

EXPANSÃO URBANA E SEUS IMPACTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA NOS RESIDENCIAIS TORQUATO NETO II, III E IV EM TERESINA, PIAUÍ

João Pedro Marinho Araújo¹
Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque²

Resumo: Os conjuntos habitacionais sempre tiveram significativa importância no combate ao déficit habitacional brasileiro, bem como na expansão da malha urbana de diversas cidades. Contudo, o desenvolvimento da infraestrutura de saneamento não acompanhou o ritmo do processo de edificação marcado pela impermeabilização desenfreada do solo e aterramento dos talwegues naturais, o que alterou o ciclo hidrológico das bacias hidrográficas nas quais estes conjuntos se desenvolveram. De forma similar, os Residenciais Torquato Neto II, III e IV, localizados na região sul do município de Teresina, capital do Piauí, foram implantados de forma dissociada da hidrografia local e como consequência eles são assolados por diversos problemas devido ao aumento dos volumes e da velocidade do escoamento superficial direto, intensificando a magnitude e a frequência dos alagamentos urbanos, retrato também da insuficiência de capacidade dos sistemas de drenagem pluvial. Portanto, considerando sua relevância na prevenção e na fundamentação de estudos ambientais, o presente trabalho dedicou-se a avaliar o processo de ocupação e seus impactos na bacia hidrográfica que drenam os setores destes residenciais. Desta forma, a delimitação da bacia foi realizada através de dados MDE da missão SRTM e, a partir de imagens do satélite *Landsat 8*, avaliando-se a evolução do processo de ocupação no período de dezembro de 2009 a dezembro de 2019. Em seguida, estimou-se a redução do tempo de concentração e o aumento do grau de impermeabilização da bacia através do *Curve Number*. Os testes avaliaram os impactos das alterações separadamente e em conjunto com o escoamento superficial direto, no intuito de observar a relevância de cada parâmetro hidrológico e o efeito composto das modificações na bacia.

Palavras-chave: Expansão urbana, Bacia hidrográfica, Planejamento urbano.

URBAN EXPANSION AND YOURS IMPACTS ON THE WATERSHED BASIN OF TORQUATO NETO RESIDENCIES II, III IV IN TERESINA, PIAUI

Abstract: Housing complexes have always had significant importance in combating the Brazilian housing deficit, as well as in the expansion of the urban fabric of several cities. However, the development of the sanitation infrastructure did not keep pace with the edification process marked by the unbridled waterproofing of the soil and the

¹ Engenheiro Civil e Especialista em Planejamento Urbano e Gestão Socioambiental de Cidades – UFPI. E-mail: jpmarinho8@gmail.com

² Professor Ajunto II do curso de Geografia da Universidade Federal do Piauí – UFPI. E-mail: lindemberg@ufpi.edu.br

grounding of the natural thalwegs, which altered the hydrological cycle of the hydrographic basins in which these groups developed. Similarly, Torquato Neto Residencies II, III and IV, located in the southern region of the city of Teresina, capital of Piauí, were deployed in a way dissociated from the local hydrography and as a consequence they are plagued by several problems due to increased volumes and the speed of the direct runoff, intensifying the magnitude and frequency of urban flooding, a picture also of the insufficient capacity of rainwater drainage systems. Therefore, considering its relevance in the prevention and in the foundation of environmental studies, the present work was dedicated to assess the impacts resulting from the alterations caused in the hydrographic basin that drain the sectors of these residences. In this way, the delineation of the basin was carried out through MDE data from the SRTM mission and, based on images from the Landsat 8 satellite, the evolution of the occupation process from December 2009 to December 2019 was evaluated. It was estimated to reduce the concentration time and increase the degree of waterproofing of the basin through the Curve Number. The tests evaluated the impacts of the changes separately and together with the direct runoff, in order to observe the relevance of each hydrological parameter and the composite effect of the changes in the basin.

Keywords: Urban expansion, Watershed, Urban planning.

INTRODUÇÃO

A revolução industrial trouxe consigo modificações profundas à sociedade, alterando não somente os seus meios de produção, como também a forma de organização socioeconômica dos centros urbanos em escala global. Após atrair para as cidades a mão de obra através do êxodo rural, o processo de especulação imobiliária das áreas centrais deslocou essa população mais humilde para as regiões mais periféricas da cidade, acarretando na expansão da malha urbana.

Neste contexto, no ano de 1930, durante o governo de Getúlio Vargas, o Brasil passou a adotar um novo modelo de planejamento econômico o qual intensificou o processo de industrialização nacional (CARDOSO, 2007). A partir daí, a população urbana brasileira começa a crescer de forma mais acelerada, elevando a necessidade por moradia nos centros urbanos e áreas adjacentes.

A fim de resolver o déficit habitacional decorrente do processo de êxodo rural observado a época, o governo de Dutra em 1946 dá início à política habitacional brasileira, a qual se fortaleceu somente após a criação do Banco Nacional de Habitação (BNH), em 1964, tendo em vista a necessidade de expressivos investimentos nesta área.

Vale mencionar que tal política foi aplicada através da implantação de conjuntos habitacionais nos centros urbanos que, além de buscar minimizar a demanda por moradia, serviu como forma de expandir a malha urbana das cidades, já que os mesmos foram implantados nas zonas periféricas, potencializando a ocupação dos vazios urbanos que se formaram entre os tais conjuntos e as áreas centrais.

