

IX-069 – EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA GARUVA-SC

Álvaro José Back⁽¹⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), Professor do Programa de Pós-Graduação da Universidade do Extremo Sul Catarinense (PPGCA/Unesc).

José Luiz Rocha Oliveira⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri).

Alan Henn⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri).

Juliano Possamai Della⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc). Mestrando em Ciências Ambientais na Unesc.

Bruno De Pellegrin Coan⁽⁵⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc). Mestrando em Ciências Ambientais na Unesc.

Endereço⁽¹⁾: Rodovia SC 446, km 16, Bairro da Estação, Urussanga, SC - CEP: 88840-000 - Brasil - Tel: (48) 34651209 - e-mail: ajb@epagri.sc.gov.br

RESUMO

O conhecimento das relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas é de grande importância no dimensionamento de estruturas de drenagem superficial e controle de erosão do solo. Este trabalho teve como objetivo ajustar as equações IDF bem como ajustar as equações do modelo de Bell (1969) para estimativa de chuvas intensas para a região de Garuva, SC. Foram usados os dados diários de precipitação da estação pluviométrica de código 02648027, coordenadas com latitude 26°02'08"S e longitude 48°51'00"W, localizada em Garuva, SC. Com base na série de máximas anuais de chuva com duração de 1 dia e por meio da distribuição de Gumbel foram estimados as chuvas máximas com período de retorno de 2 a 100 anos e duração de 1 dia. Usando os coeficientes de desagregação de chuva diária foram estimadas as chuvas máximas com duração de 5 a 1440 minutos. Foram estimadas duas equações IDF e as equações do modelo de Bell que permitem obter as estimativas de chuvas intensas com duração de 5 minutos a 1440 minutos e período de retorno de 2 a 100 anos.

PALAVRAS-CHAVE: Chuvas Intensas, Hidrologia, Precipitação; Distribuição de Probabilidade.

INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é um dos elementos do clima que apresenta alta variabilidade temporal e espacial, e sua ocorrência em excesso ou em déficit geralmente causa prejuízos à produção agrícola bem como transtornos à população em geral. O conhecimento das características da precipitação e sua relação no ciclo hidrológico são de suma importância para estudos estratégicos associados ao planejamento do meio ambiente, geração de energia e manejo da agricultura, especialmente em condições tropicais (Mello & Silva, 2009).

No dimensionamento de obras de drenagem superficial é necessário conhecer as relações envolvendo a Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da chuva a ser utilizada no projeto. As relações IDF são obtidas por meio de análises de estatística de longas séries de dados observados em pluviógrafos. No Brasil existe relativa facilidade de obter dados de chuva de duração diária. Porém dados de chuvas de menor duração, devido à escassez de equipamentos registradores, dificilmente estão disponíveis, e, quando existem, são de séries relativamente curtas e apresentam muitas falhas nos registros de dados. Vários autores Assad et al. (1992),

Wadt (2003), Ferreira (2005), Lima et al. (2005), Oliveira et al. (2008) e Back (2009) relatam a dificuldade de obtenção de longas séries de dados de precipitação, principalmente, de registros pluviográficos. Cecílio & Pruski (2003) destacam ainda que a metodologia para determinar as relações IDF de chuvas exige exaustivo trabalho para tabulação, análise e interpretação de uma grande quantidade de pluviogramas.

Bell (1969) estabeleceu relações empíricas entre precipitações com diferentes durações baseadas em dados de séries parciais de chuva observada nos EUA, Austrália, URSS, Porto Rico, Alasca, África do Sul e Havaí. Este trabalho é bastante clássico dentro deste tema, mas apresenta limitações, entre elas o fato de que suas equações foram obtidas a partir de dados de chuva de diversas partes do mundo sendo, portanto, seus resultados, função de valores médios e não específicos para um local.

Alguns trabalhos foram realizados visando ajustar os coeficientes da equação de Bell para diferentes locais da Brasil. Uehara et al. (1980) ajustaram os coeficientes da equação de Bell para o Brasil e para São Paulo. Essas equações têm como limitação o fato de serem baseadas em dados antigos. Segundo Genovez & Zuffo (2000), os métodos que se baseiam nas relações entre chuvas intensas de diferentes durações tem validade regional, embora os valores médios destas relações sejam muito próximos para várias partes do mundo. Para estimativas locais são convenientes que sejam estabelecidos novos coeficientes relacionados às características locais do clima.

