

# ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA PARA FRANCA-SP, COM O PROPÓSITO DA CURVA IDF

## STATISTICAL ANALYSIS OF MAXIMUM DAILY PRECIPITATION IN FRANCA-SP, FOR IDF CURVE PURPOSE

**Giovanni Chaves Penner**

Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental  
Instituto de Tecnologia  
Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, PA.  
*gpenner@gmail.com*

**Cleiber Roberto Pacifico do Nascimento**

Engenharia Civil – UNIFRAN, Franca, São Paulo.  
*crpnascimento@hotmail.com*

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi elaborar uma curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para a cidade de Franca, Estado de São Paulo, usando os registros pluviométricos da Estação Climatológica Principal, cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com 49 anos de registros, período de 1965 a 2014. Os intervalos de duração: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos foram desagregados dos registros pluviométricos conforme valores de desagregação sugeridos na literatura. Para o estudo da frequência de distribuição das chuvas intensas nos tempos de recorrência de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, utilizou-se o método de Chow-Gumbel. A análise dos resultados finais mostrou boa aderência entre os dados e método aplicado, assim como os valores de intensidade máxima de chuva calculada em cada duração, resultando no coeficiente de determinação,  $R^2 = 0,999878$ . Os coeficientes ajustados para a equação IDF foram:  $T_0 = 12$  min,  $n=0,759$ ,  $m=0,155$  e  $K = 14,623$ . A equação IDF obtida pode ser utilizada para o dimensionamento de obras hidráulico-hidrológicas de forma mais precisa em Franca-SP e imediações.

**Palavras-chave:** chuvas intensas; águas pluviais; drenagem urbana; curva IDF.

**Abstract:** The purpose of this study was presented an intensity duration frequency curve (IDF) of the highest intensity rain observed in *Franca* city, *São Paulo* State, by pluviometric data from *Estação Climatológica Principal*, assigned from *Instituto Nacional de Meteorologia* (INMET), 49 year data, period of 1965-2014. Duration times: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutes was disaggregated from pluviometric data based on literature. The Chow-Gumbel method was applied for the study of the frequency distribution of intense precipitations considering different recurrence times (2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 years). The results obtained applying the equation to data gave best fit with determination coefficient  $R^2 = 0,999878$ . The coefficients adjustment  $T_0=12$  min,  $n=0,759$ ,  $m=0,155$  e  $K = 14,623$  were obtained for IDF equation. In *Franca-SP* and neighbor cities the IDF equation can be used in design of hydraulic-hydrology structures with better precision.

**Key words:** intensity rain; rain waters; urban waters; IDF curve.

## 1 Introdução

No Brasil e no mundo as chuvas intensas são apontadas como a causa de prejuízos sociais e financeiros provocados por enchentes e deslizamentos de terras.

Segundo [?] para o correto dimensionamento de drenos, vertedores, obras de proteção contra cheias e erosão hídrica é necessário o conhecimento das três grandezas que caracterizam uma precipitação: a intensidade, a duração e a frequência. A equação de intensidade, duração e frequência (IDF), também conhecida como equação de chuvas intensas, é a principal forma de caracterizar a relação dessas grandezas.

O estudo de probabilidades fornece informações úteis sobre a chance de um determinado evento extremo ocorrer novamente em determinado espaço de tempo, ou seja, o período de retorno. Para a agricultura, o conhecimento dos valores normais dos elementos meteorológicos é a utilização e o conhecimento de estudos de probabilidades baseadas em eventos de chuvas intensas (Freire et al., 2012). A definição da melhor distribuição de probabilidade requer o uso de testes para provar a adaptação dos dados ou da série de dados às funções. Esses testes são conhecidos como testes de aderência e sua real função é verificar a forma de uma distribuição, através da análise da adequação dos dados à curva de um modelo de distribuição hipotética (Araujo et al., 2010).

Na maioria dos casos a simples visualização dos dados observados de uma variável em gráfico é insuficiente para inferir, entre as diversas funções de distribuição de probabilidade conhecidas, a que melhor se ajusta aos dados em estudo (Assis et al., 1996 in: Reis et. al, 2010). As mais comuns no estudo de precipitações intensas são: Gumbel, Log-Pearson III, Log-Normal, Pearson III e a de GEV (Generalizada de Eventos Extremos, que engloba as de Gumbel, Fréchet e Weibull) (Alves et. al, 2013).