A expansão da área urbana, em conjunto com o aumento populacional, exerceu forte pressão sobre as infraestruturas urbanas básicas, marcadas pela insuficiência do atendimento, pela inexistência de serviços básicos e, muitas vezes, pela adoção de soluções ambientalmente condenáveis (LEITE, 2013). Desta forma, o desenvolvimento da infraestrutura de saneamento não acompanhou o ritmo do

processo de urbanização, ocasionando impactos, especialmente, sobre a drenagem urbana (TUCCI, 2008).

De acordo com Damé (2001), o processo de ocupação das cidades brasileiras, marcado pela impermeabilização desenfreada do solo e aterramento dos talvegues naturais, gerou mudanças significativas no ciclo hidrológico das bacias nas quais as cidades se desenvolveram, sobretudo, no viés das águas superficiais e subterrâneas (JUSTINO; MARTINS DE PAULA; PAIVA, 2011).

Além disso, outro agravante é que, no momento de expansão urbana, muitas dessas cidades crescem, em relação às suas bacias hidrográficas, da jusante em direção à montante. Logo, à medida que a montante é impermeabilizada, aumentam-se as vazões escoadas superficialmente à jusante. Ademais, por conta da solução higienista adotada, as águas pluviais da montante são captadas e descarregadas no ponto mais adiante da bacia, apenas transferindo os impactos à jusante e, conseqüentemente, resultando na ineficiência dos dispositivos de drenagem anteriormente implantados, o que, periodicamente, ocasiona custos incrementais para ampliação do sistema de drenagem pluvial da parte à jusante.

Entre os impactos, citam-se os incrementos das solicitações hidrológicas quanto ao aumento dos volumes e das velocidades do escoamento superficial direto, intensificando a magnitude e a frequência dos alagamentos urbanos, resultado também da insuficiência de capacidade dos sistemas de drenagem pluvial em absorver estes incrementos (CANHOLI, 2005).

Para solucionar tal problemática, foi formulada a abordagem compensatória ou ambientalista, a qual possui um enfoque mais sustentável e cuja finalidade é manter a situação de pré-ocupação, ou seja, busca-se mitigar as vazões geradas devido à diminuição da permeabilidade do solo, o mais próximo possível da fonte geradora, utilizando dispositivos de infiltração e amortecimento em reservatórios.

Para tanto, são necessários estudos hidrológicos específicos para avaliar as situações de pré e pós-ocupação, a fim de subsidiar o planejamento urbano sustentável. Para regulamentar seu próprio crescimento, tendo em vistas os problemas de escoamento superficial direto de suas águas pluviais, as cidades passaram a realizar estudos e desenvolver seus Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU).

Essa realidade retratada acima também representa a situação do município de Teresina, capital do estado do Piauí, que se expandiu a partir da construção de diversos conjuntos habitacionais de maneira desassociada da hidrografia local e atualmente enfrenta diversos problemas de alagamentos, produto também das ações do desmatamento indiscriminado (OLIVEIRA; AQUINO, 2015).

Nesta perspectiva, a população dos Conjuntos Residenciais Torquato Neto II, III e IV (1.388 unidades), empreendimentos do Programa “Minha Casa, Minha Vida” caracterizado por ocupação residencial densa, localizado no bairro Portal da Alegria, extremo sul do município de Teresina/PI, sofre com os problemas supramencionados, pois, no momento da implantação dos residenciais, não foram observados os aspectos hidrográficos da região.

Deste modo, o estudo em pauta empenha-se em avaliar o processo de expansão urbana e impermeabilização da bacia hidrológica presente nos Residenciais Torquato Neto II, III e IV, através de imagens do satélite *Landsat 8*, entre o período de dezembro de 2009 a dezembro de 2019, no qual observou-se o aumento da ocupação, bem como, avaliar os impactos dessa urbanização sobre o escoamento superficial direto.

REFERENCIAL TEÓRICO

Diante da proposta em pauta, corrobora-se que a abordagem sistêmica oferece um conjunto sistemático de informações em perspectiva integrada para a compreensão temática, no intuito de nortear o desenvolvimento das investigações ora em análise (RIBEIRO; ALBUQUERQUE, 2019), cujas observações foram fundamentais na compreensão da expansão urbana e nos seus impactos na bacia hidrográfica que drenam os Conjuntos Residenciais Torquato Neto II, III e IV em Teresina, Piauí.

Nesse sentido, o principal conceito dentro do estudo do escoamento superficial é o da bacia hidrográfica, pois ela é o palco em que se desenvolve esta etapa do ciclo hidrológico. Segundo Viessman, Harbaugh e Knapp (1972, p. 22):

A bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída.

De acordo com Ribeiro e Albuquerque (2019), a análise da rede hidrográfica exerce um papel fundamental na compartimentação geomorfológica, pois possibilita gerar informações passíveis de utilização prática. Neste contexto, destacam-se as análises hidrológicas e geomorfológicas, cuja apreciação permite o reconhecimento da espacialidade do sistema quanto às características da área e da rede de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1969).

Em relação ao escoamento superficial da bacia hidrográfica, o hidrograma é uma importante ferramenta, definido como a representação gráfica da variação da vazão em relação ao tempo, ele expressa o comportamento temporal do escoamento gerado. Desta maneira, o formato do hidrograma é influenciado pela duração da chuva, permeabilidade e tempo de concentração da bacia.

O *Curve Number* (CN) é definido, de maneira simplória, como o parâmetro hidrológico que exprime o balanço entre volume precipitado, volume infiltrado e escoamento superficial, ou seja, esse parâmetro demonstra a resposta da bacia hidrográfica frente a um evento chuvoso, logo, esta é a variável que vai refletir o grau de impermeabilidade da bacia (VIESSMAN; HARBAUGH; KNAPP, 1972).

