

Necessidade de estudos de redimensionamento diante de inundações urbanas: um estudo de caso do córrego Afonso XIII em Tupã/SP

Requirements for research studies before urban floods: a case study of Afonso XIII stream in Tupã / SP

Requisitos para estudios de investigación antes de inundaciones urbanas: un estudio de caso de córrego aAfonso XIII en Tupã / SP

José Roberto Rasi

Mestre em Estruturas e Construção Civil, UFSCAR, Brasil.
jroberto.rasi@gmail.com

Roberto Bernardo

Professor Doutor, FADAP, Brasil.
betobernardo@uol.com.br

Cristiane Hengler Corrêa Bernardo

Professora Doutora, UNESP Tupã, Brasil.
cristiane.bernardo@unesp.br



RESUMO

O crescimento acelerado da população resulta inevitavelmente no aumento da ocupação das áreas periféricas aos centros urbanos aumentando o nível de impermeabilização do solo e como consequência grande parcelas de chuvas passam a escoar sobre o solo, provocando enchentes, com grandes danos materiais. O objetivo central deste artigo é verificar os efeitos da urbanização sobre uma bacia hidrográfica e seus impactos. Especificamente, buscou-se checar se o projeto original da ponte sobre o Córrego Afonso XIII, estava corretamente dimensionado para atender a nova demanda de vazão criada com a maior impermeabilização do solo e ao aumento da população urbana de Tupã e determinar a vazão de pico. Para tanto, foi realizado um estudo de caso, englobando os problemas existentes na passagem sobre o córrego em estudo, levando em consideração o evento de inundação ocorrido em abril de 2013, e as soluções estruturais adotadas para sanar esse problema de enchente. Identificou-se um subdimensionamento importante na vazão da ponte analisada e, portanto, recomenda-se que sejam realizados estudos em outras áreas do município para prevenção de futuras inundações.

PALAVRAS-CHAVE: Enchente urbana. Aspectos hidrológicos. Soluções estruturais.

ABSTRAT

The accelerated growth of the population inevitably results in an increase in the occupation of areas peripheral to urban centers, increasing the level of waterproofing of the soil and, as a consequence, large amounts of rain start to drain over the soil, causing floods, with great material damage. The main objective of this article is to verify the effects of urbanization on a hydrographic basin and its impacts. Specifically, it was sought to check if the original design of the bridge over the Afonso XIII stream was correctly sized to meet the new demand for flow created with the greater waterproofing of the soil and the increase in the urban population of Tupã and to determine the peak flow. To this end, a case study was carried out, encompassing the problems existing in the passage over the stream under study, taking into account the flood event that occurred in April 2013, and the structural solutions adopted to remedy this flood problem. An important undersize was identified in the flow of the analyzed bridge and, therefore, it is recommended that studies be carried out in other areas of the municipality to prevent future flooding.

KEY WORDS: Urban floods. Hydrological aspects. Structural solutions.

RESUMEN

El crecimiento acelerado de la población inevitablemente resulta en un aumento en la ocupación de las áreas periféricas a los centros urbanos, aumentando el nivel de impermeabilización del suelo y, como consecuencia, grandes cantidades de lluvia comienzan a drenar sobre el suelo, causando inundaciones, con grandes daños materiales. El objetivo principal de este trabajo es verificar los efectos de la urbanización en una cuenca hidrográfica y sus impactos. Específicamente, se buscó verificar si el diseño original del puente sobre el arroyo Afonso XIII se dimensionó correctamente para satisfacer la nueva demanda de flujo creada con la mayor impermeabilización del suelo y el aumento de la población urbana de Tupã y para determinar el flujo máximo. Con este fin, se llevó a cabo un estudio de caso, que abarca los problemas existentes en el paso sobre el arroyo en estudio, teniendo en cuenta el evento de inundación que ocurrió en abril de 2013, y las soluciones estructurales adoptadas para remediar este problema de inundación. Se identificó un tamaño inferior importante en el flujo del puente analizado y, por lo tanto, se recomienda que se realicen estudios en otras áreas del municipio para evitar futuras inundaciones.

PALABRAS-CLAVE: Inundaciones urbana. Aspectos hidrológicos. Soluciones estructurales.

1. INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial, a população mundial cresceu num ritmo nunca antes alcançado. A população mundial, que era de 'Um Bilhão' de habitantes em 1804, duplica em 1927 e atinge 'Dois e meio Bilhões' em 1950. A partir dessa data o crescimento acelera, chegando a quatro bilhões em 1975 e ultrapassa os seis bilhões de habitantes¹ na passagem para o século XXI. Em 2020 está com sete bilhões e oitocentos milhões de habitantes². A ocupação urbana parte de uma taxa de 9% em 1.800, para 16% em 1.900 e para 25,6% em 1.950 (BAIROCH, 1985). Acelera a partir de 1950, alcançando 37,2% em 1975 (UNDP, 2007) e de 50% em 2008 (UN, 2007b), com estimativa de chegar a 61% em 2030 (JENKINS, 2007).

