

**USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ  
EM TERESINA-PI**

**Soil use and occupation and its effects on runoff in the Itararé stream watershed in  
Teresina-PI**

**Francisco das Chagas Paiva Silva<sup>1</sup>, Érico Rodrigues Gomes<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Gestor Ambiental/IFPI; franciscopaiva745@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2041-3331

<sup>2</sup> Geólogo, Prof. Dr. do Mestrado em Análise e Planejamento Espacial – MAPEPROF/IFPI; erico.gomes@ifpi.edu.br  
ORCID: 0000-0002-1942-1396

**RESUMO:**

A expansão acelerada da urbanização pode ocasionar diversos impactos ambientais, destacando a erosão, assoreamento dos canais fluviais, alagamentos e inundações. Este estudo apresenta a relação do uso e ocupação do solo com o escoamento superficial durante eventos pluviométricos extremos na microbacia do riacho Itararé, afluente do rio Poti. Fez-se uso de ferramentas computacionais como QGIS para a construção do mapa de uso e ocupação do solo, extração da rede de drenagens e curvas de níveis, e o HEC-HMS para a modelagem hidrológica. Com a coleta dos dados foi possível relacionar o uso e cobertura do solo com o nível de impermeabilização. Para a simulação, os tempos de recorrência selecionados foram de 1, 2, 5, 10, 20 e 50 anos, sendo que, para cada ano, obteve-se respectivamente os seguintes valores de vazão: 46,1; 60,1; 83,5; 110; 137,1 e 180,5 m<sup>3</sup>/s, comprovando a importância e influência do uso e cobertura do solo para o escoamento superficial na bacia hidrográfica em análise, e os efeitos da urbanização na vazão de pico. Foi demonstrado que a crescente urbanização da área estudada, desrespeitando as estruturas naturais de drenagem, resultaram em vazões muito maiores e em diversos impactos socioambientais.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento. Interferências Antrópicas. Modelos Hidrológicos. Gestão Ambiental.

**ABSTRACT:** The accelerated expansion of urbanization can cause several environmental impacts, highlighting erosion, siltation of river channels, flooding and flooding. This study presents the relationship between land use and occupation with surface runoff during extreme rainfall events in the microbasin of the Itararé stream, a tributary of the Poti river. Computational tools such as QGIS were used to build the land use and occupation map, extract the drainage network and level curves, and the HEC-HMS for hydrological modeling. With the data collection it was possible to relate the use and land cover with the level of waterproofing. For the simulation, the selected recurrence times were 1, 2, 5, 10, 20 and 50 years, and for each year the following flow values were respectively obtained: 46.1; 60.1; 83.5; 110; 137.1 and 180.5 m<sup>3</sup>/s, proving the importance and influence of land use and coverage for surface runoff in the hydrographic basin under analysis and the effects of urbanization on the peak flow. It was demonstrated that the growing urbanization of the studied area, disrespecting the natural drainage structures, resulted in much larger flows and several socio-environmental impacts.

**Keywords:** Geoprocessing. Anthropogenic Interferences. Hydrological Models. Environmental management.

## **1 INTRODUÇÃO**

A expansão urbana, muitas vezes sem planejamento, tem acarretado diversos problemas, como erosões, assoreamento de canais fluviais, alagamento e inundações, provocando perdas econômicas e vidas humanas. Isso se deve a diversos fatores como: ocupações irregulares, loteamentos mal projetados, mas, principalmente, à ineficácia do planejamento, da fiscalização, do acompanhamento e do controle pelos órgãos públicos, fatores estes de maior impacto no processo de formação das áreas de risco (Costa, 2010).

Levando em consideração as constantes modificações nas microbacias hidrográficas encontradas no município de Teresina, Piauí, pelas atividades antrópicas, esse estudo teve como objetivo realizar o diagnóstico do uso e ocupação do solo, com o intuito de identificar quais são seus reflexos no escoamento superficial da microbacia hidrográfica do riacho Itararé, localizada na zona sudeste de Teresina, Piauí, uma importante área de expansão urbana da capital piauiense. O planejamento da região é de grande importância para o desenvolvimento local, sendo uma forma de proporcionar qualidade de vida para os moradores e equilíbrio ambiental.

Para a realização deste estudo foi adotado um método de análise sistêmico, a qual considera que todos os elementos estão conectados e que “a ação de um sub-sistema pode provocar uma reação em outro sub-sistema, direta ou indiretamente que por sua vez recebe influência de outro sub-sistema de seus elementos ou de outro elemento” (FLAMARION, 2008, p.128).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

De acordo com Avanzi (2005), a hidrologia é constituída por diferentes ciências, entre as quais, a matemática e a estatística são primordiais para o desenvolvimento de uma área da hidrologia extremamente importante e de ampla aplicação, a modelagem, cujo produto principal é a simulação de eventos hidrológicos, fundamental no contexto do gerenciamento dos recursos naturais solo e água.

### **2.1 Modelagem hidrológica**

Almeida (2017) destaca que os modelos hidrológicos procuram representar a parte terrestre do ciclo hidrológico, transformando a precipitação que cai sobre a superfície em vazão.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM  
TERESINA-PI

Dentro do estudo hidrológico a precipitação é uma das principais dificuldades de se simular, isso porque “[...] a variabilidade temporal da precipitação natural dificilmente segue um padrão formal identificável, ou seja, os hietogramas que se sucedem no tempo são diferentes uns dos outros” (PMT, 2010, p.25). “Além disso, essa variada configuração espacial muda rapidamente com os intervalos de tempo sucessivos do evento chuvoso”. No entanto com o apoio da estatística consegue-se extrair uma correlação espacial dos eventos chuvosos (PMPA, 2005).

A distribuição temporal depende muito do método hidrológico utilizado, porém, nos projetos de drenagem, os projetistas costumam utilizar aqueles “[...] que atribuem uma distribuição arbitrária temporal para chuvas de projeto, baseadas em cenários que produzem inundações críticas” (PMPA, 2005, p.26). Para esta distribuição, o manual de drenagem urbana de Porto Alegre e o plano diretor de drenagem urbana de Teresina apresentam o método dos blocos alternados, que constrói o hietograma de projeto a partir da curva IDF.

