



# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA DO MUNICÍPIO DE GURUPI – TOCANTINS

\* Fabiano Fagundes<sup>1</sup>  
Julierme Siriano da Silva<sup>1</sup>  
Evandro Schmitt<sup>1</sup>  
Joel Carlos Zukowski Junior<sup>2</sup>

### RAINFALL INTENSITY EQUATION APPLICATION OF GURUPI – TOCANTINS

Recibido el 18 de octubre de 2018; Aceptado el 30 de abril 2020

#### Abstract

*The obtaining of the rainfall intensity equation is of fundamental importance for the taking of measures that aim at minimizing problems of hydrological origin, mainly in the control of floods. Among these measures are the sewers that are widely used in the engineering field for the realization of the surface runoff of a sub-basin. This equation is formed by the relationship between the intensity, duration and frequency that provides the parameters  $K$ ,  $a$ ,  $b$  and  $c$  beyond the return and concentration times. This article seeks to determine the parameters of the Gurupi-TO rainfall intensity equation, as well as to compare it with the equation provided by the Pluvio 2.1 software in the application of a rectangular culvert draining water in the Córrego Mutuca sub-basin. The parameters of the rainfall intensity equation  $K = 1348.212$ ;  $a = 0.064$ ;  $b = 15.587$ ;  $c = 0.770$ . The sections of the culvert presented lower values with the equation presented in this study in relation to the equation provided by the software Pluvio 2.1. With the dimensions that the manhole presents currently occurred flood of the estradal body after 2 minutes of the beginning of the Rain.*

**Keywords:** IDF curve, maximum flow, Pluvio 2.1, manhole.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário UnirG, Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário UnirG. Avenida Antônio Nunes da Silva nº 2195, Coordenação de Engenharia Civil, Pq. das Acácias, Gurupi – Tocantins. CEP: 77425-500. Brasil. Email: [f.fagundes76@gmail.com](mailto:f.fagundes76@gmail.com)

## Resumo

A obtenção da equação de intensidade pluviométrica é de fundamental importância para a tomada de medidas que visem minimizar problemas de origem hidrológica, principalmente no controle de enchentes. Dentre essas medidas, apresentam-se os bueiros que são muito utilizadas no campo da engenharia para a realização do escoamento superficial de uma sub-bacia. Essa equação é formada por meio da relação entre a intensidade, a duração e a frequência que fornece os parâmetros  $K$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  além dos tempos de retorno e concentração. Este artigo busca determinar os parâmetros da equação de intensidade pluviométrica de Gurupi-TO, bem como compará-la com a equação fornecida pelo software Plúvio 2.1 na aplicação de um bueiro retangular que escoar água na sub-bacia do Córrego Mutuca. Obtiveram-se os parâmetros da equação de intensidade pluviométrica  $K = 1348.212$ ;  $a = 0.064$ ;  $b = 15.587$ ;  $c = 0.770$ . As seções do bueiro apresentaram menores valores com a equação apresentada nesse estudo em relação à equação fornecida pelo software Plúvio 2.1. Com as dimensões que o bueiro apresenta atualmente ocorreu inundação do corpo estradal após 2 minutos do início da Chuva.

**Palavras chave:** curva IDF, vazão máxima, Plúvio 2.1, bueiro.

---

## Introdução

Devido à acentuada urbanização que ocorre em muitos municípios, áreas anteriormente permeáveis foram substituídas por superfícies impermeáveis, que invariavelmente alteraram as características hidrográficas de suas bacias, principalmente no que diz respeito ao escoamento superficial.

Quando se substitui a vegetação responsável pela interceptação da água oriunda de precipitações, por pavimentos que apresentam características impermeáveis, conseqüentemente, há um aumento nos picos e volumes de escoamento em períodos de tempo relativamente mais curtos, gerando inundações em pontos da bacia hidrográfica (Tfwala et al., 2017).

Nesse contexto, de crescimento demográfico e ocupações de bacias hidrográficas urbanas, em muitas ocasiões de forma desordenada, fez com que crescesse a preocupação dos órgãos governamentais e da sociedade organizada em torno dos prejuízos gerados por eventos extremos em diversas cidades, buscando-se alternativas de gerenciamento de águas pluviais que minimizem os efeitos desses eventos.