O Brasil vem apresentando ao longo das últimas décadas, um significativo crescimento da sua população urbana, com uma taxa que tem atingido por volta de 80%, muito próximo da sua saturação. Após a década de 1960, houve uma urbanização acelerada, gerando uma população urbana com infraestrutura precária, em especial, na década de 1989, quando foram reduzidos de forma significativa os investimentos na área. Os efeitos desse processo recaíram sobre todo o aparelhamento urbano com reflexos sobre os recursos hídricos tais como: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgoto e drenagem pluviais. As enchentes urbanas têm sido cada vez mais constantes, trazendo impactos negativos importantes sobre a sociedade (TUCCI, 2005).

Essas enchentes são resultado, entre outras coisas, do aumento da ocupação dos centros urbanos devido ao rápido crescimento da população e que traz como consequência, um importante crescimento do nível de impermeabilização, prejudicando sua capacidade de infiltração de água no solo. Durante os períodos de chuvas intensas, como resultado da impermeabilização do solo, parte da água que antes se infiltrava, agora passa a escoar superficialmente no solo (*runoff*), seguem os declives topográficos, concentram-se preferencialmente nos fundos de vales e atingem, de maneira mais rápida, os canais naturais e artificiais. (ALAMY FILHO *et al.*, 2017).

O aquecimento global tem alterado significativamente o clima, como consequência, tem ocorrido chuvas intensas, com grande volume de precipitação e num período curto de tempo em todo o planeta. As instalações de controle de inundação e drenagem urbana, se tornaram subdimensionadas para o incremento de vazões exigidas atualmente, acarretando inundações em muitas cidades com grandes perdas econômicas e de vidas humanas (ZHU *et al.*, 2016). Muitas obras civis, como passagens e pontes sobre córregos e rios, que tinham dimensões suficientes no passado, para as vazões de determinadas bacias e/ou sub bacias, após a expansão das cidades tornaram-se insuficientes. Para realizar dimensionamento de obras de infraestrutura em engenharia, faz-se necessário estudos das fases do ciclo hidrológico, em especial, estudos sobre escoamento superficial. Quantificar esse escoamento é tarefa complexa

¹ Fonte dos dados: <http://www.census.gov/ipc/www/popwnote.html>

² Fonte dos dados (<https://www.census.gov/programs-surveys/decennial-census/2020-census.html>)

e depende de outros fatores como: estudos topográficos da região; tipo e cobertura do solo e distribuição e intensidade das chuvas como sendo os principais (SARTORI *et al.*, 2005).

Muitos estudos vêm sendo realizados sobre os processos de impermeabilização do solo e crescente ocupação dos centros urbanos, com isso promove, inundações em cidades, com consequentes perdas econômicas e de vidas humanas. Assim, faz-se necessário melhorar o planejamento da ocupação do espaço urbano, assim como, melhorar a infraestrutura das cidades e realizar ações que evitem impactos econômicos e sociais sobre a sociedade.

Como consequência da crescente ocupação dos centros urbanos, e da maior impermeabilização das cidades, frequentemente têm ocorrido casos como a da enchente na cidade de Tupã - SP, que ocasionou inundação de uma ponte urbana, que destruiu a pavimentação asfáltica, provocou desmoronamento de postes de alta tensão, desmoronamento parcial de muros, erosão no canal, destruição de rede de galeria de águas pluviais, destruição de rede e caixas de distribuição de telefonia e rompimento de rede coletora de esgoto (Figura 1).

Figura 1: Danos causado na Rua Aimorés esquina com a Rua Miguel Gantus.



Fonte: TERRA (2013)

Para melhor compreender alternativas que estão sendo utilizadas no sentido de mitigar os efeitos nocivos causados pela crescente ocupação dos centros urbanos, e da maior impermeabilização das cidades, este artigo realizou um estudo hidrológico para determinação de vazão de dimensionamento de uma nova ponte sobre o córrego Afonso XIII, na Rua Miguel Gantus em Tupã área de enchente na cidade de Tupã – SP.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral: O objetivo deste é artigo é verificar os efeitos da urbanização sobre uma bacia hidrográfica e seus impactos

Objetivos específicos:

- Checar se o projeto original da ponte sobre o Córrego Afonso XIII, estava corretamente dimensionado para atender a nova demanda de vazão criada com a maior impermeabilização do solo e ao aumento da população urbana de Tupã.
- Elaborar um estudo hidrológico do trecho do braço esquerdo do Córrego Afonso XIII, junto à nova ponte a Rua Miguel Gantus, para a determinação da vazão de pico.