Segundo a (PMT, 2010. p, 24);

A metodologia denominada de bloco alternados distribui a precipitação ao longo do tempo de forma a buscar um cenário crítico de precipitação. Este cenário baseia-se em precipitação pequena e média no início do tempo e precipitação alta próximo do final da duração, quando geram hidrogramas com grande pico (PMT, 2010. p, 24).

## 2.2 escoamento superficial

Para o estudo do escoamento em bacias hidrográficas, Avanzi (2005) destaca que geralmente recorre-se às ciências hidrológicas, onde os comportamentos do escoamento são melhor visualizados. Os registros gráficos de vazão de um corpo hídrico em relação ao tempo, refletem o comportamento do escoamento total, determinando assim o deflúvio, sendo possível determinar a vazão de pico e tempos de resposta à excitação produzida pela chuva, os quais caracterizam a bacia hidrográfica. Estudos hidrológicos nos permitem representar o escoamento em escala de anos, meses, dias ou apenas um evento de precipitação.

A forma adquirida pelo gráfico de vazão depende da interação de vários fatores, tais como uso da terra, relevo, atributos do solo, umidade do solo antecedente à precipitação, intensidade e duração da chuva e distribuição da precipitação na bacia hidrográfica.

### 2.2.1 Tempo de concentração

De forma conceitual, o tempo de concentração é o tempo que uma gota de chuva, que atinge a região mais remota da bacia hidrográfica, leva para atingir o exutório. Para calcular o tempo de concentração alguns autores desenvolveram fórmulas, no entanto seus valores podem variar muito de uma para outra. Neste caso, para determina o tempo de concentração vai depender do tipo de bacia hidrografia, cabendo ao projetista escolher a que melhor se adeque na realidade local. Para este estudo destaca-se a fórmula de Kirpich-modificada (Equação 1).

$$tc = 1,42 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

TC = tempo de concentração, em horas;  
L = comprimento do curso d'água, em km; e  
H = desnível máximo, em m.

Para realizar a simulação hidrológica com o intuito de identificar a vazão de pico da bacia hidrográfica, foi utilizado o software *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)*, versão 4.3, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América.

O *software* HEC-HMS conta com vastas metodologias de cálculos, onde destaca-se para este estudo o método do SCS (*Soil Conservation Service*). De acordo com TOMAZ (2012, p.2), o método é mais “conhecido nos Estados Unidos, [...] e cujo nome novo é NRCS (*National Resources Conservation Service*)”. O mesmo é aplicado para áreas que podem variar de 3 km<sup>2</sup> a 250 km<sup>2</sup>.

O método SCS se baseia em procedimentos metodológicos importantes: o hidrograma unitário e o Curva Número (CN; *Curve-Number*), que de acordo com Lima (2014) foi desenvolvido através de análise de aproximadamente 3 mil tipos de solos e coberturas. Os dados gerados através da análise, possibilitaram a elaboração de uma fórmula empírica que relaciona a capacidade de armazenamento da bacia com um parâmetro CN.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM  
TERESINA-PI

Com este estudo foi possível relacionar diferentes tipos de solos e suas coberturas com valores de CN, vistos na figura 1. A capacidade de armazenamento do solo com base no CN é estimada pela equação 2.

**Figura 1:** Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais: cobertura ruim	45	66	77	83
Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
lotes de (m2)                      % média impermeável				
<500                                      65	77	85	90	92
1000                                      38	61	75	83	87
1300                                      30	57	72	81	86
2000                                      25	54	70	80	85
4000                                      20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas:				
asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

**Fonte:** PMT, 2010.

$$s = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação (2)}$$

Para a separação do escoamento superficial, o modelo SCS baseia-se na premissa de que só é gerado escoamento superficial se a precipitação for  $P > 0,2 S$ , pois enquanto há armazenamento no solo não existe escoamento superficial, sendo estimada com base na equação 3.

$$P_{ef} = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad \text{Equação (3)}$$

quando  $P \leq 0,2.S$ ,  $P_{ef} = 0$

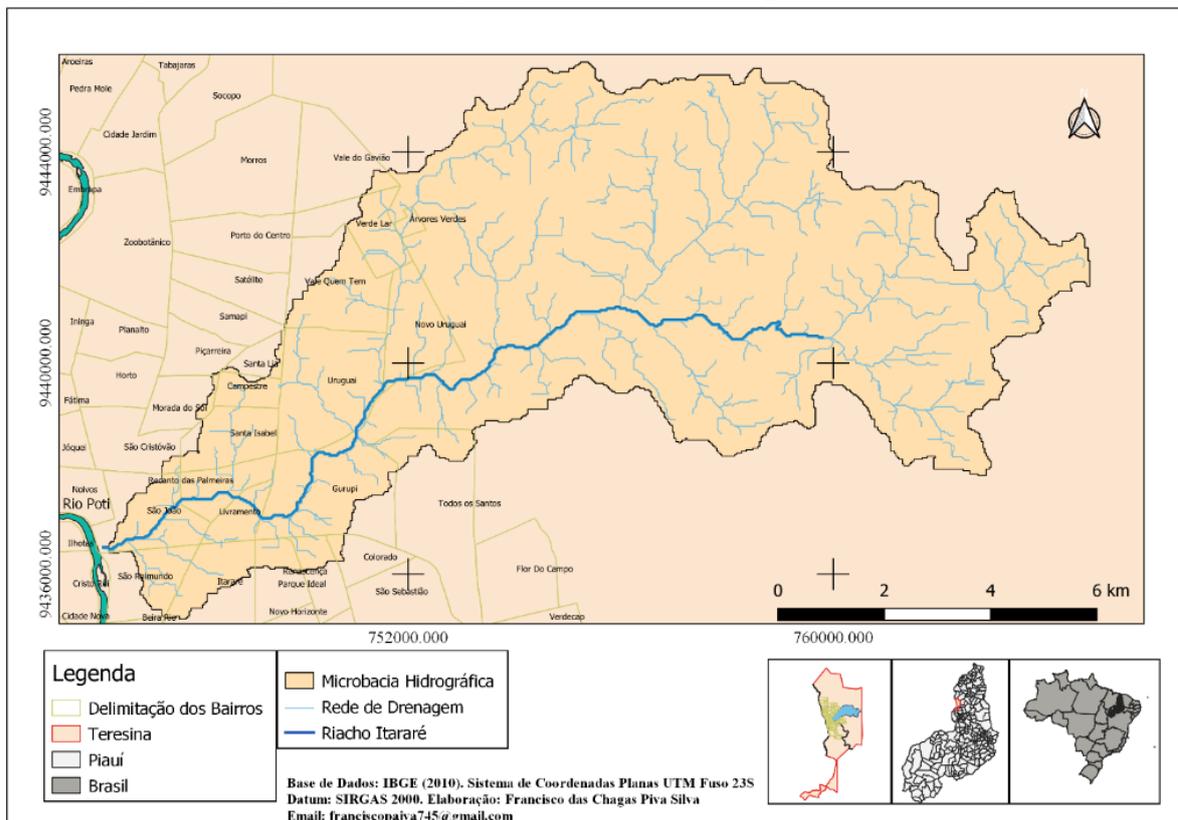
onde:

