruamentos principais, uma vez que o escoamento das águas pluviais em direção ao canal da Ramadinha ocorre de maneira superficial. Este fato influenciou diretamente nos resultados do tempo de entrada, de traslado e de concentração, calculados através do método da onda cinemática (Barbosa, 1996).

Três eventos de precipitação intensa, associados a diferentes períodos de retorno, foram obtidos por meio da equação da curva IDF proposta para cidade de Campina Grande por Aragão et al. (2000), explicitada na Equação 1.

$$i = \frac{334T^{0,227}}{(t + 5)^{0,595}} \quad (1)$$

onde: i é a intensidade média da chuva máxima (mm/h), T é o período de retorno (anos); e t é a duração da chuva (minutos).

A distribuição temporal dos eventos de projeto foi obtida para os períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos de acordo com as recomendações do manual de drenagem urbana de São Paulo para micro e macrodrenagem (DAEE/CETESB, 1980), com duração de 40 minutos, e passo de tempo a cada 10 minutos (Tabela 2). Os dados encontrados independem das condições de uso e ocupação do solo da bacia e, portanto, os hietogramas para ambas as condições de urbanização são iguais.

Tabela 2 – Dados de precipitação para chuva de projeto com TR de 2, 10 e 25 anos

DURAÇÃO (min)	P (mm)		
	TR25	TR10	TR2
10	7,72	6,27	4,35
20	23,01	18,69	12,97
30	10,93	8,88	6,16
40	6,16	5,00	3,47

Fonte: Os autores (2020)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da delimitação das classes de uso e ocupação do solo mapeadas na Figura 2, foi possível caracterizar o desenvolvimento do processo de urbanização que ocorreu na área para os anos de 1986 e 2019 e estimar as porcentagens de ocupação de cada uso. A partir disso, foi determinado o valor de CN médio de cada sub-bacia (Figura 4), com os valores apresentados por Tucci (2002) e através do modelo SCS (1964). O solo da bacia foi considerado, em sua totalidade, como do grupo B pela



sobreposição da categorização de solos definidos pelo SCS (1964) com a classificação dos solos do Brasil realizada pela EMBRAPA (2006).

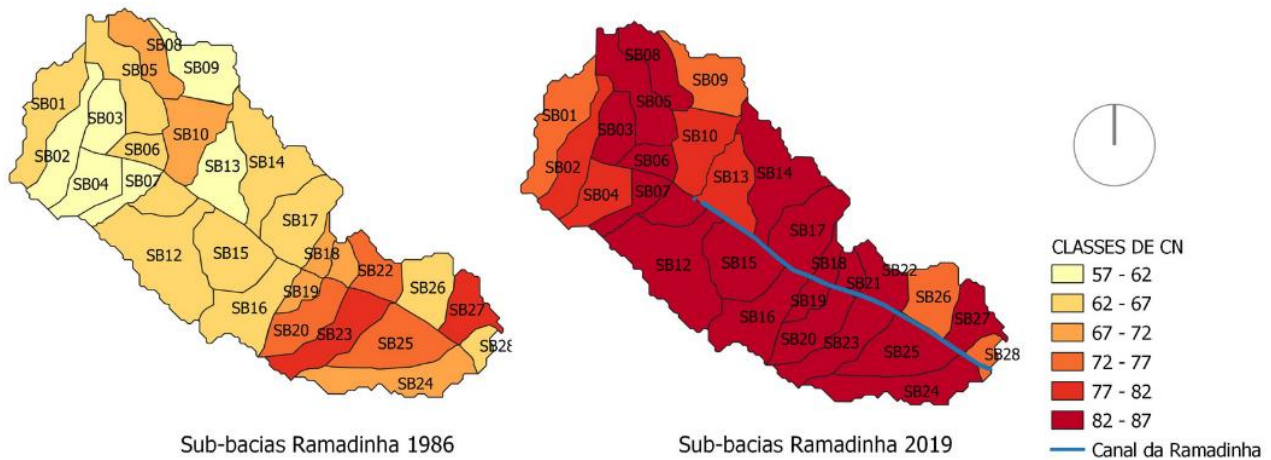


Figura 4 – Intervalos de CN para cada área discretizada em ambos os cenários estudados

Com a análise das imagens de satélite disponíveis para a região, percebeu-se que, em consonância com o avanço da urbanização, as edificações de caráter residencial impermeabilizaram cada vez mais seus terrenos, entrando em desacordo com a porcentagem de áreas permeáveis estabelecida pelo Código de Obras do Município de Campina Grande, que estipula uma porcentagem permeável mínima de 20% por lote construído (PMCG, 2013). Tal prática é comum em bairros que se encontram em Zonas de Recuperação Urbana, como apontam Santos et al. (2017), em estudos feitos para os bairros de Catolé e Sandra Cavalcante do município de Campina Grande.