3. MÉTODO DE ANÁLISE

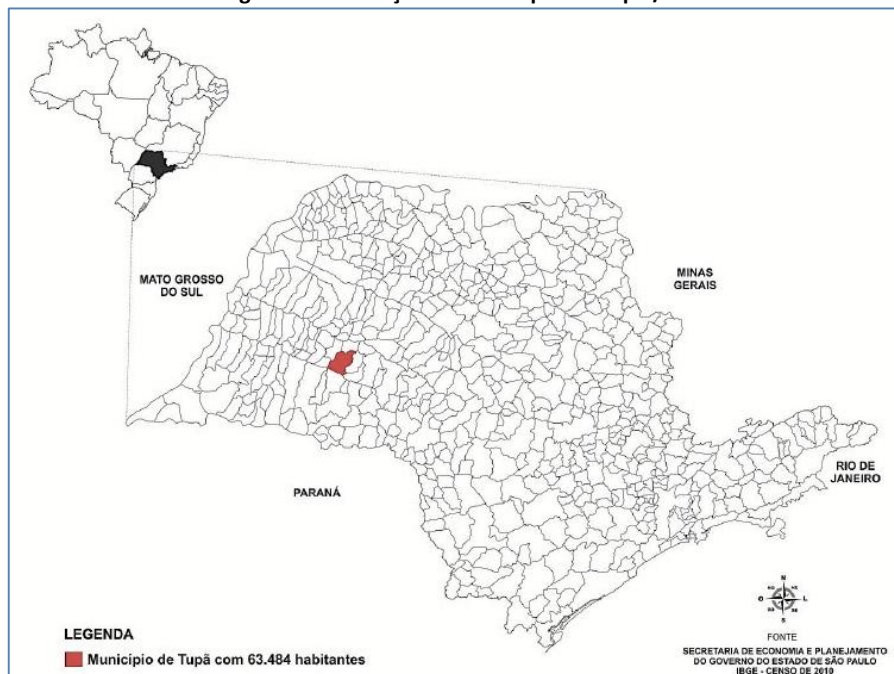
Esta seção apresenta uma descrição breve dos procedimentos metodológicos para cumprir os objetivos deste trabalho.

- Inicialmente, foi realizado uma revisão bibliográfica sobre os efeitos da urbanização sobre uma bacia hidrográfica, seus impactos, os riscos ambientais, as medidas de controle de enchentes e os estudos das vazões de enchentes;
- Posteriormente, foram feitos levantamentos de campo, com propósito de avaliar a situação antes das medidas de controle de enchentes, determinação de vazão de pico, e análises dos efeitos da inundação.
- Finalmente, foi apresentar um estudo de caso, englobando os problemas existentes na passagem sobre o córrego em estudo, levando em consideração o evento de inundação ocorrido em abril de 2013, e as soluções estruturais adotadas para sanar esse problema de enchente.

3.1. LOCAL DE ESTUDO

A área de estudo está localizada a Centro-Oeste do Estado de São Paulo (Figura 2). O município de Tupã faz divisa com os Municípios de Arco-Íris, Herculândia, Quintana, Quatá, Bastos, João Ramalho e Iacri, localizado na latitude 21° 56' 05" S "e longitude 50° 30' 49" O.

Figura 2: Localização do município de Tupã / SP



Fonte: Benini (2015)

Segundo Benini (2015), a cidade de Tupã foi projetada inicialmente como a maioria das cidades do Estado de São Paulo, tendo o traçado urbano original orientado por uma morfologia, em que pode ser identificada por sua disposição quadrática

As nascentes do córrego Afonso XIII estão situadas na região central do município de Tupã. O córrego Afonso XIII é formado pelos braços esquerdo e direito, em forma de “Y”, seguindo em direção norte, com extensão total de aproximadamente 17,5 km. Benini (2015), relata também que o braço esquerdo e o direito nascem em região densamente urbanizada e seguem no sentido Norte do município até a confluência próximo à Rua Timborés, a partir daí o ribeirão Afonso XIII segue por região menos urbanizada, em direção ao norte até descarregar na margem esquerda do rio Jacri.

De acordo com levantamento topográfico da região, a área de contribuição das águas pluviais que escoam sobre a travessia da Rua Miguel Gantus (ponto nº 7) é formado por parte da bacia hidrográfica do tramo esquerdo do Córrego Afonso III, com extensão de 4,17 km². A área pode ser considerada totalmente urbanizada, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3: Foto da bacia do córrego Afonso XIII, braço esquerdo



Fonte: FCTH/USP (2008)

3.2. CLIMATOLOGIA

De acordo com Sant'Anna Neto (1995), a região onde se localiza o município de Tupã, é caracterizada por clima tropical quente e úmido, com chuvas de verão e com 1 a 2 meses de estação seca. Toda esta região situa-se em zona de transição climática, onde a circulação atmosférica é controlada pela dinâmica das massas tropicais, setentrionais e meridionais.