P é a precipitação em mm;  
Pef é a precipitação efetiva;  
S é o armazenamento no solo em mm.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A microbacia do riacho Itararé está inserida na subbacia hidrográfica do rio Poti, em Teresina, capital do Estado do Piauí, estando delimitada pelas coordenadas geográficas  $5^{\circ}34'57''$  S,  $43^{\circ}00'32''$  O e  $4^{\circ}46'47''$  S,  $42^{\circ}35'39''$  O. “Ao atravessar a cidade de Teresina, o rio Poti encontra-se no seu baixo curso, apresentando traçado fortemente meandrante até sua foz no Parnaíba” (LIMA, 2011, p.1). Neste percurso dentro do município estão inseridas várias microbacias hidrográficas, sendo as mesmas denominadas de PD (Poti Direita) e PE (Poti Esquerda). A bacia de estudo está inserida na PD 11 (PMT 2012), sendo apresentada na Figura 2.

**Figura 2:** Mapa de localização da microbacia hidrográfica do riacho Itararé.



Fonte: Silva (2019).

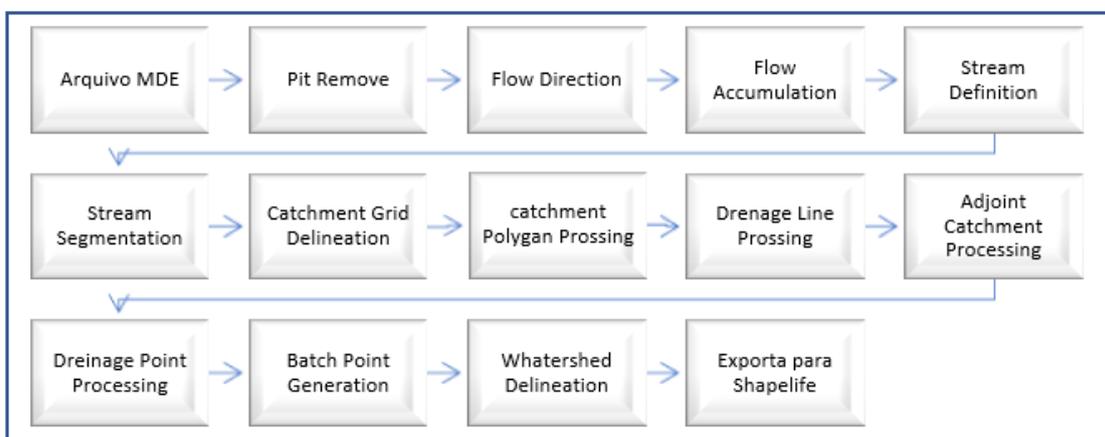
# USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM TERESINA-PI

O procedimento metodológico foi dividido em quatro fases. Inicialmente, houve um aprofundamento nos estudos relacionados aos temas “bacias hidrográficas, simulações hidrológicas, controle de inundações e alagamento urbano”. Na sequência, houve a delimitação da microbacia hidrográfica, diagnóstico do mapa de uso e ocupação do solo e a modelagem hidrológica.

## 2.1 Delimitação da microbacia

Para realizar a delimitação da microbacia hidrográfica de interesse foi utilizando o *software* de geoprocessamento QGIS e Modelos Digital de Elevação (MDE), derivados da Missão Topográfica de Radar Embarcado SRTM, com resolução espacial de 30 (trinta) metros, obtidos no site <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Código de identificação da cena utilizada: 05S435ZN. Esta foi processada utilizando os algoritmos do TAUDEM com o apoio da interface gráfica do *software* QGIS, versão 2.18.19, seguindo os procedimentos destacados na figura 3.

**Figura 3:** Fluxograma do processo de tratamento e delimitação de Bacias Hidrográficas no QGIS Versão 2.18.1



Fonte: Silva (2019).

## 2.2 Mapa de uso e ocupação do solo

Para o mapeamento foram coletadas imagens do *Google Earth Pro*. Tornou-se necessário realizar o georreferenciamento da mesma utilizando o plug “georreferenciador” do QGIS. Em seguida foi classificada a cobertura do solo através do modelo supervisionado utilizando a ferramenta complementar do QGIS “Semi-Automatic Classification Plugin”; para a elaboração da classificação foram especificadas as seguintes classes de cobertura:

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 2, Número 2, p. 281 – 300, Janeiro/Junho, 2021. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.2.2-18

**Vegetação densa:** caracterizada como vegetação com cobertura superior contínua, apresentado boa cobertura do solo;

**Campestre:** vegetação menos densa e com maior predominância de gramíneas. Lima (2016) descreve como sendo “vegetação fisionomicamente bem diversa da florestal. Caracterizada por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso”;

**Solo exposto:** solo sem cobertura, exposto diretamente às condições intempéricas, e;

**Área urbanizada:** área com infraestrutura como residências e ruas asfaltadas, promovendo a impermeabilização do solo.

### 2.3 Modelagem hidrológica

Para fazer a modelagem hidrológica foi preciso elaborar uma “chuva de projeto”, tendo em vista que a bacia hidrográfica é tida como um sistema que necessita de um estímulo à precipitação (SANTOS, 2017). A precipitação de projeto é normalmente determinada a partir de relações Intensidade-Duração-Frequência (curvas IDF) da bacia contribuinte. Estas são expressas sob a forma de tabelas ou equações. As curvas IDF fornecem a intensidade da precipitação para qualquer duração e período de retorno. Pode-se obter uma lâmina ou altura de precipitação, multiplicando-se a intensidade dada pela IDF pela sua correspondente duração. Segundo a Prefeitura Municipal de Teresina (PMT), a IDF de um local é definida a partir de registros históricos de precipitação de pluviógrafos, e representa o máximo pontual (PMPA, 2005; PMT, 2011. p, 21). A equação proposta para a área de estudo, com base em Teresina (2011) é a equação 4.

$$i = \frac{1194,273T^{0,1738}}{(t+10)^{0,7457}} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

i é a intensidade da chuva em mmh<sup>-1</sup>;

T é o período de retorno do evento em anos e;

t é a duração em minutos.