Dentre as alternativas apresentam-se as lagoas de retenção, que são projetadas para armazenar e liberar o escoamento da chuva com base em um período de retorno selecionado, por exemplo: 100 anos (Elshorbagy et al., 2018). Outras opções são os sistemas de drenagem de águas pluviais, convencionalmente projetados para coletar o escoamento de águas pluviais e transportá-lo para os locais de descarga no menor intervalo de tempo possível (Jun et al., 2017).

No entanto, é importante que a capacidade dessas estruturas sejam adequadamente dimensionadas evitando projetos super ou subestimados, o que poderia levar a perdas econômicas, aumento de danos à propriedade e possível aumento do risco de perda de vidas (Wei et al., 2017).

Para a tomada correta de decisão quanto ao projeto, planejamento ou mesmo execução é necessário entender o processo de precipitação dentro do espaço e do tempo, visando prever ocorrências a níveis extremos que provocam, além de inundações, o aumento da instabilidade de encostas e aterros em decorrência da alteração das características mecânicas, hidráulicas e físicas do solo e da vegetação (Bezak et al., 2016).

Em essência, a previsão de eventos pluviométricos extremos, são realizados com base na estatística de eventos passados e também se utilizando de modelos matemáticos que visam simular características climáticas de uma determinada região (Castro et al, 2011). Essa quantificação de precipitações extremas, de suma importância para o desenvolvimento dos projetos hidrológicos e o desenvolvimento de medidas estruturadas para proteção contra inundações, especialmente em áreas urbanas, podem ser obtidas utilizando as relações de Intensidade, Duração e Frequência (IDF).

Segundo Agilan et al. (2018) essas curvas são construídas usando dados de séries pluviométricas observando a distribuição de probabilidade teórica adequada para séries de duração parcial ou séries máximas anuais de precipitação.

A construção das curvas IDF tem uma longa história, remontando pelo menos ao papel do americano Bernard (1932). No Brasil, essas curvas foram determinadas em 1957 por Otto Pfafstetter, para um grande número de cidades atendidas pelo antigo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS). A partir de então, várias cidades desenvolveram suas equações.

Para modelar os resultados hidrológicos das bacias urbanas de forma confiável, seja para o clima atual ou futuro, é necessário o uso de dados de precipitação horária ou mesmo sub-horária (Fadhel et al., 2017).

A precisão e a eficiência do projeto de infraestrutura de água e o planejamento do gerenciamento de enchentes são altamente dependentes de informações confiáveis de precipitação. A maioria das aplicações meteorológicas e hidrológicas requerem dados sub-diários e pluviométricos de 24 horas para capturar a variabilidade espacial e temporal de eventos de precipitação intensa (Paixao et al., 2015). No entanto, uma dificuldade na produção de curvas IDF é que os períodos de retorno estudados exigem vários anos de observação, enquanto que as séries à disposição são, na maioria das vezes, muito mais curtas. Estimar o nível de retorno de 100 anos, por exemplo, depende então da extrapolação usando algum modelo estatístico (Mélèse et al., 2018).

A carência de estações pluviográficas também é um problema que afetam na qualidade dos dados. No Brasil, alguns estudos foram desenvolvidos visando à obtenção de valores de precipitação em um tempo de duração menor com base em registros pluviométricos diários. Estes utilizam coeficientes na transformação da chuva de 24 horas em durações inferiores (Pereira et al., 2017).

Com a obtenção da curva IDF pode-se conhecer a vazão de enchente de uma bacia (Borges; Thebaldi, 2016). Dentre alguns métodos empíricos para a previsão da vazão máxima em bacias hidrográficas, destacam-se os: Método Racional; Método de Conservação do Solo (SCS); Método de Regionalização; entre outros (Abebe et al., 2018).

Silva et al. (2003) apresentou um estudo das equações de chuvas de 10 cidades do Tocantins, inclusive do município de Formoso do Araguaia, localizada no sul do estado à 73 km de Gurupi/TO.

Apesar da proximidade, conforme Tocantins (2015) a média pluviométrica de Formoso do Araguaia varia entre 1600 mm a 1800 mm em sua área territorial anualmente, entretanto a cidade de Gurupi apresenta valores entre 1500 mm a 1600 mm.