A estimativa dos parâmetros de cada distribuição de probabilidades pode ser feita a partir de uma amostra das observações em que são feitas inferências estatísticas sobre a população, por diferentes métodos. A comparação dos modelos pode ser conduzida com base em testes de aderência não paramétricos, os quais podem informar a adequabilidade do ajuste de cada modelo à série histórica de dados observados (Casella & Berger, 1990; Naghettini & Pinto, 2007).

Estas distribuições estatísticas possuem parâmetros, que dentre outras formas podem ser encontrados a partir do método dos momentos, do método da máxima verossimilhança e do método dos momentos-L.

O Município de Franca vem já há muitos anos defrontando-se com o problema das inundações e alagamentos. O controle destas enchentes torna-se um desafio cada vez maior, à medida em que o crescimento de nossa área urbana impõe, como contrapartida, o aumento das áreas impermeabilizadas.

Em Franca é comum o transbordamento dos córregos dos Bagres e Cubatão que interceptação a malha urbana do município. As avenidas Antônio Barbosa Filho, Ismael Alonso y Alonso e próximo ao Pontilhão Dona Quita são pontos comuns de alagamento.

Neste contexto objetivou-se analisar a precisão dos ajustes das distribuições de probabilidade (Gumbel, Log-Pearson III, Log-Normal, Pearson III e a de GEV) utilizando, para estimativa dos parâmetros, o método dos Momentos L (ML), da série histórica de precipitação máxima diária anual, da cidade de Franca-SP.

## 2 Materiais e Métodos

Neste trabalho foram utilizados dados de precipitação referentes ao período de 1965 a 2014, coletados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Sendo que estes dados foram coletados por um pluviômetro na estação climatológica principal de Franca, que está localizada no aeroporto Tenente Lund Presotto em Franca/SP, e tem como altitude média 1.003 metros acima do nível do mar, com as seguintes coordenadas: Latitude:  $-20.584475^\circ$  Longitude:  $-47.382549^\circ$ , Figura 1. A temperatura média anual de  $27,8^\circ C$ . Localizado na zona sul da cidade de Franca, região essa que vem sendo urbanizada, predominantemente residencial, nos últimos 15 anos.

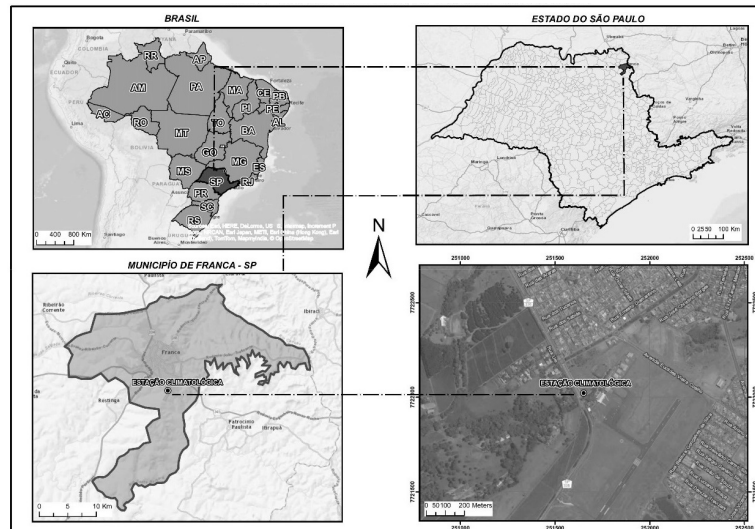


Figura 1. Localização da estação climatológica principal de Franca (INMET).

Conforme [?], a ferramenta básica para os estudos hidrológicos em áreas urbanas é a relação intensidade-frequência-duração das chuvas de curta duração. Infelizmente, nem todas as cidades dispõem de série histórica de dados pluviográficos que possam ser utilizados para o levantamento desta relação. Muitas vezes há a necessidade de se avaliar tais relações, em regiões onde as únicas informações disponíveis são as chuvas de 1 dia. Desta forma foi aplicada a metodologia apresentada em [?], onde se obteve uma relação para a cidade de Franca.

Partiu-se da relação obtida por [?] que estabeleceu uma relação entre as alturas pluviométricas das chuvas máximas de “1 dia” e de “24 horas”, obtidas dos dados pluviométricos e pluviográficos observados simultaneamente na cidade de São Paulo. Os resultados obtidos pelos autores, resumidos na Tabela 1 mostram as relações entre tais alturas pluviométricas para vários períodos de retorno. Analisando os dados da Tabela 1 observa-se que as alturas de chuva máximas de “1 dia” e “24 horas”, guardam uma relação quase constante independente do período de retorno, cujo valor é da ordem de 1,14, praticamente coincidente com o valor adotado pelo *U.S. Weather Bureau* para a mesma relação que é de 1,13.