Por sua vez, o tempo de concentração é o parâmetro hidrológico que expressa o tempo de resposta da bacia, significando o intervalo necessário para que cada gota d'água precipitada no ponto mais distante da bacia, através do escoamento superficial, alcance o exutório da mesma, considerando de forma integrada o tamanho dos talwegues e suas inclinações (TUCCI, 2000).

Destarte, o tempo de concentração é fator importante para o comportamento da bacia e a determinação da chuva de projeto, pois, considerando a avaliação do escoamento superficial, a duração da precipitação deve ser, no mínimo, igual ao tempo de concentração da bacia, a fim de considerar a contribuição integral da mesma (FROST, 2006).

Conforme o Plano Diretor de Drenagem de Teresina (2012), o parâmetro hidrológico que caracteriza a chuva de projeto é a intensidade pluviométrica (mm/h), que pode ser entendida como a velocidade de precipitação, relativa ao tempo de retorno (Tr), obtida através de uma análise histórica da frequência dos eventos chuvosos. Quanto à duração da precipitação, esta é definida de acordo com o tempo de concentração da bacia a ser analisada.

METODOLOGIA

O trabalho iniciou-se com a delimitação topográfica da bacia hidrográfica através de dados matriciais MDE (Modelo Digital de Elevação) derivados da SRTM, obtidas no site *Earth Explorer* de posse do Serviço Geológico dos Estados Unidos. Após identificada a área da bacia, foi realizada a caracterização da mesma de acordo com o grau e tipologia de ocupação, em associação aos seus parâmetros hidrográficos (VILLELA; MATTOS, 1975).

Devido ao fato da bacia em questão possuir área superior a 10 km², a metodologia de transformação chuva-vazão usada foi o SCS (*Soil Conservation Service*, 1975) a qual pressupõe que a duração da chuva de projeto seja, aproximadamente, duas vezes o tempo de concentração da bacia. Para tanto, faz-se necessário o levantamento de algumas informações hidrográficas da bacia, dentre as quais, citam-se: tamanho dos talwegues e suas inclinações, tempo de concentração, intensidade pluviométrica e o *Curve Number* (CN).

Em relação ao tempo de concentração, ao longo do tempo, foram formuladas diversas metodologias, na maioria das vezes empíricas, para o cálculo desse parâmetro, variando conforme os dados disponíveis. Desta forma, o Manual de Drenagem de Teresina (2012) traz os requisitos de aplicabilidade das equações (tabela 1), indicando em quais situações cada uma destas melhor se adequa.

Tabela 1. Requisitos de aplicabilidade das equações para cálculo do tempo de concentração

NOME	EQUAÇÃO	APLICABILIDADE			
		Área (km ²)	L(km)	S(%)	Tipo de superfície
SCS Lag	$T_c = 0,057(1000/CN-9)^{0,7}L^{0,8}S^{-0,5}$	< 8,1	-	-	Rural
Vente Chow	$T_c = 0,160L^{0,64}S^{-0,32}$	1,1/19	-	-	Rural
Dooge	$T_c = 0,365A^{0,41}S^{-0,17}$	140/930	-	-	Rural
Corps Engineers	$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$	<12000	<257	<14	Rural
Picking	$T_c = 0,0883L^{0,667}S^{-0,333}$	-	-	-	Rural
George Ribeiro	$T_c = 0,222(1,05)^{-1}LS^{-0,04}$	<19000	<250	1/10	Urbana
Schaake et al	$T_c = 0,0828L^{0,24}S^{-0,16}A_{imp}^{-0,26}$	<0,7	<1,8	<7	Urbana
McCuen et al	$T_c = 2,25i^{-0,7164}L^{0,5552}S^{-0,2070}$	0,4-16	<10	<4	Urbana
Carter	$T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$	<21	<12	<0,5	Urbana
Eagleson	$T_c = 0,274nR^{-0,67}LS^{-0,5}$	<21	-	-	Urbana
Desbordes	$T_c = 0,0869A^{0,3039}S^{-0,3832}A_{imp}^{-0,4523}$	<51	<18	<7	Urbana
Espey-Winslow	$T_c = 0,343 \phi L^{0,29}S^{-0,145}A_{imp}^{-0,6}$	<91	-	-	Urbana
SCS modificado	$T_c = 5,474.(n.L)^{0,8}.P24^{-0,5}.S^{-0,4}$	-	<0,20	-	Urbana

Fonte: Manual de Drenagem de Teresina (2012).

Neste trabalho, de acordo com informações disponíveis da bacia, para o cálculo do tempo de concentração, foi usada a equação de Desbordes (Manual de Drenagem, 2012), por se tratar de uma bacia urbana, estando compatível com os requisitos do Manual de Drenagem de Teresina (2012), conforme a equação 1:

$$tc = \frac{0,0869 \times A^{0,3039}}{S^{0,3832} \times Aimp^{0,4523}}$$

Em que: tc é o tempo de concentração em minutos; A é a área de drenagem em km^2 ; S é a declividade (m/m); $Aimp$ é a fração de área impermeável.