Atualmente, para obtenção da curva IDF para o município de Gurupi/TO utiliza-se o software Plúvio 2.1 que espacializa os dados de chuvas intensas pelo método do inverso da quinta potência da distância, por ser esta uma das 28 combinações entre formas de interpolação que apresentaram melhores resultados na estimativa da intensidade máxima e média de precipitação (Fiorio et al, 2012). O Plúvio 2.1 é um software desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa – MG.

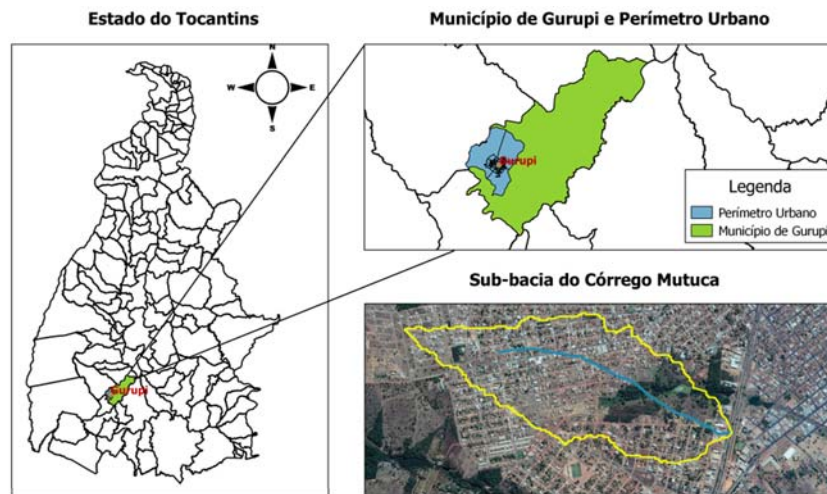
Tendo em vista a importância do conhecimento das curvas IDF para a realização de projetos de infraestrutura hídrica buscou-se a obtenção da equação da cidade de Gurupi/TO utilizando a série de dados própria do município para comparação com as equações disponibilizadas pelo software Plúvio 2.1, aplicando-as no projeto de canalização do córrego Mutuca localizado no perímetro urbano de Gurupi/TO.

### Metodologia

Gurupi está localizada na região sul do Tocantins, às margens da BR-153 (Rodovia Belém-Brasília), à 223 km de Palmas, a capital do Estado. Possui aproximadamente 85523 habitantes em 2017, a uma latitude 11°43'48" sul e a uma longitude 49°04'08" oeste, estando a uma altitude de 287 metros (IBGE, 2011).

O córrego Mutuca é um pequeno afluente do córrego Água Franca. Sua microbacia, cuja nascente e foz estão localizadas na área urbana de Gurupi/TO, produz uma pequena vazão. Gurupi (2015)

detalha que o clima, segundo a classificação de Koppen, é tropical megatérmico, quente e úmido durante todo o ano, com período chuvoso entre os meses de outubro e abril e estiagem entre os meses de maio a setembro. A temperatura média anual varia entre a mínima de 12°C e a máxima de 30°C, mas nos meses mais quentes do ano chega a 42°C à luz do dia. A figura 1 apresenta a localização do município e da sub-bacia do córrego Mutuca.



**Figura 1.** Localização da área de estudo

Obteve-se os dados pluviométricos com o Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb), alimentado pela ANA – Agência Nacional das Águas, na estação código 01149002 para uma série histórica de 40 anos, no período de 1972 a 2017. As frequências foram alcançadas a partir da fórmula de Weibull (Equação 1):

$$f_{\text{obs}} = \frac{i}{N+1} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

fobs: frequência observada de excedência

i: posição em que os dados ocupam dentro da série histórica

N: tamanho da série histórica

Com os valores da frequência de excedência, verificam-se os Tempos de Retorno (TR) das precipitações correspondentes a cada frequência, conforme a Equação 2:

$$TR = \frac{1}{f_{\text{obs}}} \quad \text{Equação (2)}$$

Na sequência ajustou-se a Função Densidade de Probabilidade (FDP) no modelo de Gumbel para valores máximos representada pela Equação 3:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \cdot e^{\left[ -\frac{(x-\mu)}{\alpha} - e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}} \right]} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$\alpha$  e  $\mu$ : parâmetros da distribuição

Com a Equação 4 pode-se calcular a função cumulativa de probabilidade, que avalia o valor de X como a variável de precipitação máxima diária anual e x é um determinado valor da mesma variável.