O passo seguinte foi elaborar a distribuição temporal de precipitação. Uma das dificuldades de se elaborar uma chuva de projetos é que, as chuvas naturais possuem uma considerável variabilidade temporal, tornando único cada evento de chuva.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM  
TERESINA-PI

Para a elaboração da distribuição da chuva pelo método de blocos alternados o manual de drenagem urbana de Teresina (PMT, 2010. p, 24) recomenda os procedimentos a seguir:

Escolhendo o período de retorno, calcula-se, através da IDF, a precipitação correspondente à duração, espaçadas pelo intervalo de tempo até a duração total. É recomendado que a dura total (dt) seja igual ou maior que o tempo de concentração (tc) da bacia, permitindo que toda a bacia “sinta” o efeito da precipitação. Já o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) da precipitação deve ser igual, e preferencialmente menor a 1/3 do tempo de pico do hidrograma unitário. Considerando que os valores de tempo nem sempre está disponível, é recomendável utilizar um intervalo de tempo que seja menor igual a 1/10 do tempo de concentração. Os intervalos mais recomendados estão entre 5 e 10 minutos em hietogramas com duração total de até 2 horas. Para eventos de chuva maiores que 2 horas recomenda-se utilizar intervalos de  $\Delta t$  entre 10 e 20 min. Considerando que a precipitação em cada intervalo de tempo é a diferença entre dois intervalos de tempo, obtém-se a primeira versão do hietograma. Por exemplo, a  $P_i(t=30\text{min}) = P_a(30\text{min}) - P_a(20\text{min})$ . Geralmente este resultado mostrará o valor máximo no primeiro intervalo de tempo, portanto o hietograma deve ser reordenado para buscar cenários mais desfavoráveis. Para reordenar o hietograma, é preciso posicionar o maior (primeiro) valor a 50% da duração, o segundo logo após ao anterior e o terceiro antes do maior valor e assim, sucessivamente como pode ser visto na tabela 1 (PMT, 2010. p, 24).

**Tabela 1:** Hietograma de 60 minutos pelo método dos blocos alternados.

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Tempo (min)	$I^{(1)}$ (mm/h)	$P_{acum}^{(2)}$ (mm)	$P_{desac}^{(3)}$ (mm)	Ordem Decrescente	Ordem Alternada	$P_{rearr}^{(4)}$ (mm)
10	190,86	31,81	31,81	1°	5°	5,85
20	141,06	47,02	15,21	2°	3°	9,89
30	113,83	56,91	9,89	3°	1°	31,81
40	96,38	64,25	7,34	4°	2°	15,21
50	84,13	70,11	5,85	5°	4°	7,34

60	74,99	74,99	4,89	6°	6°	4,89
----	-------	-------	------	----	----	------

Fonte: PMT (2010), adaptado por Silva (2019).

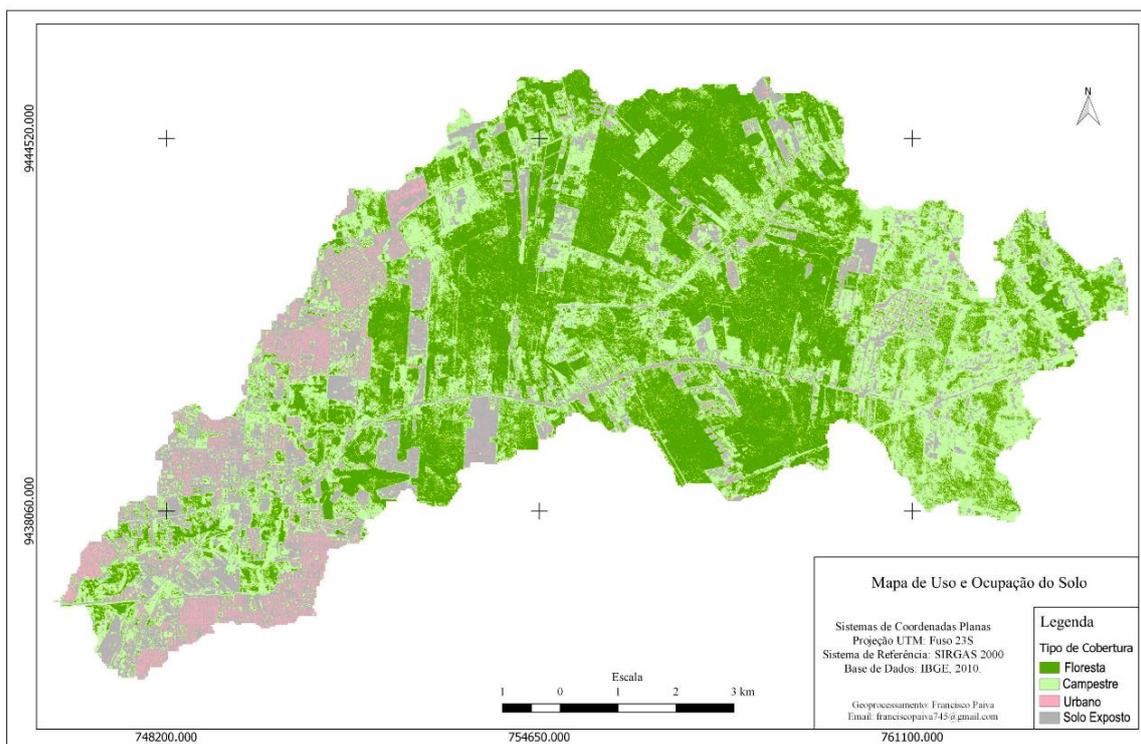
Onde:

- 1 - Calculado com a IDF com t dado pela 1ª coluna
- 2 - Multiplicação da 1ª coluna (tempo) pela 2ª (i) dividida por 60
- 3 - É o hietograma completamente adiantado obtido pela desacumulação da 3ª coluna
- 4 - É o hietograma final resultante do rearranjo dado pela ordenação alternada

### 3 RESULTADOS

A partir dos processos caracterizados nos tópicos **Delimitação da microbacia hidrográfica** e **Mapeamento do uso e ocupação do solo**, foi possível obter a delimitação da microbacia hidrográfica e elaboração do mapa de uso e ocupação do solo (figura 4). Os dados obtidos podem ser visualizados na figura 5.