Para caracterizar a precipitação da área em estudo, foi adotada, neste trabalho, a seguinte equação IDF (equação 2) que caracteriza as chuvas de Teresina/PI, definida no PDDrU/THE (2012) e obtida através de estudo hidrológico específico realizado pela CONCREMAT (2012).

$$i = \frac{1194,273 \times Tr^{0,1738}}{(d + 10)^{0,7457}}$$

Sendo i a intensidade pluviométrica em mm/h, Tr o tempo de recorrência da precipitação em anos e d a duração da tormenta em minutos.

Em relação ao tempo de recorrência ou tempo de retorno, seguiram-se as recomendações do Manual de Drenagem de Teresina (2012) expressas na tabela 2. Por tratar-se de uma avaliação ao nível de Macrodrenagem, adotou-se o tempo de retorno de 10 anos.

Tabela 2. Período de recorrência para projetos de drenagem urbana

SISTEMA	CARACTERÍSTICA	INTERVALO TR (ANOS)	VALOR FREQUENTE (ANOS)
Microdrenagem	Residencial	2 – 5	2
	Comercial	2 – 5	5
	Áreas de prédios públicos	2 – 5	5
	Aeroporto	5 – 10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5 – 10	10
Macrodrenagem		10 - 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	100*

* limite da área de regulamentação

Fonte: Manual de Drenagem de Teresina (2012).

Quanto à duração da precipitação, o Manual de Drenagem de Teresina (2012) indica que seja adotado duas vezes o tempo de concentração da bacia. Em relação à distribuição temporal da chuva, visualizada através de hietograma, usou-se o método de Huff, adotando os coeficientes do primeiro quartil com 50% de probabilidade de excedência, mais usual para o tipo de precipitação presente neste estudo. Quanto ao intervalo de tempo da discretização da simulação (Δt), adotou-se $\Delta t \leq tc/5$, conforme recomendação do Manual de Drenagem de Teresina (2012).

Por sua vez, a construção dos hidrogramas da bacia, para os períodos de dezembro de 2009 e dezembro de 2019, através da metodologia SCS, contou com auxílio do software SWMM (*Storm Water Management Model*) versão 5.0 da EPA, o qual utiliza uma modelagem hidrodinâmica para estimar a propagação da onda de cheia do escoamento superficial.

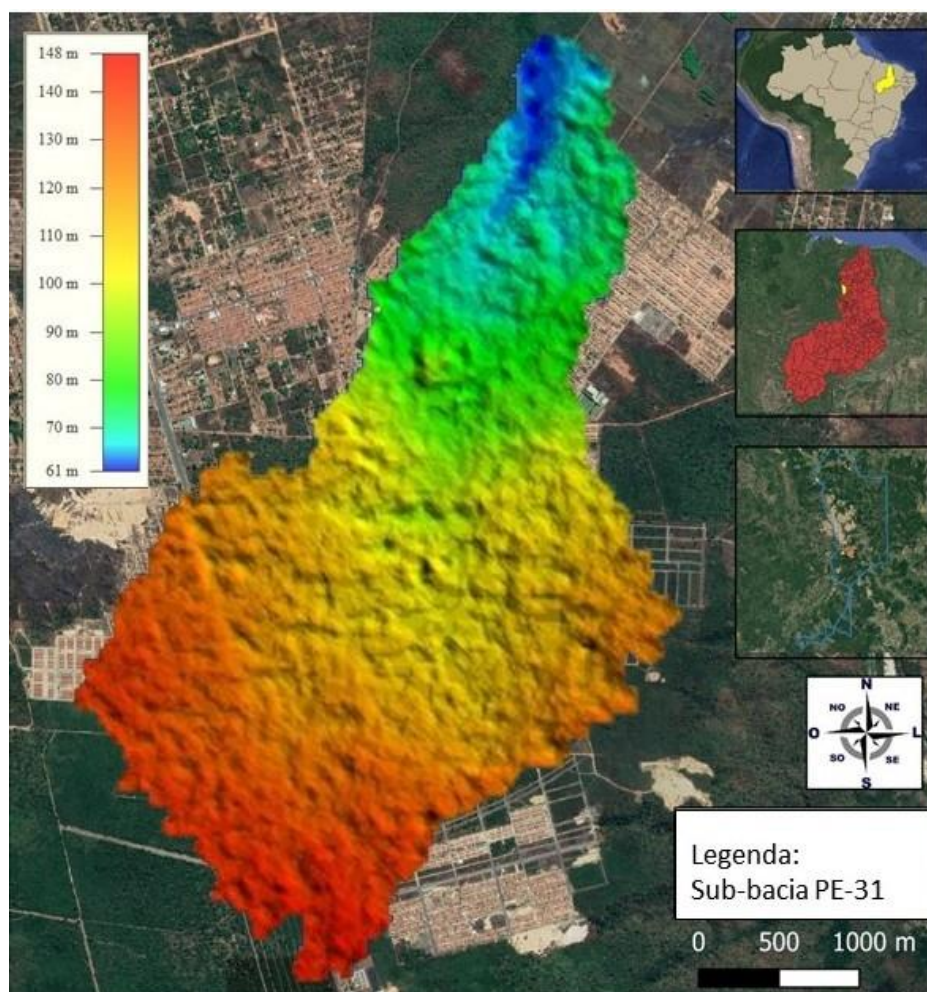
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os Conjuntos Residenciais Torquato Neto II, III e IV encontram-se localizados na parte à jusante da Sub-bacia PE-31, assim determinada no PDDrU/THE - Plano Diretor Drenagem Urbana de Teresina (2012).