$$P(X \geq x) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad \text{Equação (4)}$$

Os parâmetros de distribuição, para o desenvolvimento da distribuição de Gumbel, podem ser calculados pelas expressões apresentados pelas equações 5 e 6:

$$\alpha = \frac{1.2826}{S} \quad \text{Equação (5)}$$

$$\mu = \bar{X} - 0.451 \cdot S \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

$\bar{X}$ : média da série histórica

S: desvio padrão da série histórica

Por fim, obtém-se a equação de chuvas intensas, dada pela Equação 7 que é, segundo Villela & Mattos (1975) e Neto et al. (2016), a equação de intensidade-duração-frequência (IDF) de chuvas intensas mais aplicada nos variados estudos:

$$i = \frac{k \cdot TR^a}{(t_c + b)^c} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

I: intensidade pluviométrica (mm/h)

TR: tempo de retorno (anos)

Tc: tempo de concentração da chuva (min.)

a, b, c e k: parâmetros relativos à localidade

Para obtenção dos valores das precipitações associados a certas durações empregou-se o método de desagregação de chuvas de simples execução, apresentando resultados satisfatórios. Esse método foi proposto pela CETESB (1986) com valores de tempos de duração de precipitação máxima anuais de 5 a 1440 min considerando o período de retorno de 5 a 100 anos.

**Tabela 1.** Coeficientes de desagregação de chuva com duração inferior a 1 dia

Relação (ht1/ht2)	Coeficiente de Desagregação
1 dia	1
24 h/dia	1.14
12 h/24h	0.85
10 h/24h	0.82
8 h/24h	0.78
6 h/24h	0.72
4 h/24h	0.63
2 h/24h	0.52
1 h/24h	0.42
30 min/1h	0.74
25 min/30min	0.91
20 min/30min	0.81
15 min/30min	0.70
10 min/30min	0.54
5 min/30min	0.34

Fonte: CETESB (1986)

Conforme Tassi et al. (2005) e DNIT (2006) as estruturas de drenagem para transposição do corpo estradal são de três tipos básicos: bueiros, galerias e pontes. Para a realização de projetos dessas estruturas é necessário dimensionar a vazão máxima de projeto, que pode ser determinada a partir do uso do Método Racional ou dos Métodos do Soil Conservation Service (SCS) (para a separação e propagação do escoamento), entre outros.

O método Racional Modificado foi utilizado visando verificar a aplicabilidade das curvas IDF, tanto o calculado no presente trabalho, bem como com o Plúvio 2.1 no cálculo de um bueiro retangular que escoar a água da área da sub-bacia do Córrego Mutuca que se encontra à montante da BR 153 que está localizada no perímetro urbano da cidade de Gurupi.

Como se trata de um sistema que possui a finalidade de realizar o controle de enchentes, configurando-se como uma medida estrutural, conforme recomendações do DNIT (2006) e Canholi (2018), utilizou-se o tempo de retorno de 25 anos.

## Resultados e discussão

### Precipitação máxima diária anual

O maior valor constatado para a precipitação máxima diária anual foi de 127 mm, que ocorreu no ano de 2014, ao passo que o menor valor encontrado foi de 42.3 mm no ano de 1986. Para a desagregação de chuvas considerou-se a precipitação média anual de 108.02 mm para um desvio padrão de 9.34 mm.

**Tabela 2.** Precipitações máximas diárias anuais de Gurupi

Data	Precipitação máxima diária anual (mm)	Data	Precipitação máxima diária anual (mm)
01/03/2016	71.1	01/10/1996	60,5
01/05/2015	70.7	01/10/1995	68
01/11/2014	127	01/11/1994	71
01/12/2013	120.5	01/04/1993	88,1
01/11/2012	75.1	01/02/1989	64.3
01/10/2011	105.3	01/12/1988	81
01/11/2010	70.9	01/12/1987	102
01/04/2009	111.5	01/12/1986	42.3
01/03/2008	98.9	01/11/1985	86.8
01/03/2007	48	01/03/1984	56.2
01/02/2006	94.5	01/02/1983	50
01/03/2005	96	01/03/1982	65
01/01/2004	100.6	01/11/1981	64
01/12/2003	61.5	01/03/1980	71.2
01/12/2002	77.5	01/04/1979	67
01/03/2001	110.1	01/11/1978	95
01/02/2000	73.7	01/09/1977	63.6
01/01/1999	49.1	01/11/1976	56.8
01/01/1998	105.5	01/10/1975	64
01/02/1997	110.8	01/12/1974	49.4