Tabela 1. Relação entre as alturas de chuva máximas em São Paulo.

	Período de Retorno (Anos)					
	5	10	25	50	75	100
Relação entre alturas pluviométricas das chuvas de 24 h e de 1 dia	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	3	3	4	5	4	5

## 2.1 Relação entre chuvas de diferentes durações

Já a relação entre chuvas de diferentes durações foi obtida da publicação [5]. Este trabalho levou ao estabelecimento de relações entre alturas pluviométricas de diferentes durações, para períodos de retorno de 2 a 100 anos, cujos valores médios são apresentados na Tabela 2.

Portanto, em regiões onde as únicas informações mais detalhadas são as chuvas de 1 dia observadas em postos pluviométricos, pode-se avaliar a chuva de 24 horas de determinada frequência, utilizando-se o fator 1,14, e a partir dessas, determinar as chuvas de menor duração com a mesma frequência utilizando-se as relações constantes na Tabela 2.

Tabela 2. Relação entre alturas pluviométricas.

Relação entre alturas pluviométricas	Valores médios obtidos no estudo do DNOS*	Valores adotados pelo <i>U.S. Weather Bureau</i>
5 min/30 min	0,34	0,34
10 min/30 min	0,54	0,57
15 min/30 min	0,70	0,72
20 min/30 min	0,81	
25 min/30 min	0,91	
30 min/1 h	0,74	0,79
1 h/24 h	0,42	
6 h/24 h	0,72	
8 h/24 h	0,78	
10 h/24 h	0,82	
12 h/24 h	0,85	

\*DNOS - Departamento Nacional de Obras de Saneamento, extinto em 1990.

## 2.2 Dados de chuva utilizados

A metodologia até agora descrita foi aplicada à série histórica de alturas pluviométricas máximas anuais, obtida na estação climatológica principal de Franca. Os dados foram tratados estatisticamente, determinando-se média, desvio padrão e coeficiente de assimetria da amostra, ordenados os valores em ordem decrescente e calculado as frequências e os períodos de retorno, usando a posição de plotagem de Weibull.

## 2.3 Método de Gumbel-Chow

Em outro trabalho os dados foram testados quanto a melhor distribuição. Por se tratar de uma série de eventos anuais extremos, foi utilizada a distribuição de frequência de Gumbel-

Chow, normalmente empregada em Hidrologia, e expressa como:

$$P_{Tr} = P_{med} + K_{Tr} * \sigma_P \quad (1)$$

Onde  $P_{med} = 79,25mm$  e  $\sigma_P = 18,62mm$  são, respectivamente a média e o desvio padrão da série histórica analisada,  $K_{Tr}$  o fator de frequência que depende do tamanho da amostra, do período de retorno e do tipo de distribuição e  $P_{Tr}$  o valor esperado da altura de chuva. Para a distribuição Gumbel-Chow, com  $N = 49$  anos, a referência [9] fornece os valores de  $K_{Tr}$  em função do período de retorno.

Iniciando-se o processo de desagregação, os valores de  $P_{Tr}$  da Tabela 3, que equivalem a chuva máxima de “1 dia”, para cada período de retorno, foram multiplicados pelo fator 1,14 para se obter as alturas de chuva de “24 horas”.

Tabela 3. Alturas de chuva máxima diária pelo método de Gumbel-Chow.

Período de Retorno em Anos	Fator de Frequência K	Altura da Chuva $P_{tr}(mm)$
2	-0,159	76,29
5	0,801	94,17
10	1,436	106,00
15	1,794	112,66
20	2,045	117,34
25	2,239	120,95
50	2,834	132,03
75	3,18	138,47
100	3,425	143,04

A desagregação da chuva de “24 horas” para durações menores seguiu as relações sugeridas pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento, contidas na Tabela 2, onde foram determinadas as precipitações, em milímetros, para durações menores, conforme a Tabela 4. Com os valores de precipitação obtidos na última transformação (Tabela 4), foram calculadas as intensidades de chuva em mm/min para as mesmas durações e períodos de retorno, ver Tabela 5.