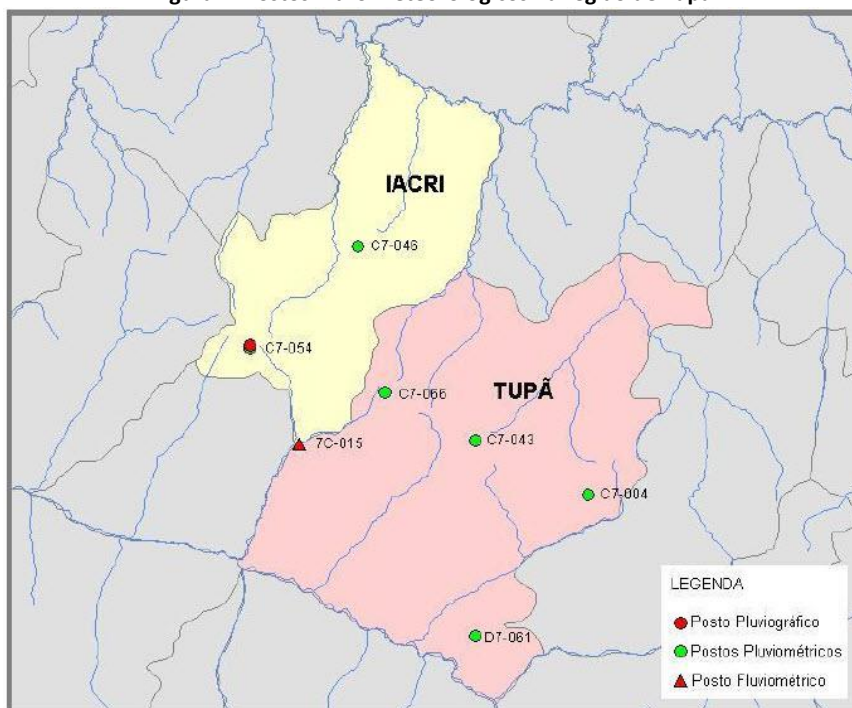
A principal responsável pela produção da maior quantidade de precipitações na região é a frente polar Atlântica. As massas tropicais setentrionais, responsáveis por instabilidades, são correntes oriundas da Amazônia e provocam chuvas intensas, de curta duração, com alta capacidade erosiva. A intensidade das precipitações chega a atingir mais de 1,6 mm/minuto durante períodos de 15 minutos.

3.2.1. Dados Hidro meteorológicos

Para a região que abrange a área do presente estudo hidrológico estão disponíveis dados de pluviometria para quatro postos. O município mais próximo a Tupã que possui dados hidro meteorológicos é Iacri, sendo dois postos pluviométricos e um posto fluviográfico.

A figura 4, apresenta a localização dos postos hidro meteorológicos existentes na região objeto do estudo hidrológico.

Figura 4: Postos hidro meteorológicos na região de Tupã.



Fonte: INMET (2020)

O Quadro 1, apresentam os postos pluviométricos a serem considerados neste trabalho.

Quadro 1: Postos pluviométricos na região de Tupã.

Prefixo do Posto	Nome	Município	Bacia	Altitude (m)	Localização	
					latitude	longitude
C7 - 046	Extremadura	Iacri	Jurema	440	21°48'	50°37'
C7 - 054	Iacri	Iacri	Peixe	510	21°52'	50°42'
C7 - 064	Faz. Bom	Luisiania	Aguapeí	420	21°42'	50°18'
C7 - 077	Novo Cravinhos	Pompéia	Caingangue	460	21°59'	50°06'
D7 - 003	Pompéia	Pompéia	Futuro	580	22°07'	50°12'
D7 - 029	Paulópolis	Pompéia	Peixe	580	22°06'	50°15'
D7 - 034	Pompéia (Acco)	Pompéia	Caingangue	580	22°06'	50°11'
D7 - 037	Pompéia (Sanbra)	Pompéia	Caingangue	440	22°06'	50°11'
D7 - 059	Vila Audenia	Pompéia	Peixe	420	22°13'	50°14'
C7 - 074	Queiros	Queiros	Caingangue	430	21°48'	50°14'
C7 - 004	Bairro Sabiá	Herculândia	Pitangueiras	480	21°58'	50°27'
C7 - 043	Tupã	Tupã	Peixe	510	21°56'	50°32'
C7 - 066	Universo	Tupã	Copaiba	510	21°54'	50°36'
D7 - 061	Varpa	Tupã	Peixe	430	22°04'	50°32'
CAT	CAT	Tupã	Corr. Afonso XIII B. Direito	511	21°56'	50°30'
CAMAP	CAMAP	Tupã	Peixe	512	21°57'	50°29'

Fonte: INMET (2020)

3.2.2 Equação Intensidade - Duração – Frequência

O município de Tupã não possui equação de chuvas intensas, porém o convênio DAEE-USP publicou em junho de 1999 uma síntese dos estudos que contemplaram a análise das precipitações intensas para trinta localidades do Estado de São Paulo. Dentro as localidades estudadas, Tupã está inserida na área de influência do município de Iacri, um dos seus municípios limítrofes.