Fonte: Autor, 2018

Observa-se que somente 2014 e 2013 destacaram-se como anos que apresentaram altura de precipitação máxima diária superiores a 120 mm, ao passo que nos anos de 2007, 1999, 1986 e 1974 apresentaram os menores valores, abaixo de 50 mm. Há de salientar, que não foram considerados os dados dos anos de 1992, 1991 e 1990 devido à estação pluviométrica 01149002 não apresentar dados de chuvas nesse respectivo período.

A Tabela 3 apresenta as precipitações máximas anuais pelo método de desagregação em ordem decrescente com durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 600, 720, 840 e 1440 minutos. No método de desagregação das chuvas diárias, inicialmente deve se determinar a chuva de 24 h e em seguida as chuvas com duração inferior a cada etapa, multiplicando-se os coeficientes. Observa-se que quanto maior o Tempo de Retorno considerado, maior será a altura da lâmina de água precipitada.



**Tabela 3.** Altura pluviométrica (mm)

Duração (min)	Período de Retorno (anos)					
	2	5	10	25	50	100
1440	5.15	5.47	5.71	6.06	6.34	6.63
720	8.72	9.25	9.67	10.25	10.72	11.21
600	10.00	10.60	11.09	11.76	12.30	12.85
480	11.82	12.53	13.10	13.90	14.53	15.19
360	14.63	15.51	16.22	17.20	17.99	18.81
240	19.67	20.87	21.82	23.14	24.19	25.29
120	32.04	33.98	35.53	37.68	39.40	41.19
60	50.20	53.24	55.67	59.04	61.73	64.54
30	73.98	78.47	82.04	87.01	90.98	95.12
25	80.87	85.77	89.67	95.11	99.44	103.97
20	89.43	94.85	99.17	105.18	109.96	114.97
15	100.40	106.49	111.33	118.08	123.46	129.08
10	115.06	122.03	127.58	135.32	141.48	147.92
5	135.78	144.01	150.57	159.70	166.97	174.57

Fonte: Autor, 2018

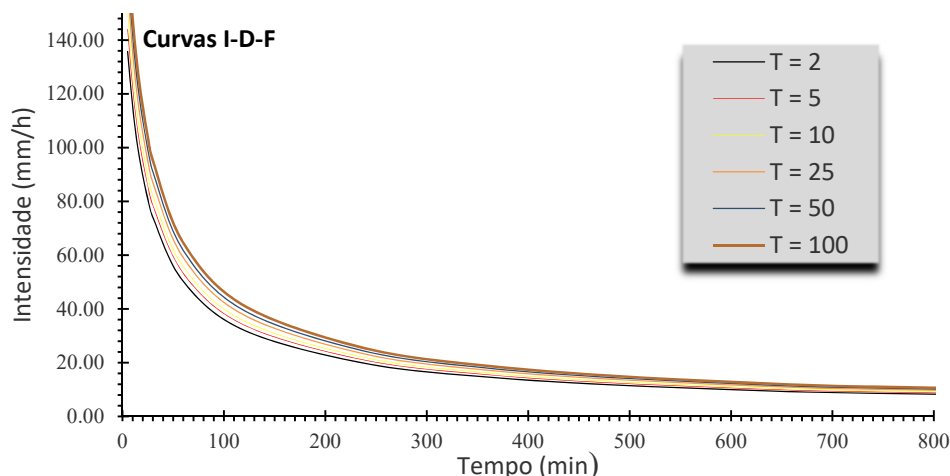
A escolha do Tempo de Retorno é de grande importância para realização de projetos de infraestrutura hidrológica, tendo em vista que este pode mudar de acordo com o tipo de obra que se deseja executar. Segundo o DNIT (2006), por exemplo, períodos de retornos para bueiros podem variar de 10 a 20 anos, para pontes, é definido tempos de recorrência de 50 a 100 anos. Neves et al. (2015) considera que esses valores podem alcançar até 1000 anos em caso de barragens.