Com base nestas informações e nos cálculos dos parâmetros de entrada necessários à simulação no HEC-HMS, bem como nos dados dos eventos de precipitação e o do uso e ocupação do solo, foram gerados os hidrogramas no exutório da bacia para o cenário de pré e pós urbanização consolidada (anos de 1986 e 2019, respectivamente), que estão ilustrados na Figura 5. A Tabela 3 apresenta o aumento percentual da vazão de pico e do volume escoado para os diferentes tempos de retorno no exutório da bacia, explicitando as diferenças destas variáveis em ambos os cenários analisados.

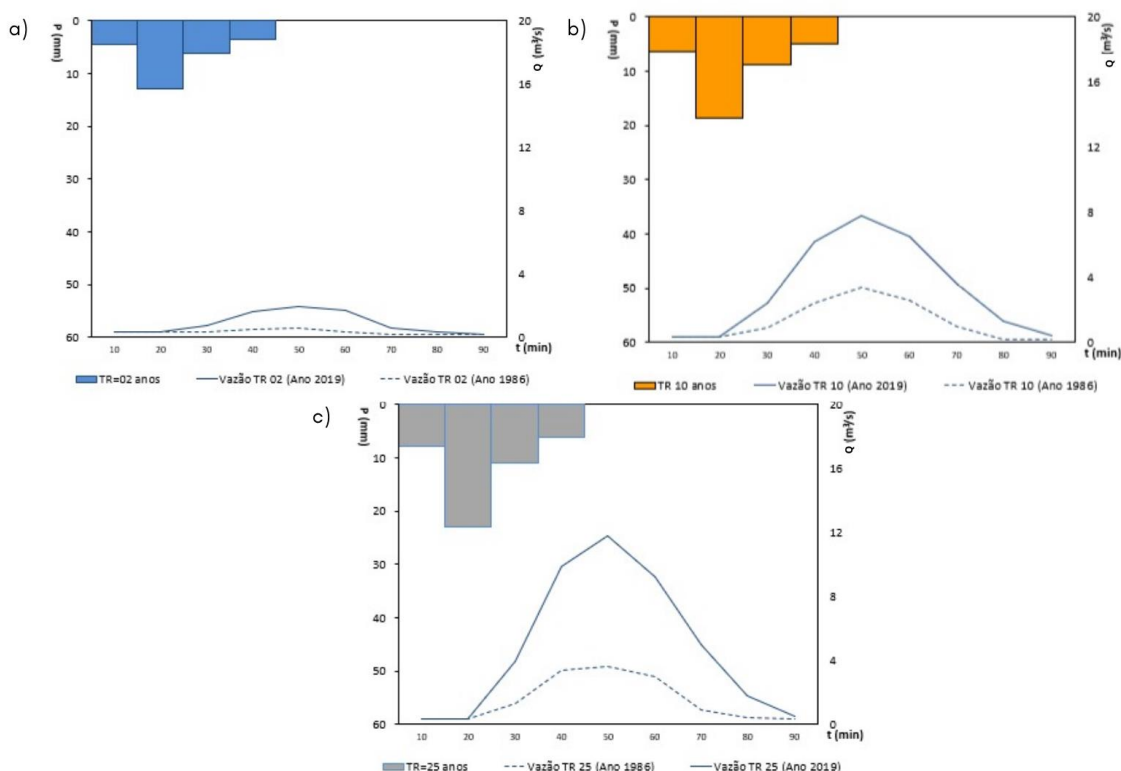


Figura 5 – Hidrogramas dos anos de 1986 e 2019 para os períodos de retorno de 2 anos (a), 10 anos (b), e 25 anos (c)

Tabela 3 – Aumento percentual nas vazões e volume escoado na bacia para os cenários 1986 e 2019.

Tempo de duração		Vazão Máxima
120min		
TR= 02 anos	1986	2100
	2019	7200
	Aumento (%)	243%
TR = 10 anos	1986	4900
	2019	17900
	Aumento (%)	265%
TR=25 anos	1986	8500
	2019	26600
	Aumento (%)	213%

Fonte: Os autores (2020)

Os resultados mostram que a impermeabilização do solo da bacia, advinda principalmente da urbanização através de construções residenciais e pavimentação das vias, levou a um aumento na vazão superior a 200% para todos os períodos de retorno, sendo mais expressivo para o evento chuvoso com TR=2 anos e maior probabilidade de ocorrência, onde a vazão máxima é quase cinco vezes superior ao observado no ano de 1986, dados que se refletem também nos volumes escoados



no exutório da bacia. Tais mudanças implicam, consequentemente, no aumento da vulnerabilidade da população residente na bacia, sobretudo aqueles que ocupam áreas ambientalmente fragilizadas, e próximas ao curso do riacho, que teve a canalização finalizada em 2011 como forma de controlar a ocorrências de inundações na área, mas que acaba por contribuir com o aumento da vazão a jusante.