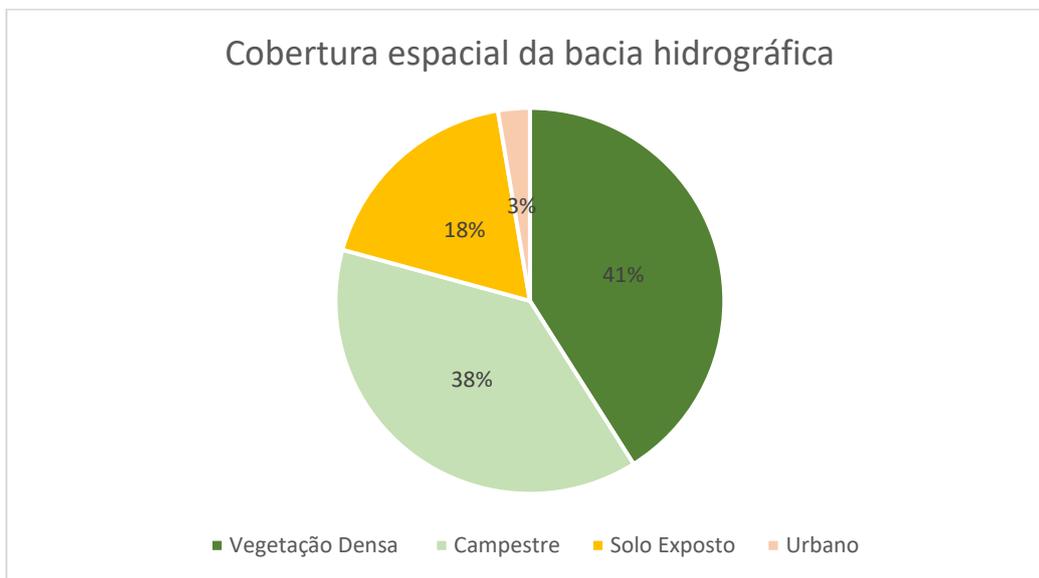
**Figura 4:** Mapa de uso e ocupação do solo.



Fonte: Silva (2019).

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM  
TERESINA-PI

**Figura 5:** Dados de cobertura espacial das 4 (quatro) classes.



Fonte: Silva, 2019.

Com a conclusão do mapeamento, a bacia hidrográfica do riacho Itararé foi subdividida em 10 (Dez) sub-bacias, para uma melhor identificação dos parâmetros CN (figura 6).

Para se determina o CN foi utilizado a tabela com os valores já especificados, vistos na figura 4. Para a determinação da classe de solo, o plano de drenagem urbana de Teresina (PMT, 2012) destaca que a microbacia tem sua totalidade de solo da classe B. A partir destes dados foi feito uma média aritmética ponderada, de acordo com a equação 5, para determinar os CN de cada sub-bacia. Após este processo foi possível relacionar toda a cobertura com um CN específico, como pode ser visto na Tabela 2.

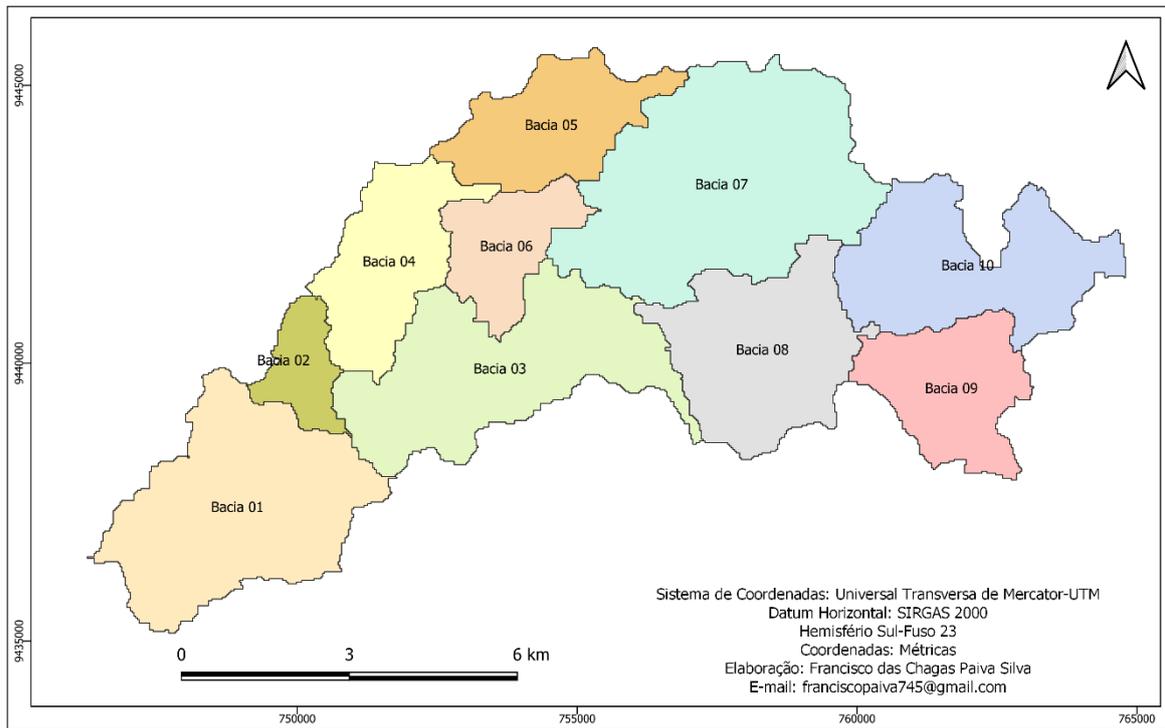
$$CN = \frac{(CN1 * A1) + (CN2 * A2)}{100} \quad \text{Equação (5)}$$

Sendo que:

CN1= valor encontrado na bacia;

A1= porcentagem da área representada pelo CN1.