Na Figura 2 são apresentadas as curvas IDF de Gurupi que foram realizadas utilizando o suplemento Solver do software Excel®. Trata-se uma ferramenta de teste de hipóteses, onde pode-se identificar um valor mínimo ou máximo para a equação. Assim, Solver foi utilizado para obter valores para os parâmetros a, b, c e K da equação 7, apresentando o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), foi de 0.9994, configurando-se como “ótimo”.

Com os valores das intensidades das precipitações máximas, ajustaram-se os coeficientes das relações da curva IDF utilizando o método dos mínimos quadrados para a determinação dos parâmetros K, a, b e c da equação de chuvas intensas de Gurupi conforme pode se observar na Equação 7:

$$i = \frac{1348.212 * TR^{0.064}}{(t_c + 15.847)^{0.770}}$$

Os parâmetros a, b, c e d são parâmetros locais obtidos por regressão não linear, com base nas informações extraídas de pluviogramas a partir de ajustes obtidos pelo método dos mínimos quadrados.



**Figura 2.** Curvas IDF do município de Gurupi/TO

O software Plúvio 2.1 forneceu os dados para Gurupi com valores de K, a, b e c diferentes do visto anteriormente. Segundo Fiorio et al. (2012) e Pruski et al. (2006), isto deve-se ao fato de que a metodologia realiza a interpolação, independentemente, para cada um dos parâmetros desta equação, das localidades dos estados em que as equações são conhecidas. Onde se considera o inverso da quinta potência como o fator de ponderação empregado entre as localidades em que os parâmetros são conhecidos e o local (latitude e longitude) que se deseja encontrar uma nova equação.

$$i = \frac{8755.640 * TR^{0,177}}{(t_c + 55,103)^{1,077}}$$

#### Aplicabilidade das Curvas IDF

Com as equações de intensidade pluviométrica definidas, calculou-se a vazão máxima de escoamento de água para captação por meio de bueiro para o córrego Mutuca utilizando o Método Racional Modificado, conforme indicação de Chow et al. (1988) tendo em vista que área da bacia trabalhada possui 258.56 hectares. O tempo de concentração utilizado foi o indicado pelo método desenvolvido por o Kirpich (1940), conforme se pode observar na Tabela 4:

**Tabela 4.** Altura pluviométrica (mm)

Área (ha)	Declividade (%)	Área impermeável (%)	t <sub>c</sub> (min.)	I - Método do autor (mm/h)	I - PLUVIO 2.1 (mm/h)
258.56	2.09%	0.22	11.54	129.51	168.09

Fonte: Autor, 2018

Verificou-se que a equação apresentada neste trabalho obteve-se o valor de intensidade de 129.51 mm/h, enquanto que a apresentada pelo PLUVIO 2.1 foi de 168.09 mm/h, uma diferença apresentada de 23%. Braga et al. (2018), expressa que como o fator de ponderação empregado corresponde à localidade, ao realizar a interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas pelo inverso da quinta potência da distância, verifica-se que quanto mais próximo da estação pluviométrica, menores serão os valores de erro médio percentual e melhores resultados para a espacialização dos coeficientes. Na equação proposta pelo PLUVIO 2.1 a localização das estações pluviométricas encontram-se em outros municípios do estado Tocantins com base nos estudos de Silva et al. (2003), não gerando uma equação específica para a estação pluviométrica da cidade de Gurupi.

Com os valores das equações de vazões máximas obtidas, utilizou-se o software Storm Water Management Model (SWMM) para validação das seções dos bueiros verificando as medidas mínimas para escoamento da água escoada na bacia. Definiu-se que a altura do bueiro corresponde a 1.00 m para ambas as seções, optando-se pela variação apenas da base do retângulo.

Conforme se pode observar na Figura 3, o bueiro que apresentou maior seção, ou seja, demandou maior área para a realização do escoamento da água, requerendo maiores custos de construção, foi o que utilizou a Equação do software Plúvio 2.1.

Atualmente encontra-se no local um bueiro com 2 seções retangulares com altura de 0.60 m e base de 1.20 m. Realizando a simulação com a vazão máxima da curva IDF proposta pelo método realizado neste trabalho, verificou-se que a inundação do corpo estradal seria alcançada logo após o início da chuva, mais precisamente aos 2 minutos.