A região é hidrologicamente homogênea e não apresenta influencia orográfica, ou seja, não há alterações altimétricas significativas, em relação ao regime pluviométrico. Deste modo, optou-se por adotar a Equação I-D-F de Iacri (DAEE-USP, 1999) neste estudo hidrológico do braço esquerdo do córrego Afonso XIII.

A Equação I-D-F desenvolvida para o posto pluviométrico da Cidade de IACRI:

- Nome da estação: Iacri - C7 - 054;
- Município: Iacri;
- Altitude: 510m;
- Coordenadas geográficas: Lat. 21° 52'S - Long. 50° 42'W;
- Período de dados utilizados: 1990-91; 1993-98.

Esta equação (Expressão 1) foi publicada em 1999 e possui o seguinte formato, para $10 \leq t \leq 1440$:

$$it,T = 33,3984(t+20)^{-0,8486} + 2,2482(t+5)^{-0,6276} \cdot [-0,5009-1,03 \ln \ln(T/T-1)], \quad (1)$$

onde:

i: é a intensidade da chuva, correspondente à duração de tempo t e o período de retorno T, em mm/min;
t: duração da chuva em minutos; e
T: período de retorno em anos.

A Tabela 1 mostra as previsões de máximas alturas de chuvas de lacri.

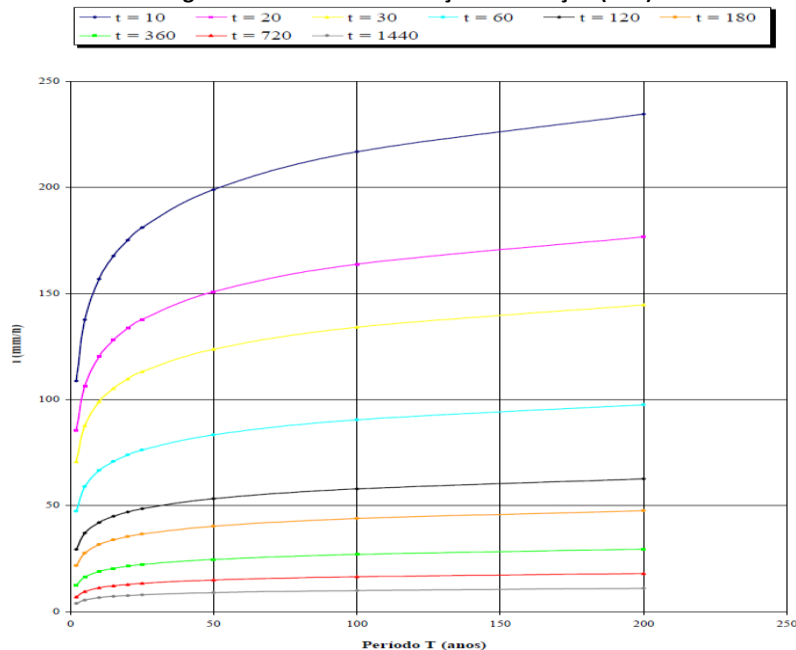
Tabela 1: Previsão de máximas intensidade de chuva em mm para lacri

Duração t (minutos)	Periodo de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	108,8	137,7	156,8	167,6	175,2	181,0	199,0	216,8	234,5
20	85,4	106,4	120,3	128,1	133,6	137,8	150,8	163,8	176,6
30	70,7	87,7	98,9	105,3	109,7	113,1	123,7	134,1	144,6
60	47,4	59,0	66,6	70,9	73,9	76,2	83,4	90,5	97,5
120	29,5	37,1	42,2	45,0	47,0	48,5	53,3	58,0	62,7
180	21,7	27,7	31,7	33,9	35,5	36,7	40,4	44,0	47,7
360	12,6	16,5	19,0	20,5	21,5	22,3	24,7	27,1	29,5
720	7,1	9,6	11,3	12,3	12,9	13,4	15,0	16,6	18,1
1080	5,1	7,0	8,3	9,1	9,6	10,0	11,2	12,4	13,6
1440	4,0	5,6	6,7	7,3	7,7	8,1	9,1	10,1	11,1

Fonte: DAEE-USP (1999)

A Figura 5 ilustra a curva I - D - F em função da chuva.