**Figura 6:** Mapa de identificação das divisões da microbacia hidrográfica.



Fonte: Silva (2019).

**Tabela 2:** Especificação dos CN para cada bacia hidrográficas.

DADOS DA COBERTURA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS				
SUB-BACIAS	ÁREA EM KM <sup>2</sup>	COBERTURA	DADOS DE COBERTURA EM PORCENTAGEM (%)	CN
Bacia 1	13,41	Vegetação Densa	12	81
		Campestre e gramíneas	33	
		Solo exposto/Urbano	55	
Bacia 2	2,38	Vegetação Densa	15	80
		Campestre e gramíneas	39	
		Solo exposto/Urbano	46	
Bacia 3	12,33	Vegetação Densa	48	64
		Campestre e gramíneas	35	
		Solo exposto/Urbano	17	
Bacia 4	6,57	Vegetação Densa	20	66
		Campestre e gramíneas	31	
		Solo exposto/Urbano	42	
		Vegetação Densa	49	

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM  
TERESINA-PI

Bacia 5	6,28	Campestre e gramíneas	39	64
		Solo exposto/Urbano	12	
Bacia 6	4,21	Vegetação Densa	67	58
		Campestre e gramíneas	33	
		Solo exposto/Urbano	7	
Bacia 7	17,22	Vegetação Densa	60	62
		Campestre e gramíneas	33	
		Solo exposto/Urbano	7	
Bacia 8	9,51	Vegetação Densa	65	61
		Campestre e gramíneas	28	
		Solo exposto/Urbano	7	
Bacia 9	10,25	Vegetação Densa	15	67
		Campestre e gramíneas	40	
		Solo exposto/Urbano	45	
Bacia 10	9,63	Vegetação Densa	30	62
		Campestre e gramíneas	58	
		Solo exposto/Urbano	12	

Fonte: Silva (2019).

Com estes dados possibilitou-se extrair a média para o CN geral, de acordo com a Equação 6.

$$CN = \frac{(CN1+CN2+CN3+\dots+CN10)}{10} \quad \text{Equação (6)}$$

Após a delimitação da bacia e mapeamento do uso e ocupação, foram identificados outros parâmetros importantes para a simulação hidrológica, vistos na tabela 3.

**Tabela 3:** Dados físicos da bacia Hidrográfica do riacho Itararé.

BACIA HIDROGRÁFICA RIACHO ITARARÉ	
Características Físicas	Valores
Área (m <sup>2</sup> ) – <b>A</b>	88.873.530,81
Perímetro (m)	79.516,08
Comprimento do talvegue principal (m) - <b>L</b>	24.880,81
Comprimento do talvegue de montante para jusante em linha reta (m) – <b>Lt</b>	19.085,50
Cota de montante (m) – <b>Cm</b>	194,00
Cota de jusante (m) – <b>Cj</b>	64,00
Desnível (m) – <b>H</b>	130,00

Declividade da bacia (m/m) - <b>i</b>	0,005
CN médio	66

Fonte: Silva (2019).

### 1.1.1. Simulação hidrológica

Para a realização da simulação foram especificados tempos de retorno de 1 (um), 2 (dois), 5 (cinco), 10 (dez), 20 (vinte) e 50 (cinquenta) anos. “Geralmente, os períodos de recorrência normalmente adotados no caso de bueiros são de 10 a 20 anos e, para as pontes, definem-se tempos de recorrência de 50 a 100 anos” (BRASIL 2005, p.19). O mesmo autor define que o tempo de retorno/recorrência “[...] refere ao espaço de tempo em anos onde provavelmente ocorrerá um fenômeno de grande magnitude, pelo menos uma vez” (BRASIL 2005, p.19). E o tempo de concentração foi feito com base na equação de Kirpich-modificada, sendo a mesma exposta na equação 4. Segundo BRASIL (2005), tem-se:

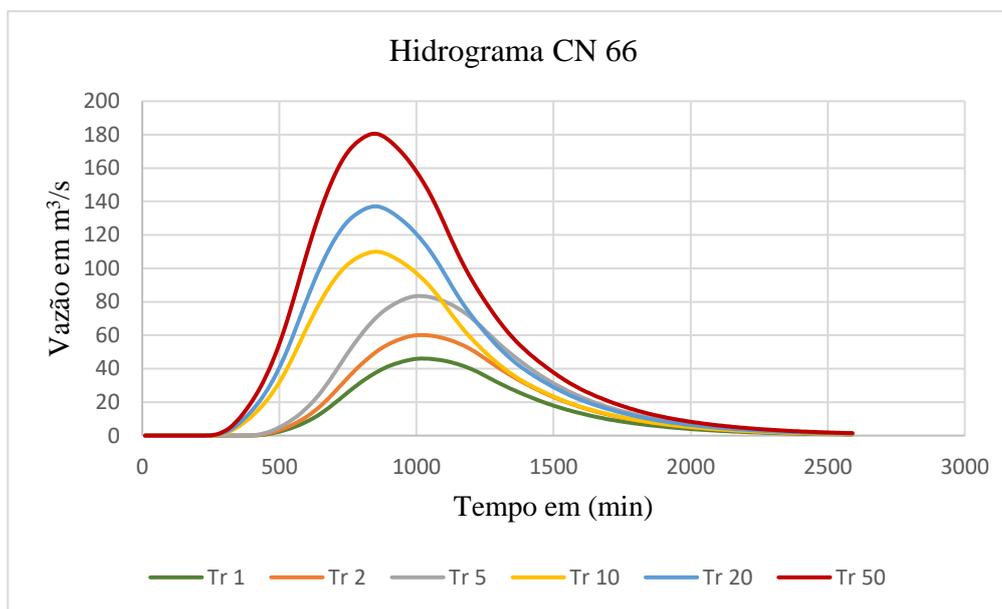
Estudos em bacias médias e grandes, com dados de enchentes observadas, demonstraram que a aplicação do hidrograma unitário triangular do *U.S. Soil Conservation Service* fornece resultados pertinentes às observações, se forem adotados tempos de concentração 50% maiores do que os calculados pela expressão proposta por Kirpich (BRASIL, 2005, p.86).

A distribuição temporal dos dados de precipitação foi elaborada com base na tabela 1. Sendo que, o tempo de concentração encontrado para a bacia foi de 8 horas, e com distribuição da precipitação de 8,5 horas, tendo um intervalo entre blocos de 15 minutos.