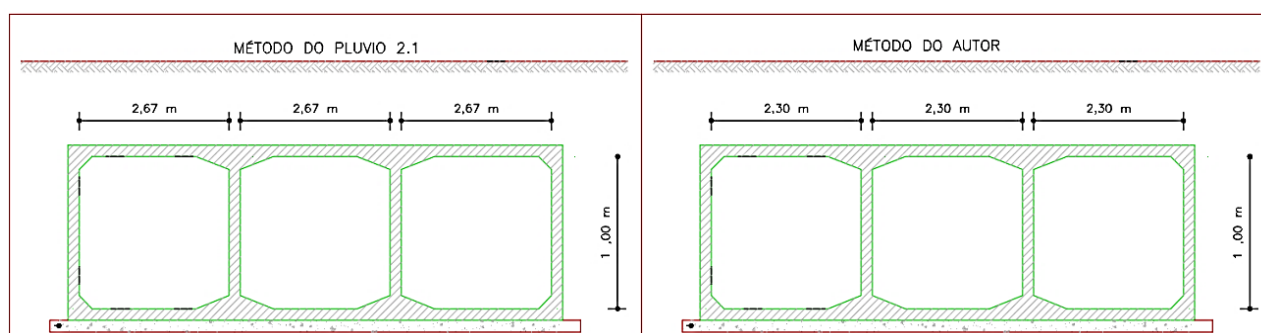


Figura 3. Curvas IDF do município de Gurupi/TO

## Conclusão

Na análise da série de precipitação máxima diária anual do município de Gurupi, Tocantins, Brasil, cabe salientar que os dados tiveram a variação de seus valores entre 127.0 mm no ano de 2014 à 42.3 mm no ano de 1986.

Com aplicação de modelagem matemática, por meio do método de distribuição de Gumbel e desagregação dos valores de precipitação, obtiveram-se os parâmetros da equação de intensidade pluviométrica  $K = 1348.212$ ;  $a = 0.064$ ;  $b = 15.587$ ;  $c = 0.770$ . A equação gerada deste estudo apresentou valores de área de seção transversal menores em comparação à equação apresentada pelo software PLUVIO 2.1, apresentando maior economia dos custos de produção, tendo em vista que há diminuição considerável do volume necessário dos materiais construtivos, contribuindo, deste modo, para o contexto da sustentabilidade na construção civil.

Mesmo neste contexto de otimização, verificou-se que a equação fornecida neste trabalho apresentou valores de área da seção transversal dos bueiros maiores que as que se encontram construídas atualmente no córrego Mutuca, ocasionando no não atendimento de suporte em relação ao volume de pluviometria na sub-bacia, proporcionando a inundação do corpo estradal.

Chega-se ao entendimento que a equação gerada nesse estudo demonstra-se a mais adequada para a correção da estrutura de drenagem, tendo em vista que apresenta seção maior que a existente no local de estudo citado, bem como apresenta maior economia dos custos construtivos em relação as seções apresentadas pelo software PLUVIO 2.1.

## Referências bibliográficas

- Agilan, V., Umamahesh, N.V. (2016) Is the covariate based non-stationary rainfall IDF curve capable of encompassing future rainfall changes? *Journal of Hydrology*. **541**, 1441-1455.
- Abebe, Y., Kabir, G., Tesfamariam, S. (2018) Assessing urban areas vulnerability to pluvial flooding using GIS applications and Bayesian Belief Network model. *Journal of Cleaner Production*. **174**(10), 1629-1641.
- Bernard, M. M. (1932) Formulas for rainfall intensities of long duration. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, **96**, 592-624.
- Bezák, N., Šraj, M., Mikoš, M. Copula-based (2016) IDF curves and empirical rainfall thresholds for flash floods and rainfall-induced landslides. *Journal of Hydrology*. **541**, 272-284.
- Borges, G. M. R., Thebaldi, M. S. (2016) Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. *Ambiente & Água*, Taubaté, **11**(4), 891-902.
- Braga, R. N. S., Hora, M. A. G. M.; Lyra, G. B., Nascentes, A. L. (2018) Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro. *Revista Ambiente & Água*. **13**(1), 1-14.
- Canholi, A. P. (2018) *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1986). *Drenagem urbana: manual de projeto*. 1.ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 466pp.
- DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (2006). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Brasil. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de drenagem de Rodovias*. - 2. ed. - Rio de Janeiro, 333pp.