Figura 5: Curva I-D-F em função da duração (min)

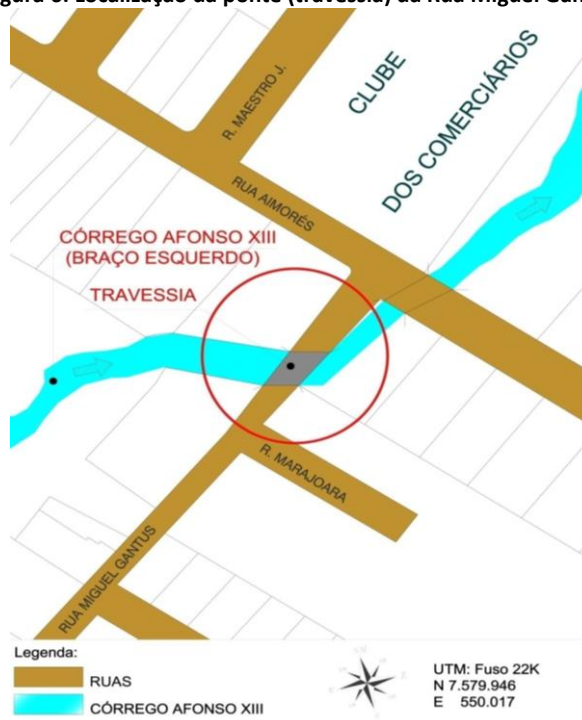


Fonte: DAEE-USP (1999)

3.2.3 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO SOB A PONTE DA RUA MIGUEL GANTUS

Para se analisar as causas da enchente, faz-se necessária a determinação da vazão máxima provável da travessia de águas pluviais sob a ponte do braço esquerdo do córrego Afonso XIII, na rua Miguel Gantus. A Figura 6, mostra a localização da ponte a ser analisada.

Figura 6: Localização da ponte (travessia) da Rua Miguel Gantus.



Fonte: Elaborado pelos autores

Foi utilizado neste estudo hidrológico a Instrução Técnica DPO nº 001 do DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica da Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos / SP (2005).

Devido à localização urbana e tratando-se de travessia, foi adotado período de retorno $T_r = 100$ anos.

O tempo de concentração foi determinado pela fórmula de Kipich:

$$t_c = 57 \times \left[\frac{L^{2,7}}{S} \right]^{0,385} \quad (2)$$

Onde:

t_c : tempo de concentração (min);

L : comprimento do talvegue;

S : declividade equivalente ou média (m/km)

As vazões de projeto são calculadas a partir de métodos empíricos baseados em equações de chuvas intensas representativas da região. O Quadro 2 indica os métodos indiretos

recomendados pelo DAEE (2005) em função das dimensões da área de drenagem da bacia contribuinte.

Quadro 2: Métodos de cálculo empíricos de vazões

Área de Drenagem	Método
Pequenas bacias ($A \leq 2,00 \text{ km}^2$)	Racional
Grandes bacias ($A > 2,00 \text{ km}^2$)	I - Pai - Wu

Fonte: DAEE, 2005

A área do braço esquerdo do córrego Afonso XIII, até o ponto 7, onde situa-se a passagem, é de $4,12 \text{ km}^2$, os cálculos das vazões serão feitos pelo método I-PAI-WU.

Método I - PAI – WU: Este método constitui em um aprimoramento do método Racional, sendo indicado para bacias com áreas de drenagem superiores a $2,0 \text{ km}^2$.

A equação básica do Método I - PAI - WU é dada pela equação 4:

$$Q = (0,278 \times C \times i \times A^{0,9}) \times K \quad (4)$$

$$Q_{\text{pico}} = Q_b + Q$$

Onde:

Q: vazão de cheia (m^3/s);

Q_b : vazão base (m^3/s) adotado $0,1 \times Q$;

i: intensidade de chuva (mm/h);

C: coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A: área da bacia (km^2) $\leq 200 \text{ km}^2$;

K: coeficiente de distribuição espacial da chuva (adimensional).

Cálculo do coeficiente C de escoamento superficial

O coeficiente C é calculado pela equação 5:

$$C = (C_2 / C_1) \times 2 / (1 + F) \quad (5)$$

Onde:

C: coeficiente de escoamento superficial;

C_1 : coeficiente de forma;

C_2 : coeficiente volumétrico de escoamento;

F: fator de forma da bacia.