Com a elaboração da modelagem hidrológica foram identificados vazões bastante consideráveis, principalmente aquelas com longos períodos de retorno (figura 7).

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM TERESINA-PI

**Figura 7:** Vazão de pico encontradas para os tempos de Tr 1, 2, 5, 10, 20 e 50.

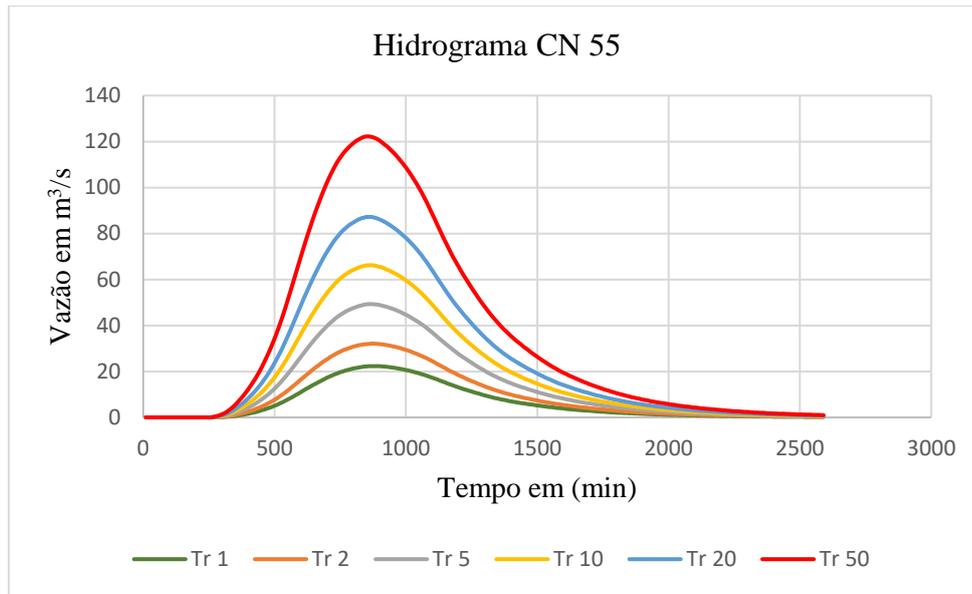


Fonte: Silva (2019).

Depois da simulação com os dados atuais de cobertura do solo, foi realizada uma modelagem adotando-se uma cobertura arbustiva densa/vegetação nativa com CN de 55, com o intuito de identificar o real impacto do desmatamento na vazão de pico na microbacia hidrográfica do riacho Itararé. Os valores para os cenários são vistos nas figuras 8 e 9.

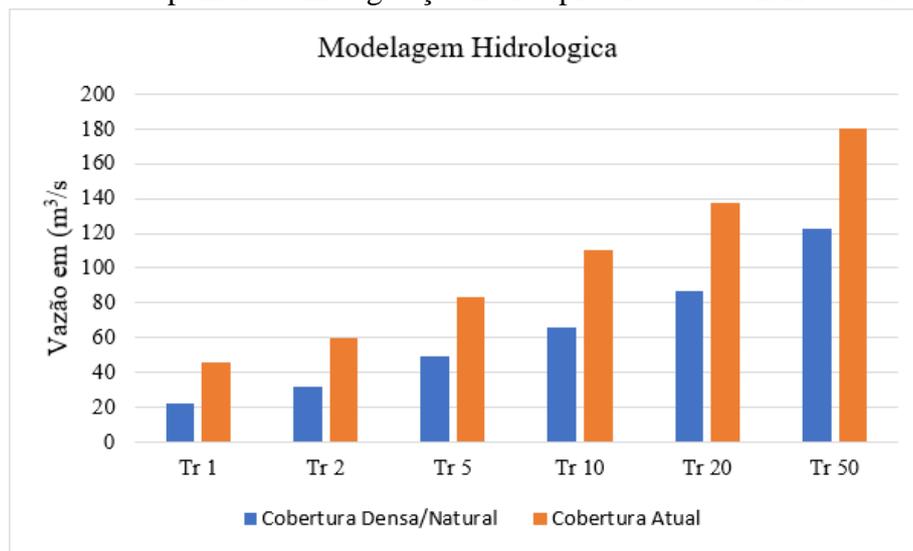
A estrutura física da microbacia hidrográfica do riacho Itararé está bastante modificada, principalmente pelo avanço da urbanização nos últimos anos. Alguns empreendimentos imobiliários construíram sistemas de detenção/retenção das águas pluviais como forma de minimizar as vazões de pico. No entanto, alguns destes não tiveram o cuidado de observar o cenário existente na região, como cobertura vegetal, geologia e topografia, por consequência os sistemas terminam perdendo parte de sua eficiência.

**Figura 8:** Resultados da modelagem para cobertura com vegetação nativa.



Fonte: Silva (2019).

**Figura 9:** Comparação entre vazão de pico para um cenário de superfície com vegetação nativa preservada e cenário atual.



Fonte: Silva (2019).

Segundo Tucci (2012, p.44) “os instrumentos de controle dos impactos têm se baseado em obras de custos altos, que tendem a produzir mais impactos do que estão tentando controlar [...]”. Destaca-se, com base em Sousa (2017), que a modelagem matemática com suas fórmulas empíricas, que buscam representar os processos envolvidos,

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM  
TERESINA-PI

torna-se um importante instrumento para o planejamento para se avaliar os cenários tanto atuais como futuros.

Visando ao crescimento sustentável das cidades, Latuf (2011, p.217) afirma que a modelagem hidrológica torna-se mais do que uma técnica hidrológica, é uma forma de auxiliar a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), por meio da possibilidade de subsidiar ações concretas, para que os gestores públicos possam ter em mãos, informações técnicas para as tomadas de decisões.

O resultado da crescente ocupação da bacia hidrográfica do riacho Itararé com a construção de diversos condomínios residenciais e loteamentos urbanos, culminou na alteração do seu canal fluvial natural, com modificações no seu curso e canalizações do mesmo para dar lugar a pista de rolamento. Segundo Sales (2018), “houve também a redução da área da bacia de acomodação, com isso o volume de água que se acomodava e tinha seu amortecimento nesses locais passou a gerar problemas de inundações” (Figura 10).