Conforme a Minuta do Relatório Final do Estudo e projeto de manejo de águas pluviais da região, elaborado pelo consórcio Hydros/Engecor em outubro de 2017, a área dessa bacia vem passando nos últimos anos por um processo acelerado de expansão urbana, tanto referente à implantação de empreendimentos comerciais e industriais de médio e grande porte no Polo Empresarial Sul, quanto à implantação de diversos empreendimentos residenciais, como é o caso dos Residenciais Portal da Alegria III, IV e V (3.598 unidades habitacionais), Jardim dos Ipês (720 unidades), Jardins Caneleiro (1.296 unidades) e Angico (1.296 unidades), todos à montante dos Residenciais Torquato Neto II, III e IV que sofrem as consequências imediatas do aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial das águas pluviais da bacia.

A bacia hidrográfica na qual os residenciais se encontram, localizada no extremo sul da sede municipal de Teresina, parcialmente inserida em seu perímetro urbano, possui 10,386 km² de área, conforme se observa na figura 1.

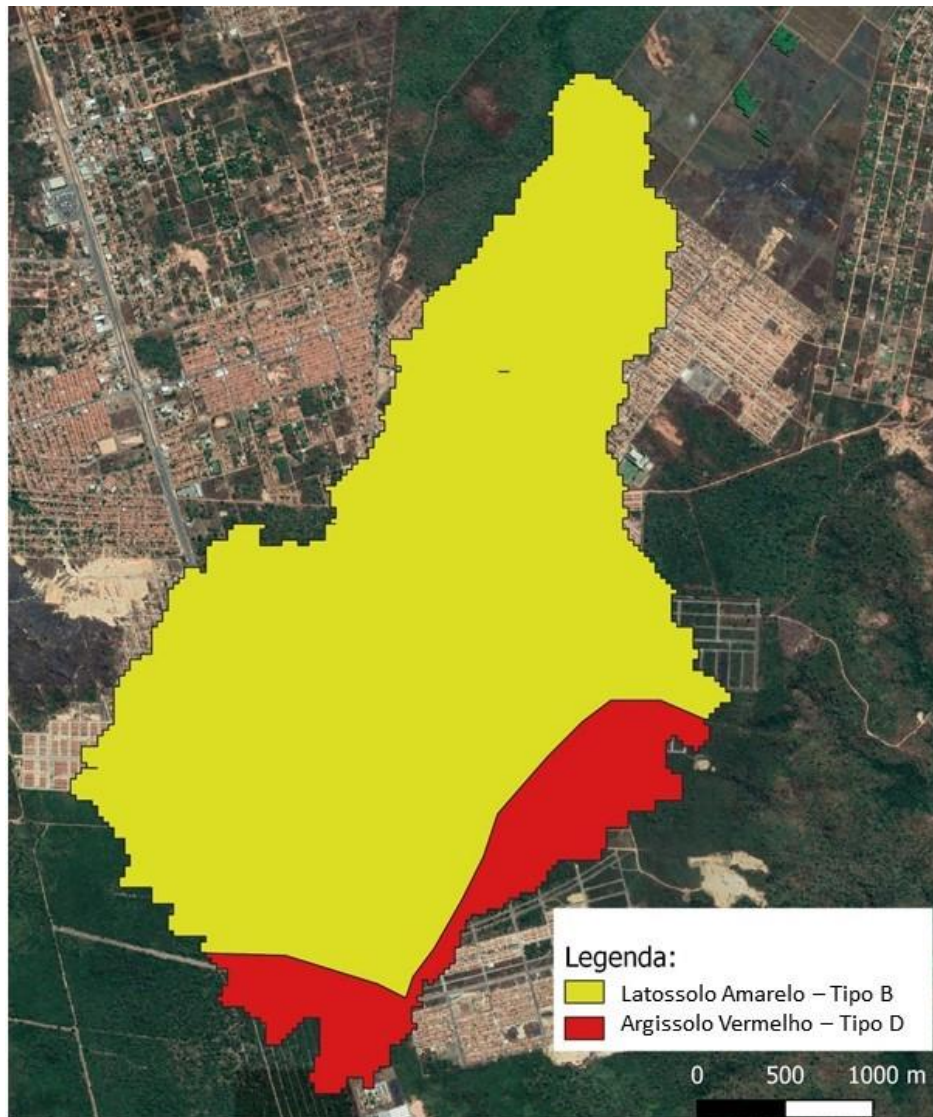
Figura 1. Localização da Sub-bacia PE-31, município de Teresina, estado do Piauí



Fonte: Autores (2020).

Para definir o *Curve Number* necessitou-se, primeiramente, identificar os tipos de solo da região. Para tanto, foi usado o mapa pedológico presente no Plano Diretor de Drenagem de Teresina/PI (2012), observando assim a caracterização hidrológica do solo conforme a figura 2.