## 2.4 Relação intensidade-frequência-duração

Os dados de intensidades de chuva foram utilizados para a determinação da relação intensidade-frequência-duração. A expressão geral da relação é dada por:

$$i = \frac{K * Tr^m}{(T + T_o)^n} \quad (2)$$

Onde:  $i$  é a intensidade em mm/min;  $Tr$  o período de retorno em anos;  $t$  a duração da chuva em min;  $T_o$  é a correção do termo referente a duração;  $K$ ,  $m$  e  $n$  coeficientes determinados por análise de regressão.

A determinação dos parâmetros  $K$ ,  $m$ ,  $n$ , e  $b$ , foi feita por regressão linear, isto é, a Equação (2) foi linearizada pela relação gráfica entre os logaritmos das intensidades em mm/min e a duração  $t + b$ . Que pode ser interpretada pela equação:

$$\ln(i) = \ln(C) - n * \ln(t + T_o) \quad (3)$$

Tabela 4. Alturas de chuva (mm), para várias durações e períodos de retorno.

Duração	Período de Retorno (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	75	100
5 min	9,19	11,34	12,77	13,57	14,14	14,57	15,91	16,68	17,23
10 min	14,60	18,02	20,28	21,56	22,45	23,14	25,26	26,49	27,37
15 min	18,92	23,36	26,29	27,94	29,10	30,00	32,75	34,34	35,48
20 min	21,90	27,03	30,42	32,33	33,67	34,71	37,89	39,74	41,05
25 min	24,60	30,36	34,18	36,32	37,83	39,00	42,57	44,65	46,12
30 min	27,03	33,37	37,56	39,92	41,57	42,85	46,78	49,06	50,68
1 h	36,53	45,09	50,75	53,94	56,18	57,91	63,22	66,30	68,49
6 h	62,62	77,29	87,00	92,47	96,31	99,28	108,37	113,66	117,40
8 h	67,84	83,74	94,25	100,18	104,34	107,55	117,40	123,13	127,19
10 h	71,32	88,03	99,08	105,32	109,69	113,06	123,42	129,44	133,71
12 h	73,93	91,25	102,71	109,17	113,70	117,20	127,94	134,18	138,60
24 h	86,97	107,35	120,83	128,43	133,76	137,88	150,51	157,86	163,06
1 dia	76,29	94,17	106,00	112,66	117,34	120,95	132,03	138,47	143,04

Onde:  $C = K * Tr^m$  O valor  $To = 12$  min foi o que forneceu o melhor coeficiente de determinação  $R^2 = 0,999878$ , sendo testados valores para “ $To$ ” variando de 1 a 60 min, para todos os períodos de retorno. Na Tabela 6 e Figura 2 são mostrados os resultados usando o coeficiente  $To = 12$  min.

Tabela 5. Intensidade de chuva (mm/min).

Intensidade (mm/min)	Período de Retorno (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	75	100
5	1,84	2,27	2,55	2,71	2,83	2,91	3,18	3,34	3,45
10	1,46	1,80	2,03	2,16	2,24	2,31	2,53	2,65	2,74
15	1,26	1,56	1,75	1,86	1,94	2,00	2,18	2,29	2,37
20	1,09	1,35	1,52	1,62	1,68	1,74	1,89	1,99	2,05
25	0,98	1,21	1,37	1,45	1,51	1,56	1,70	1,79	1,84
30	0,90	1,11	1,25	1,33	1,39	1,43	1,56	1,64	1,69
60	0,61	0,75	0,85	0,90	0,94	0,97	1,05	1,11	1,14
360	0,17	0,21	0,24	0,26	0,27	0,28	0,30	0,32	0,33
480	0,14	0,17	0,20	0,21	0,22	0,22	0,24	0,26	0,26
600	0,12	0,15	0,17	0,18	0,18	0,19	0,21	0,22	0,22
720	0,10	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,18	0,19	0,19
1440	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11

Observe na Figura 2 o bom ajuste das retas, para todos os períodos de retorno, adotando o valor  $To = 12$  min.

Ainda com relação a Figura 2, o valor do coeficiente “n” da equação IDF é próprio coeficiente angular das equações de regressão linear, para cada período de retorno, que neste caso, considerando três casas decimais,  $n = 0,759$ .