Figura 10: Trecho da rua 4 totalmente alagada (Bairro Uruguai).



Fonte: Sales (2018).

Foram identificadas diversas áreas com o canal fluvial totalmente assoreado pela presença de resíduos da construção civil, aterrando áreas importantes para a dissipação da vazão de pico vindas de montante (figura 11).

Figura 11: Leito do riacho Itararé com resíduos da construção civil.



Fonte: Silva (2019).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com o apoio das ferramentas de geoprocessamento, de modelagens hidrológicas e das fórmulas empíricas, foi possível relacionar a cobertura do solo com um nível de impermeabilização e seus reflexos na vazão de pico da bacia hidrográfica do riacho Itararé.

Para a simulação, os tempos de recorrência escolhidos foram de 1, 2, 5, 10, 20 e 50 anos, sendo que para cada ano resultou-se nos seguintes valores de vazão, respectivamente: 46,1; 60,1; 83,5, 110, 137,1 e 180,5 m<sup>3</sup>/s.

Foi demonstrado que a crescente urbanização da área estudada desrespeitando as estruturas naturais de drenagem, resultaram em expressivos acréscimos nas vazões, contribuindo para o aumento das vazões de pico, tendo como consequência diversos impactos socioambientais como a intensificação dos processos erosivos, destruição de estruturas públicas e privadas, alagamentos e inundações em toda a bacia hidrográfica.

É diretamente proporcional a relação do uso e cobertura do solo, principalmente os efeitos da urbanização, com o escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho Itararé. Cabe ao poder público municipal a execução de obras estruturantes com medidas de mitigação, associadas à aplicação e fiscalização das normas vigentes para novos projetos imobiliários e urbanísticos.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM  
TERESINA-PI

ALMEIDA, Lizane; SERRA, Juan Carlos Valdés. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. Revista da FAE, v. 20, n. 1, p. 129-137, 2017.

AVANZI, Junior Cesar. Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos Tabuleiros Costeiros. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras.

COSTA, Renato Sérgio Soares. **Riscos Socioambientais e Ocupação Irregular em Áreas de ENCHENTES nos Bairros: Olarias, Poti Velho, Alto Alegre, São Francisco e Mocambinho –Teresina (PI)**. Renato Sérgio Soares Costa Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro – SP, 2010.

BRASIL, Departamento Nacional de Infra- Estrutura de Transportes – DNIT. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. 2ª Ed. – Rio de Janeiro, RJ. 2005.

FLAMARION, D. A.; SILVEIRA, V. C. P. A metodologia sistêmica na geografia agrária: um estudo sobre a territorialização dos assentamentos rurais. Flamarion Dutra Alves, Vicente Celestino Pires Silveira. Sociedade & Natureza, Uberlândia, **20** (1): 125-137, jun. 2008.

LATUF, Marcelo de Oliveira. **Modelagem hidrológica aplicada ao planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Acre** / Marcelo de Oliveira Latuf. - Presidente Prudente: [s.n], 2011.

LIMA, Aline de Araújo. **Análise ecossistêmica e gestão ambiental na cidade de Teresina-Piauí**/ Aline de Araújo Lima. – 2016.

LIMA, Nathana Alcântara. **Comparação entre métodos de dimensionamento de sistemas de drenagem em aeródromos** / Nathana Alcântara Lima. São José dos Campos, 2014.

LIMA, I. M. M. F. O relevo de Teresina, PI: compartimentação e dinâmica atual. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 9., Goiânia, 2011. Anais... Goiânia, 2011.

PMPA. PORTO ALEGRE, Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Plano Diretor de Drenagem Urbana Manual de Drenagem Urbana nº 1. Relator: Prefeito José Fogaça. Porto Alegre, RGS de 2005. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana. Porto Alegre, 2005. v. 6

PMT - TERESINA (Município), Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – 2010**

PMT - Prefeitura Municipal de Teresina Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, Programa Lagoas do Norte, Acordo de Empréstimo nº 7523-BR - BIRD Plano Diretor de Drenagem Urbana de TERESINA Rev.01 Volume 25 – Tomo 01 Relatório Final julho de 2012

RODRIGUES, Bárbara; SUÊNIO, Brunno. Chuvas causa estragos em várias regiões de Teresina. 2017. Disponível em: <<https://www.gpl.com.br/noticias/chuva-causa-estragos-em-varias-regioes-de-teresina-408927.html>>. Acesso em: 12 fev. 2019

SILVA, Francisco das Chagas Paiva. Diagnóstico Do Uso E Ocupação Do Solo Da Microbacia Hidrográfica Do Riacho Itararé Zona Sudeste De Teresina. 97f. Trabalho de Conclusão de Curso. Tecnologia em Gestão Ambiental. Instituto Federal do Rio de Janeiro. IFPI: Teresina, 2019.

SALES, Matias Francisco Gomes de. PROBLEMAS DE DRENAGEM URBANA EM TERESINA (ZONA LESTE / ZONA SUDESTE). Teresina: Video, 2018. 228 slides, color.

SANTOS, Juliano Boeck, Modelagem Hidrológica HEC-HMS da Bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés, Botucatu – SP / Juliano Boeck Santos. – Botucatu: n.5, 2017.

SOUSA, Estudo do Software HEC-HMS para Aplicação da Modelagem Matemática Hidrológica em uma Bacia Hidrográfica. Vitória Bittencourt de Souza<sup>1</sup>, Ricardo Ângelo Dal Farra. Revista de Iniciação Científica da ULBRA, Canoas n.15 p.116-128, 2017.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM  
TERESINA-PI

TERESINA. Celso Silveira Queiroz. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação (org.). PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE TERESINA MANUAL DE DRENAGEM. Teresina: Semplan, 2011. 211 p.

TOMAZ, Curso de Manejo de águas pluviais Capítulo 99- Método do SCS (Soil Conservation Service) para várias bacias, Engenheiro Plínio Tomaz. 17 de novembro de 2012.

TUCCI, Carlos E. M. Gestão da drenagem urbana/Carlos E. M. Tucci. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p.

**Agradecimentos:** Trabalho apresentado pelo primeiro autor como requisito à obtenção da graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental no Instituto Federal do Piauí (IFPI), campus Teresina Central, sob orientação do segundo autor. Agradecemos o apoio desta Instituição na realização dos estudos.

---