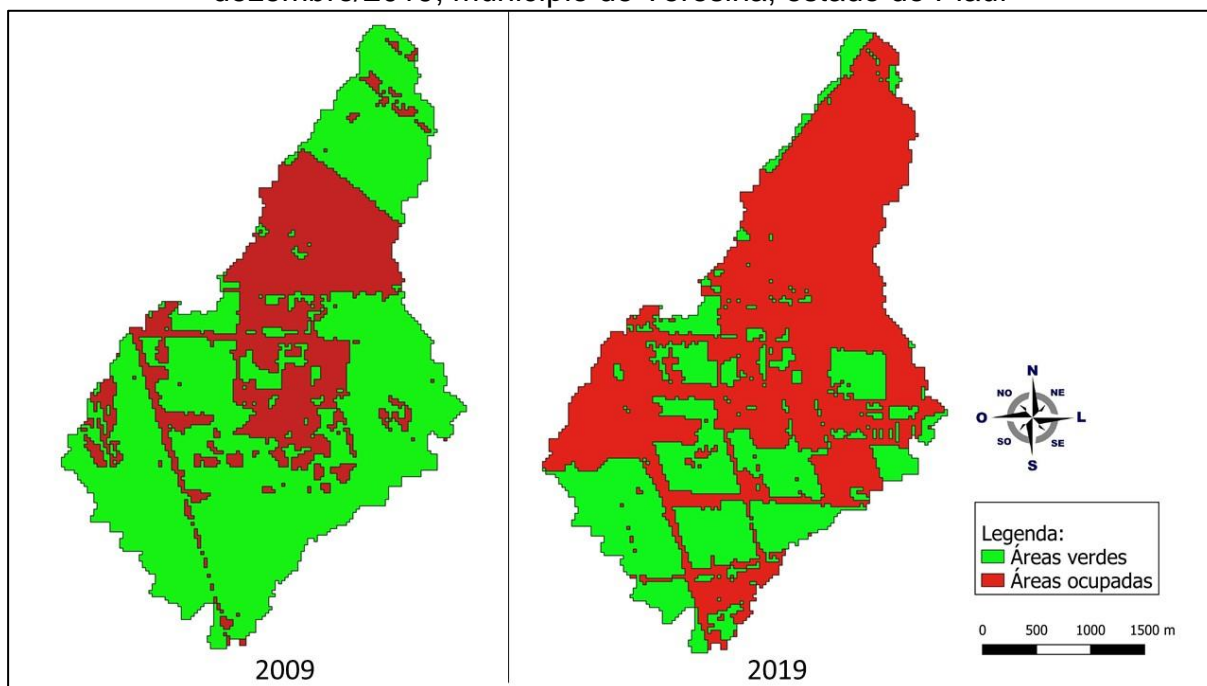
Figura 2. Distribuição da pedologia na Sub-bacia PE-31, município de Teresina, estado do Piauí



Fonte: Autores (2020).

Outra informação necessária para a definição do CN foi o tipo e quantidade de ocupação do solo. Esta informação foi obtida através da classificação supervisionada de uma cena do satélite *Landsat 8*, e processada com o auxílio do *software* QGIS versão 3.6.3, cujo produto é retratado na figura 3.

Figura 3. Evolução da ocupação na sub-bacia PE-31 entre dezembro/2009 e dezembro/2019, município de Teresina, estado do Piauí



Fonte: Autores (2020).

Ao cruzar as informações dos mapas (figuras 1 e 2), com a grau de ocupação (figura 3), encontrou-se os CNs ponderados da bacia para dezembro de 2009 e dezembro de 2019, conforme é apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Cálculo do CN através de ponderação na sub-bacia PE-31 entre dezembro/2009 e dezembro/2019, município de Teresina, estado do Piauí

Ano	Tipo de solo				CN ponderado
	B			D	
	Resid.	Indust.	Verde	Ocupação Verde	
Dez/2009	30,34%	1,26%	58,39%	10,01%	70,52
Dez/2019	48,66%	11,84%	29,49%	10,01%	77,78

Fonte: Autores (2020).

Definido o parâmetro de permeabilidade do solo, seguiu-se para a estimativa do tempo de concentração da bacia. Conforme descrito na metodologia, a estimativa deste parâmetro hidrográfico foi realizada através da equação de Desbordes. Como tal equacionamento usa a área impermeável como variável de cálculo, o tempo de concentração da bacia se alterou a medida que a mesma foi sendo impermeabilizada, como pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4. Estimativa dos tempos de concentração para os anos de 2009 e 2019 na sub-bacia PE-31, município de Teresina, estado do Piauí

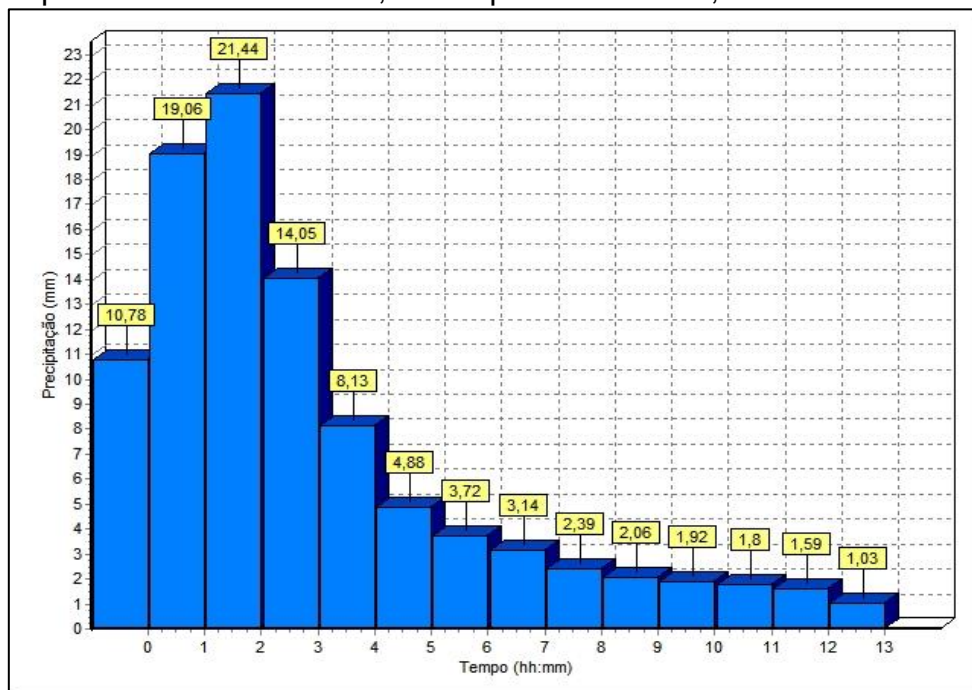
Ano	Área (Km ²)	Aimp	L (m)	Cota			Tc (min)
				Máxima	Mínima	S(m/m)	
2009	10,386	0,316	6.078	155	60	0,0156	63,02
2019	10,386	0,605	6.078	155	60	0,0156	46,98