Os coeficientes K e m, do numerador da Equação (2),  $K.Tr^m$ , que equivalem a C na

Tabela 6. Valores dos logaritmos das intensidades em mm/min e da duração t + 12 min, para cada período de retorno.

ln(t+b)	Período de Retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	75	100
	Ln (Intensidade)							
2,83	0,61	0,82	0,94	1,00	1,04	1,07	1,20	1,24
3,09	0,38	0,59	0,71	0,77	0,81	0,84	0,97	1,01
3,30	0,23	0,44	0,56	0,62	0,66	0,69	0,83	0,86
3,47	0,09	0,30	0,42	0,48	0,52	0,55	0,69	0,72
3,61	-0,02	0,19	0,31	0,37	0,41	0,44	0,58	0,61
3,74	-0,10	0,11	0,22	0,29	0,33	0,36	0,49	0,52
4,28	-0,50	-0,29	-0,17	-0,11	-0,07	-0,04	0,10	0,13
5,92	-1,75	-1,54	-1,42	-1,36	-1,32	-1,29	-1,15	-1,12

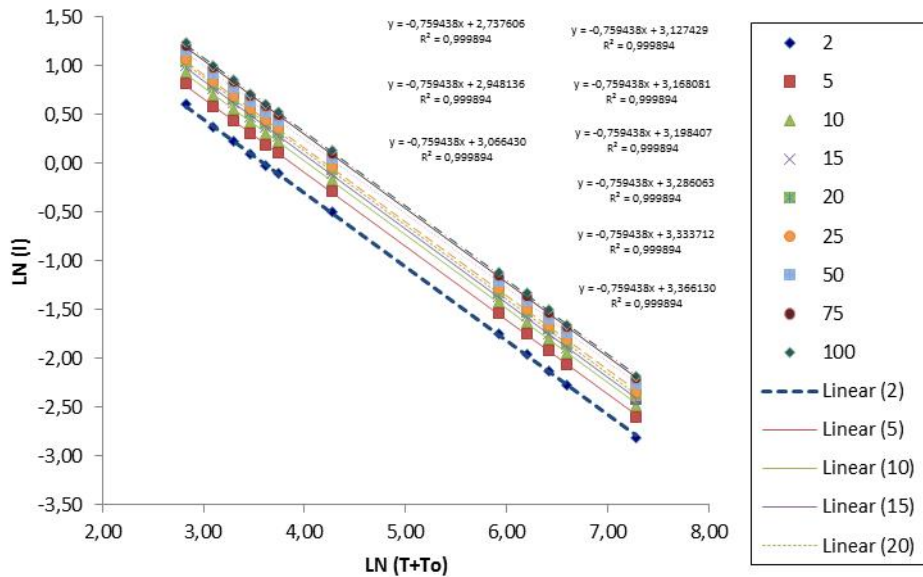


Figura 2. Relação entre os logaritmos da intensidade (mm/min) e duração t + To (min).

Equação (3), foram determinados também por regressão linear, segundo o procedimento descrito na Equação (4):

$$\ln(C) = \ln(K) + m * \ln(Tr) \tag{4}$$

Usando os valores dos coeficientes (a1) das retas da Figura 2 foi elaborada a Tabela 7 e construída a Figura 3.

Desta forma foram determinados os coeficientes: m = 0,155 (coeficiente a1 da reta da Figura 3), e K = 14,623, onde Ln (K) = 2,68 (coeficiente a2 da reta da Figura 3).

Tabela 7. Valores dos logaritmos de Tr e  $C = K \cdot Tr^m$ .

<i>Determinação de K e m</i>			
Período Retorno (Tr)	Ln (Tr)	Coeficiente B = Ln (C)	C
100	4,6052	3,366130	28,966211
75	4,3175	3,333712	28,042242
50	3,9120	3,286063	26,737391
25	3,2189	3,198407	24,493481
20	2,9957	3,168081	23,761842
15	2,7081	3,127429	22,815246
10	2,3026	3,06643	21,465135
5	1,6094	2,948136	19,070373
2	0,6931	2,737606	15,449954
m	0,155092		
K	14,623035		