Silva (2009), analisando as mudanças no uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do riacho Reginaldo na cidade de Maceió, verificou que a vazão do exutório do riacho passou de 32 m³/s na década de 60 para 70 m³/s no ano de 2004, para um tempo de retorno de 2 anos, constatando que uma das maiores causas do aumento se deu pelos padrões de urbanização da bacia, composta majoritariamente por lotes pequenos quase que 100% impermeáveis. Esta situação é bastante similar à ocupação observada na área de estudo do presente artigo.

CONCLUSÕES

As análises presentes neste artigo constataram que a bacia vivencia um forte impacto no seu ciclo hidrológico natural, advindo da urbanização, que aumentou 55% nos últimos 30 anos, levando à redução da infiltração do solo e ao aumento expressivo das vazões escoadas, sobretudo para chuva com período de retorno de 2 anos e, consequentemente, maior probabilidade de ocorrência, que é quase 500% maior para o cenário atual, em comparação com o ano de 1986.

Dessa forma, além das intervenções estruturais já realizadas a fim de mitigar os problemas de inundações, é imprescindível observar as soluções de drenagem através de uma visão holística, integrada à ocupação da malha urbana. Conhecer as mudanças no uso e ocupação do solo, portanto, permite entender o efeito da urbanização no escoamento superficial, sendo importante para estudos voltados à análise da aplicação de técnicas de drenagem efetivas e sustentáveis que visem manter o hidrograma da bacia o mais próximo do seu natural.

AGRADECIMENTOS

Os estudos apresentados neste artigo foram realizados no projeto "A dimensão ambiental e as infraestruturas na urbanização de favelas: concepções de projeto, formas de produção das redes e especificidades dos assentamentos precários", associado ao INCT Observatório das Metrópoles, financiado pelo CNPq e FAPERJ. Os autores são bolsistas CAPES e CNPq. Demóstenes Andrade de Moraes e Eldson Fernandes de Oliveira contribuíram com material e discussões sobre os aspectos urbanísticos do estudo.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S.; GÓIS, R.S.S. (2000). “*Chuvas intensas no Estado da Paraíba*” In: Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, 2, pp. 74-85.
- BARBOSA, L. M. (Coord). (1996). Simpósio sobre Mata Ciliar. In Anais Campinas: Fundação Cargill, 1996. 335p.
- BARROS, M. T. L. (2005). *Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento*. In: PHILIPPI JR, A. Saneamento, saúde e ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole.
- DAEE/CETESB (1980). *Drenagem Urbana* 2 ed., São Paulo, 486 p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.(2006). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. EMBRAPA Solos. 2ª ed. Brasília.
- MOTA, S. (2008). *Gestão ambiental de recursos hídricos*. ABES. 3 ed. Rio de Janeiro.
- PMCG (2006). *Lei Complementar n.º 3, de 9 de outubro de 2006: promove a revisão do Plano Diretor do Município de Campina Grande*. Campina Grande-PB.
- PMCG (2013). *Lei n.º 5.410/13, de 23 de dezembro de 2013: Código de Obras - dispõe sobre o disciplinamento geral e específico dos projetos e execuções de obras e instalações de natureza técnica, estrutural e funcional do município de Campina Grande, alterando a Lei de n.º 4.130/03, e dá outras providências*. Campina Grande. pp. 69.
- SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. (2017). “*Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB.*” Eng. Sanit. Ambient. 22(5), pp. 943-952.
- SANTOS, L.L. (2009). *Modelos Hidráulicos e Hidrológicos: Conceitos e Aplicações*. Revista Brasileira de Geografia Física 2 (3), pp. 01-19.
- SCS-Soil Conservation Service. (1965). *Estimation of direct runoff from storm rainfall*. In: National Engineering Handbook. Section4 – Hydrology. Chapter 10. USDA, Washington D.C.. pp. 1-22..
- SILVA, R. I. J. (2009). “*Evolução da urbanização e seu efeito no escoamento superficial na bacia do riacho Reginaldo Maceió-AL*”. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 90 p.
- TUCCI, C. E. M (2002). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre - RS. Editora da UFRGS/ABRH. 3º ed.
- TUCCI, C. E. M. (2007). *Inundações urbanas*. ABRH/RHAMA. Porto Alegre - RS.
- TUCCI, C.E.M. (2008). *Águas Urbanas. Estudos Avançados*. São Paulo-SP. v. 22, n. 63. p. 99.