Fonte: Autores (2020).

Embora sendo influenciado pelo tempo de concentração, o evento chuvoso foi padronizado de forma a não interferir nos cálculos. Assim, adotou-se como base o tempo de retorno de 10 anos, conforme exposto na metodologia, e, quanto à duração da precipitação, foi adotado o valor de duas vezes o maior tempo de concentração encontrado (63 minutos). Sendo assim, usou-se 126 minutos de duração de chuva. Ao aplicar os parâmetros na equação IDF, encontrou-se a intensidade pluviométrica de 45,70 mm/h.

Quanto à discretização da chuva (Δt), para padronizar, considerou-se um quinto do menor tempo de concentração encontrado (aproximadamente 47 minutos), logo o Δt usado foi de 9 minutos. Desta forma, o hietograma possui as características conforme a figura 4.

Figura 4. Hietograma da precipitação de projeto (visualização pelo software ABC 6), para a sub-bacia PE-31, município de Teresina, estado do Piauí



Fonte: Autores (2020).

O hietograma demonstra que a chuva de projeto inicia-se com intensidade moderada, com 10,78 mm acumulados nos primeiros 9 minutos, e alcança o pico de 21,44 mm precipitados no intervalo entre 18 a 27 minutos. Em seguida, o evento chuvoso diminui gradualmente até cessar por completo após os 126 minutos.

De posse dos dados obtidos, estimou-se a evolução das vazões escoadas na bacia frente à evolução da ocupação, através da metodologia *Soil Conservation*

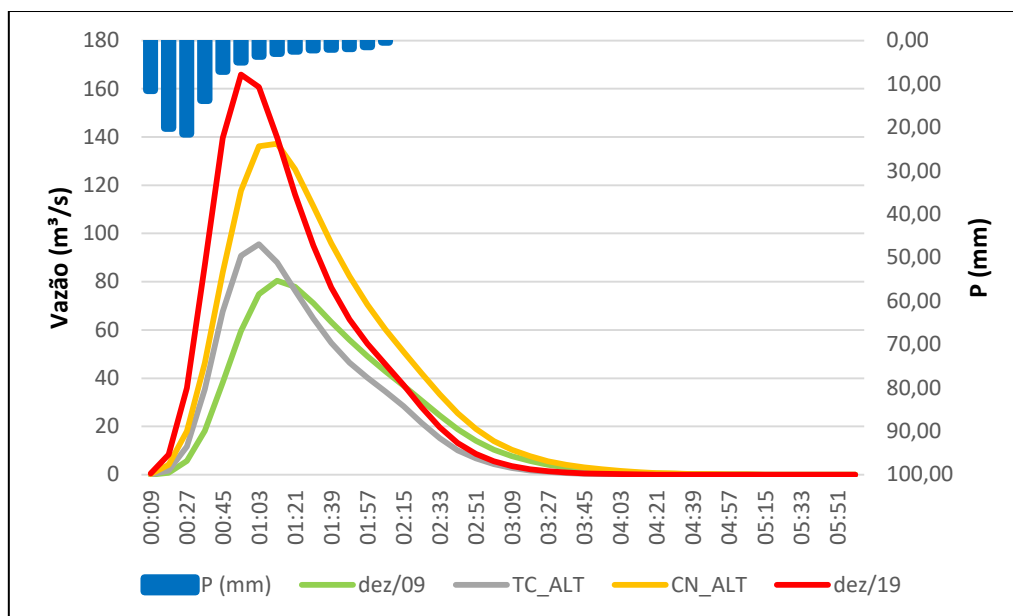
Service (SCS, 1975). Observou-se os impactos da alteração dos parâmetros hidrológicos da bacia (tempo de concentração e CN), fruto da expansão urbana, sobre a magnitude do escoamento superficial direto, expresso através da vazão máxima da bacia hidrográfica (Tabela 5), considerando o mesmo evento chuvoso. Desta maneira, foram gerados os hidrogramas de dezembro de 2009 e dezembro de 2019 (Figura 5) e os hidrogramas de acordo com as alterações do t_c e do CN.

Tabela 5. Vazões Máximas dos Hidrogramas para a sub-bacia PE-31, município de Teresina, estado do Piauí

	Dez/09	Tc alterado	CN alterado	Dez/19
$Q_{\text{máx}}$ (m ³ /s)	80,81	96,39	138,25	165,83

Fonte: Autores (2020).

Figura 5. Comparativo dos hidrogramas para a sub-bacia PE-31, município de Teresina, estado do Piauí



Fonte: Autores (2020).

Constata-se que a primeira análise, relativa às condições da bacia em dezembro de 2009, considerou os parâmetros t_c de 63,02 min e CN de 70,52, de forma que a vazão máxima da bacia, quanto à precipitação de projeto foi de 45,70 mm/h, totalizando 80,81 m³/s.