Coeficiente de forma C_1 :

Conforme Kather (2005), em bacias alongadas, o tempo de concentração é superior ao tempo de pico, pois a chuva que cai no ponto mais distante da bacia chegará tarde o suficiente para não contribuir para a vazão máxima. Assim em bacias alongadas, deve-se esperar um valor de $C_1 <$, de acordo com a equação 6:

$$C_1 = t_p / t_c = 4 / (2 + F) \quad (6)$$

Onde:

tp: tempo de pico de ascensão (h);

tc: tempo de concentração (h).

Pelo SCS, $tp = 0,6 \times tc$, ou seja, $tp / tc = 0,60 = C_1$

Fator de forma da bacia F, de acordo com a equação 7:

$$F = L / \left[2 \left(\frac{A}{\pi} \right)^{0,5} \right] \quad (7)$$

Onde:

L: comprimento do talvegue (km);

A: área da bacia (km²);

F: fator de forma da bacia, conforme MORANO (2006), quando:

F=1; a bacia tem formato circular perfeito;

F<1; a bacia tem forma circular para elíptica e o seu dreno principal está na transversal da área;

F>1; a bacia tem forma circular para elíptica e o seu dreno principal está na longitudinal da área.

Coefficiente de forma C₂:

O coeficiente volumétrico de escoamento ocorre em função do grau de impermeabilidade da superfície, conforme DAEE SP (1994). Podemos adotar C₂ = 0,30 para grau baixo de impermeabilização; C₂ = 0,50 para grau médio e C₂ = 0,80 para grau alto, conforme o Quadro 3.

Quadro 3: Grau de impermeabilização do solo em função do uso.

Grau de impermeabilização da superfície	Coefficiente volumetrico de escoamento C ₂
Baixo	0,30
Médio	0,50
Alto	0,80

Fonte: DAEE (1994)

Coefficiente K:

O coeficiente K é extraído do ábaco fornecido pelo DAEE SP, mostrado na figura 7.

Figura 7: Abaco para determinar o coeficiente K



Fonte: DAEE (1994)

4. RESULTADOS

Considerando o braço esquerdo do córrego Afonso XIII, até o ponto 7, a área é de 4,12 km². Os cálculos das vazões foram feitos pelo método I-PAI-WU. O comprimento do talvegue é de 5,04 km. O ponto da travessia do braço esquerdo do córrego Afonso XIII sob a ponte da Rua Miguel Gantus, denominando ponto 7, possui as coordenadas UTM (fuso 22K): N7.579.946; E 550.017. A Tabela 2 mostra as vazões calculadas até o ponto 7 onde se localiza a ponte da Rua Miguel Gantus, sobre o braço esquerdo do córrego Afonso XIII, com a vazão de pico Q_p, igual a 85,60 m³/s.

Tabela 2: Vazões calculadas – Tr=100 anos – até ponto 7 – Ponte Rua Miguel Gantus

Trecho	Talvegue	Área	Área acumulada	Cota M	Cota J	Desnível	Declive	C ₂	t	i	F	C ₁	C	K	t _c	Q _e trecho	Q _c acum.	Q _p acum.
	(km)	(km ²)	(km ²)	(m)	(m)	(m)	(m/km)		(min)	(mm/h)					(min.)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
1 - 2	1,40	1,62	1,62	525	487	38,0	27,143	0,60	120	168,744	0,975	1,345	0,452	0,98	20,72	32,07	32,07	35,28
2 - 3	0,21	0,07	1,69	483	480	3,0	14,286	0,60	120	142,034	0,703	1,480	0,476	0,98	1,68	1,68	33,75	37,13
3A - 3	1,15	1,52	3,21	505	484	21,0	18,261	0,60	120	142,034	0,827	1,415	0,464	0,98	26,19	26,19	59,94	65,93
3 - 4	0,31	0,39	3,60	484	480	4,0	12,903	0,60	120	142,034	0,440	1,639	0,508	0,98	10,00	8,43	68,37	75,21
4 - 5	0,97	0,24	3,84	517	476	41,0	42,268	0,60	120	142,034	1,755	1,065	0,409	0,98	13,17	4,38	72,75	80,02
5 - 7	1,00	0,28	4,12	517	474	43,0	43,000	0,60	120	142,034	1,675	1,088	0,412	0,98	13,40	5,07	77,82	85,60

Fonte: Elaborado pelos autores

A Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH / USP, realizou estudos hidrológicos no trecho urbano do córrego Afonso XIII, cujos resultados mostram que a passagem do Córrego Afonso XIII, braço esquerdo, existente sob a Rua Miguel Gantus (travessa 7) possui a área de apenas 4,00 m² e capacidade máxima de descarga **31,56** (m³/s). Assim, a vazão original é muito inferior a vazão de pico (Q_p) de 85,60 (m³/s), calculada pelo método I-PAI-WU.O. A forte chuva

ocorrida por volta da 7:00h, no dia 06 de abril de 2013, que atingiu o índice de 87,4 mm em um período de 45 minutos, ocasionou o transbordamento do córrego.

5. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados da vazão de pico indicam que a causa da inundação no dia 06 de abril de 2013, deveu-se à reduzida área de passagem existente, que possuía apenas **42,2%** da área necessária para escoar o caudal devido e ocasionou o transbordamento na entrada da ponte existente. Portanto, houve a necessidade de uma nova seção da travessia para o córrego Afonso XIII - braço esquerdo, sob a Rua Miguel Gantus, composto por duas células com largura transversal útil de 5,92 m, cada e altura de 2,00 m, dimensionada para vazão de pico de 91,50 (m³/s), que suporta a vazão da bacia contribuinte com área 4,12 km² e vazão de pico de **85,60** (m³/s). Portanto, em virtude da crescente ocupação dos centros urbanos, e da maior impermeabilização das cidades, os resultados apontam para a necessidade de se realizar novos estudos hidrológicos para o cálculo de vazão de pontes urbanas no município de Tupã para evitar novas inundações como a que ocorreu na ponte sobre o córrego Afonso XIII, na Rua Miguel Gantus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMY FILHO, José Eduardo et al. **Influência da progressiva ocupação urbana na ocorrência de áreas inundáveis**. Ciências e Engenharia, v. 26(2), p. 21-31, 2017.

BAIROCH, Paul. **De Jéricho à Mexico**. Villes et économie dans l'histoire. Paris: Gallimard, 1985.

BENINI, Sandra Medina. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: Estudo de caso da cidade de Tupã/SP**. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2015.

BRUBACHER, João Paulo. **Inundações e enxurradas, município de Esteio - RS**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 1ª Ed. Editora Oficina de Textos. São Paulo, 2005.

CONVENIO DAAE – USP. **Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo**. São Paulo, 1999.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELETRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAAE. **Instrução Técnica DPO 001**. São Paulo 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES – DNIT. **Manual de drenagem de rodovias. Publicação IPR – 724**, 2ª edição. Rio de Janeiro, 2006.

FRICTSCH, Fabricius Eduardo Danieli. **Influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco** – PR. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA - USP. **Estudos de Macrodrenagem Urbana da Estância Turística de Tupã**. São Paulo, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET – Acesso em 13/03/2020
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=anomaliaTempMediaAnual>

JENKINS, P.; SMITH, H.; WANG, Y. P. **Planning and housing in the rapidly urbanising world**. Londres e Nova Iorque: Routledge, 2007.

KARTHER, Christian. **Escoamento superficial e o uso do solo e da água na bacia do Ribeirão da Serragem – Vale do Paraíba**. Dissertação de mestrado. Universidade de Taubaté. Taubaté, 2005.

RAPOSO, Isabel. Explosão urbana em África. **Meio século de independências africanas**, p. 184-185, 2010.

UNDP (2007) — **Indicateurs du développement humain**. Rapport sur le développement humain 2007/2008. Tendances démographiques. UNDP.
http://hdr.undp.org/en/media/HDR_20072008_FR_Indictables.pdf (consulta:28/07/09)

UNITED NATIONS (2007a) — **World Population Prospects. The 2006 Revision**. Vol. 1, Comprehensive Tables, United Nations.
http://books.google.pt/books?id=ghTtZ89QOt4C&pg=PA7&source=gbs_toc_r&cad=4
UNITED NATIONS (2007b) — **Urban Agglomerations. 2007**. United Nations, Department of Economic and Social Affairs.
http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007urban_agglo.htm

LEOPOLD, Luna Bergere. **Hydrology for urban land planning** - A guidebook on the hydrologic effects of urban land use. Geological Survey Circular 554. U. S. Govern. Washington, 1968.
MORANO, José Roberto – **Pequenas barragens de terra**. Metodologia para projetos e obras. Edição Codasp. São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, Gabriel Araújo De. **Desastres hidrológicos e informações geográficas voluntárias: concepção de sistema colaborativo para o mapeamento de áreas de riscos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2017.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo: A Variabilidade Pluvial nos Últimos 100 Anos**. In: Sant'Anna Neto, J. L. & Zavatini, J. A. (Orgs). Variabilidade e Mudanças Climáticas. Rduem, Maringá. 2000.

SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, Abel Maia. **Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

TERRA.COM.BR – Acesso em 2014 - <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/vc-reporter-temporal-derruba-ponte-em-tupa-no-interior-de-sp,37e13c79001ed310VgnVCM5000009ccceb0aRCRD.html>

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Modelos Hidrológicos**. Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. 2ª edição. Porto Alegre, 2005.

ZHU, Zhihua *et al.* **Approach for evaluating inundation risks in urban drainage systems**. Science of the Total Environment, v.553, p. 1-12. Elsevier, 2016.