- Elshorbagy, A., Lindenau, E., Azinfar, H. (2006) Risk-based quantification of the impact of climate change on storm water infrastructure. *Water Science*. Acesso em 20 de junho 2018, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110492917300887>
- Fadhel, S., Rico-Ramirez, M. A., Hana, D. (2017) Uncertainty of Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves due to varied climate baseline periods. *Journal of Hydrology*. **547**, 600-612.
- Fiorio, P. R., Duarte, S. D., Rodrigues, G. O., Miranda, G. O., Cooke, R. A. (2012) Comparação de equações de chuvas intensas para localidades do estado de São Paulo. *Eng. Agríc.* **32**(6), 1080-1088.
- GURUPI (2015) Audiência: *Avaliação da demanda de criação da unidade de conservação municipal – fragmento nascente do córrego mutuca*. Gurupi/Tocantins.
- IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (2011). *Censo Demográfico 2010*. Brasília-DF. Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão.
- Jun, C., Qin, X., Gan, T. Y., Tung, Y., Michele, C. D. (2017) Bivariate frequency analysis of rainfall intensity and duration for urban stormwater infrastructure design. *Journal of Hydrology*. **553**, 374-383.
- Kirpich, T.P. (1940) Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. *J. of Civ. Eng.*, **10**(6), 362.
- Mélèse, V., Molinié, J. B. G. (2018) Uncertainty estimation of Intensity–Duration–Frequency relationships: A regional analysis. *Journal of Hydrology*. **558**, 579-591.
- Neto, V. L. S., Viola, M. R., Rêgo, P. L., Oliveira, A. L., Silva, L. L. (2016) Relação intensidade-duração-frequência (Idf) para precipitação extrema em Guaraí-TO. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, **13**(23), 1154.
- Neves, E. M., Caldeira, L., Pinheiro, A. N. (2015) *Projeto, Construção e Observação de Pequenas Barragens de Aterro*. IST - Instituto Superior Técnico. Portugal.
- Paixao, P., Mirza, M. M. Q., Shephard, M. W., Auld, H., Klaassen, J., Smithe, G. (2015) An integrated approach for identifying homogeneous regions of extreme rainfall events and estimating IDF curves in Southern Ontario, Canada: Incorporating radar observations. *Journal of Hydrology*. **528**, 734-750.
- Pereira, D. C., Duarte, L. R., Sarmento, A. P. (2017) Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – Goiás. *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, **13**(2), 233-246.
- Pfaffstetter, O. (1957) *Chuvas intensas no Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas, 420 pp.
- Pruski, F.F., Silva, D.D., Teixeira, A.F., Cecílio, R.A., Silva, J.M.A., Griebeler, N.P. (2006) *Hidros. Dimensionamento de sistemas hidroagrícolas*. Viçosa: Editora UFV. 259 pp.
- Rossman, L. A. (2008) *SWMM 5: User's Manual*. Cincinnati, OH : Environmental Protection Agency. 12th edition. 295 pp.
- Rupa, R. Saha, U., Mujumbara, P.P. (2015) Model and parameter uncertainty in IDF relationships under climate change. *Advances in Water Resources*. **79**, 127-139.
- Silva, D. D.; Pereira, S. B.; Pruski, F. F.; Rodrigues, R.; Filho, G. et al. Equações de Intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado do Tocantins. *Revista Engenharia na Agricultura*, **11**( 4), 7-14, 2003.
- Tassi, R., Bastos, C. A. B., Miranda, T. C. (2005) Aspectos metodológicos sobre o emprego do método do SCS com auxílio de ferramentas de geoprocessamento no projeto de estruturas de drenagem de uma rodovia. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, **5**(7), 27-37.
- Tfwala, C.M., Van Rensburg, L. D., Schall, R., Mosia, S. M., Dlamini, P. (2017) Precipitation intensity-duration-frequency curves and their uncertainties for Ghaap plateau. *Climate Risk Management*, **16**, 1-9.
- Tocantins (2015) *Mapas: Precipitação média anual do Estado do Tocantins*. Secretaria de Planejamento e Orçamento – SEPLAN.
- Villela, S. M., Mattos, A. (1975) *Hidrologia aplicada*. McGraw-Hill, 239 pp.
- Wei, Z., Shang, Y., Zhao, Y., Pan, P., Jiang, Y. (2017) Rainfall threshold for initiation of channelized debris flows in a small catchment based on in-site measurement. *Engineering Geology*, **217**, 23-34.