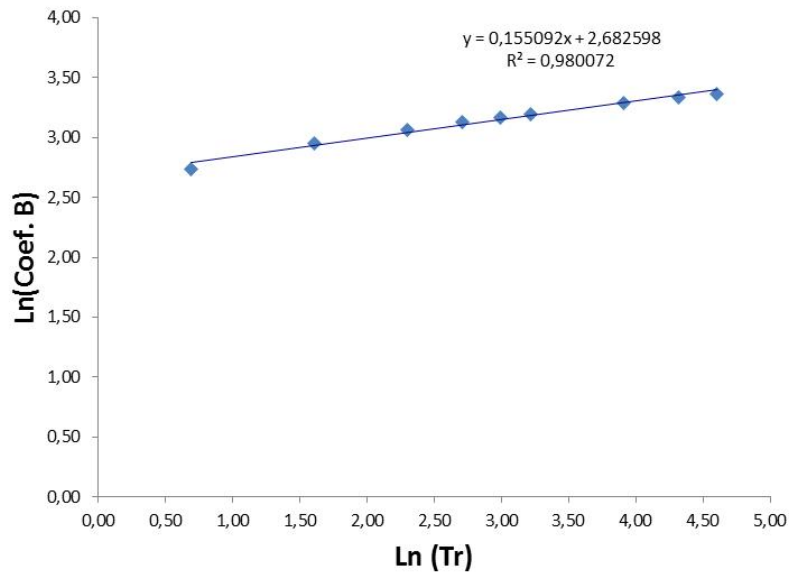


Figura 3. Relação entre os logaritmos de Tr e C.

### 3 Resultados

Recapitulando os valores determinados para os coeficientes têm-se:  $T_0 = 12$  min;  $n = 0,759$  (coeficiente a1 das retas da Figura 2);  $m = 0,155$  (coeficiente a1 da reta da Figura 3),



e como  $\ln(K) = 2,68$  (coeficiente  $a_2$  da reta da Figura 3), daí determina-se  $K = 14,623$ . Desta forma, a equação com os coeficientes obtidos ficou na forma:

$$i = \frac{14,623 * Tr^{0,155}}{(t + 12)^{0,759}} \quad (5)$$

$i$  – Intensidade de chuva (mm/min);  
 $Tr$  – Período de retorno (ano);  
 $t$  – Duração (min).

## 4 Conclusões

A equação (5) obtida permite o cálculo da intensidade máxima de chuvas com diferentes durações e períodos de retorno, com aproximação adequada a projetos de engenharia hidráulico-hidrológica.

Pode-se observar que os coeficientes de ajuste,  $R^2$ , mostrados nas Figuras 2 e 3 ficaram acima de 98%, comprovando que por um procedimento relativamente simples de linearização e regressão linear foi possível determinar a equação IDF para a cidade de Franca-SP, com boa correlação entre os dados.

Recomenda-se que a cada 5 anos seja feita uma atualização para garantir que eventual mudança na dinâmica temporal das chuvas seja contemplada.

## 5 Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade de Franca (UNIFRAN) e Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pelo apoio e colaboração.

## Referências

- [1] FENDRICH, R. Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná. Curitiba-PR, 2003. 101p.
- [2] MARTINEZ JÚNIOR, F.; MAGNI, N. L. G. Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo. Convênio Departamento de Águas e Energia Elétrica e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 125p., 1999.
- [3] OCCHIPINTI, A. G.; SANTOS, P.M. Relações entre as precipitações máximas de um dia e de 24 horas na cidade de São Paulo. São Paulo: IAU/USP, 1966. 10p.
- [4] OLIVEIRA, L. F. C. de; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. de O. A.; ROMÃO, P. de A.; CARVALHO, D. F. de. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 23-27, jan./jun. 2000.

- [5] PFAFSTETTER, O., Chuvas Intensas no Brasil, 2<sup>a</sup>. edição, Rio de Janeiro, DNOS, 1982,426p.
- [6] PINTO, F. A.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F.; ALVES, A. R.; CECON, P. R. Estimativa de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais utilizando registros diários. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 16, n. 2, p. 8-21, dez. 1996.
- [7] PORTO, R. Determinação da relação Intensidade-Frequência-Duração de chuvas para a cidade de Pirassununga, 1998. 7p.
- [8] PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; TEIXEIRA, A. de F.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, J. M. A. da; GRIEBELER, N. P. Hidros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 259 p.
- [9] REIS, L. F. R. Notas de Aula Disciplina SHS 403 – Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos-SP, 2000. 122 p.
- [10] SAMPAIO, M.V. Determinação e espacialização das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Santa Maria, 2011. Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- [11] SILVA, D. D. da; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. de. Chuvas intensas no Estado da Bahia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.
- [12] SILVA, D. D. da; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v. 11, n. 1/4, p. 7-14, jan./dez. 2003.
- [13] SILVA, D. D. da; PINTO, F. R. L.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 18, n. 3, p. 11-21, mar. 1999.
- [14] WILKEN, P. S. Engenharia de Drenagem Superficial. São Paulo-SP, 1978. 476p.