Para a segunda análise, manteve-se o valor do CN e usou-se o t_c de 46,98 minutos, observando a relevância da diminuição do tempo de concentração sobre o escoamento. Como resultado obtido, tem-se que a vazão máxima da bacia chegou a 96,39 m³/s.

Ao contrário da segunda análise, a terceira verificação buscou identificar os efeitos da impermeabilização isoladamente. Desta forma, considerou o t_c da primeira análise e o CN de 77,78, resultando em 138,25 m³/s de vazão máxima.

A quarta e última análise, foi baseada completamente nos dados relativos a dezembro de 2019, avaliando então o efeito composto da redução do tempo de

concentração e o acréscimo de área impermeabilizada, ou seja, t_c de 46,98 min e CN de 77,78, a vazão máxima encontrada foi de 165,83 m³/s.

Ao analisar os resultados obtidos, nota-se que o aumento da velocidade de reação da bacia hidrográfica, fruto da redução do tempo de concentração, proporcionou o aumento da vazão em 19,28%. Enquanto que o aumento do CN, indicando o aumento do volume escoado superficialmente, resultou num acréscimo de 71,08% em relação à vazão de 2009. Ao somar os resultados das alterações isoladas, encontra-se 90,36% de aumento. Entretanto, considerando o cenário de dezembro de 2019 no qual houve a alteração o t_c e do CN, é notório que a vazão máxima da bacia subiu 105,21%, ou seja, observou-se que os parâmetros hidrológicos se inter-relacionam sinergicamente, demonstrando que o efeito composto do conjunto é maior que a soma das partes isoladas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme retratado neste estudo, historicamente, os conjuntos habitacionais subvencionados pelo poder público tiveram significativa importância na expansão da malha urbana de diversas cidades brasileiras, tornando-se propaganda de uma política habitacional desenvolvimentista.

Quanto ao planejamento ambiental, no entanto, não foram realizados estudos aprofundados em relação aos impactos que tais empreendimentos pudessem causar, como constatado no município de Teresina, estado do Piauí. Ademais, a preocupação de ordem financeira sempre teve destaque sobre as questões ambientais de forma que foram adotadas práticas ambientalmente inadequadas.

Como reflexo da negligência relativa à hidrografia local, os conjuntos habitacionais como os Residenciais Torquato Neto II, III e IV, que alteraram o comportamento de suas bacias hidrográficas, sofrem continuamente com o aumento do escoamento superficial direto, que em decorrência do efeito composto, tiveram maximizados os impactos. Além disso, após implantado, os custos e os transtornos, para se executar um sistema de drenagem com capacidade para suportar o aumento das vazões, crescem significativamente.

Desta maneira, o planejamento urbano não deve proceder de forma dissociada à natureza, pois essa problemática ambiental torna-se também social à medida que traz para a população local diversos transtornos e prejudica a habitabilidade dos conjuntos habitacionais, os quais são destinados primordialmente à população economicamente mais vulnerável.

À luz da visão socioambiental, o planejamento urbano sustentável deve ser pensado de forma integrada com a natureza e seus cidadãos, com soluções projetuais inteligentes de forma que minimize as interferências no meio ambiente e os impactos ambientais gerados sejam mitigados.

REFERÊNCIAS

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARDOSO, L. **Transporte público, acessibilidade urbana e desigualdades socioespaciais na região Metropolitana de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfologia**, Campinas, v.18, n. 9, p. 35-64, 1969.

DAMÉ, R. C. F. **Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas Intensidade-Duração-Frequência**. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2001.

EPA (Environmental Protection Agency 440/5-87-001). **Methodology for analysis of detention basins for control of urban runoff quality**. Washington, 1985.

FROST, W. H. Minor loss coefficients for storm drain modeling with SWMM. **Journal of Water Management Modelling**, R225-23, p. 517 – 546, fev/2006.

JUSTINO, E. A.; MARTINS DE PAULA, H.; PAIVA, E. C. R. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG, **Espaço em Revista**, v. 15, n. 1, p. 16 – 38. jul/dez. 2011.

LEITE, N. B. F. **Expansão urbana e seus efeitos sobre a mobilidade e acessibilidade avaliada com o auxílio dos sistemas de informação geográfica (SIG) em Teresina-PI**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

OLIVEIRA, C. E.; DE AQUINO, C. M. S. Crescimento urbano e impactos sobre a cobertura vegetal no Bairro Vale do Gavião - Teresina – PI – BR. **Revista Casa da Geografia de Sobral**, v. 17, n. 2, p. 68-84, jul. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA, TERESINA. **Manual de Drenagem de drenagem urbana de Teresina**. Teresina: Concremat Engenharia, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA, TERESINA. **Plano diretor de drenagem urbana de Teresina**. Relatório Final. Volume 25. Tomo 01/15. Teresina: Concremat Engenharia, 2012.

RIBEIRO, K. V.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Mulato (Piauí, Brasil). **Revista da Anpege**. p. 67-88, V.15, n.26, jan/mar. 2019.

SCS. Soil Conservation Service. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Washington: U.S. Dept. Agr. (Technical Release, 55), 1975.

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, jan/mar. 2000.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n.63, p. 97-112, jun/2008.

VIESSMAN, Jr. W.; HARBAUGH, T.E.; KNAPP, J.W. **Introduction to Hydrology**. Intext Educational, New York, 1972.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. Ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1975.