As relações IDF podem ser obtidas por meio da análise das séries históricas e posterior ajuste das equações conhecidas como equação IDF. Nos locais onde não se dispõem de pluviógrafos, o procedimento adotado, normalmente, consiste em estabelecer a chuva máxima esperada com duração de um dia, e a partir de relações estabelecidas em outras regiões estima-se a chuva para uma duração inferior.

Este trabalho teve como objetivo ajustar as equações IDF bem como ajustar as equações do modelo de Bell (1969) para estimativa de chuvas intensas para a região de Garuva, SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os dados diários de precipitação do período de 1977 a 2011, da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA), com código 02648027 e coordenadas latitude 26°02'08"S e longitude 48°51'00"W, localizada em Garuva, SC.

Foram determinadas as séries de máximas anuais de chuva diária. Com base na distribuição de probabilidades de Gumbel-Chow (Back, 2002) foi estimada a chuva máxima diária para diferentes períodos de retorno. A estimativa das variáveis foi feita com base na equação:

$$X_T = \bar{x} + (Y - Y_n) \frac{s}{s_n} \quad \text{equação (1)}$$

em que: X_T é a variável estimada com período de retorno de T anos;

\bar{x} é a média da série de máximas anuais;

S é o desvio padrão da série de máximas anuais;

Y_n e S_n são a média e desvio padrão da variável reduzida (valores tabelados em Back (2002));

Y a variável reduzida estimada como:

$$Y = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\} \quad \text{equação (2)}$$

em que T é o período de retorno (anos).

A aderência da série de máximas anuais à distribuição de Gumbel-Chow foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% (Kite, 1998).

A partir da chuva máxima diária foram estimadas as chuvas com duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos utilizando as relações entre precipitações de diferentes durações estabelecidas pela Cetesb (2006).

Com base nas intensidades obtidas da desagregação de chuvas intensas foram ajustadas as equações IDF do tipo:

$$i = \frac{KT^m}{(t + b)^n} \quad \text{equação (3)}$$

em que: i é a intensidade média máxima da chuva (mm/h);

T é o período de retorno (anos);

t é a duração da chuva (minutos);

K , m , b , n são parâmetros da equação determinados para cada local.

Ajustaram-se, com as alturas das chuvas estimadas, os coeficientes da equação de Bell em função da chuva máxima com período de retorno de 10 anos e duração de 1 h (60 min) (P_{10}^{60}), com a seguinte apresentação:

$$P_T^t = (a \ln(T) + b)(ct^d - e)P_{10}^{60} \quad \text{equação (4)}$$

em que: a , b , c , d , e - coeficientes a serem ajustados;

P_T^t - precipitação estimada com período de retorno T anos e duração t min;

P_{10}^{60} - precipitação observada com período de retorno de 10 anos e duração de 60 min.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a série de máximas com duração de um dia obteve-se a média de 135,9 mm, com desvio padrão de 34,4 mm. O valor da estatística D_{max} do teste Kolmogorov-Smirnov foi de 0,119, inferior ao valor crítico de 0,243 para o nível de significância de 5% evidenciando a aderência à distribuição ajustada.

Na Tabela 1 constam as alturas de chuva máxima estimada a partir das séries de máximas anuais com duração de um dia, obtidas por desagregação para as durações entre 5 min e 1440 min. Na Tabela 2 constam as intensidades estimadas com as equações de chuvas intensas estimadas para Garuva.

Tabela 1: Altura de chuva (mm) obtida pela desagregação da chuva máxima diária.

t - Duração (min)	T - Período de retorno (anos)							
	100	50	25	20	15	10	5	2
1440	296,1	271,8	247,3	239,4	229,1	214,4	188,3	148,9
720	251,7	231,0	210,2	203,5	194,7	182,2	160,1	126,6
600	242,8	222,9	202,8	196,3	187,9	175,8	154,4	122,1
480	230,9	212,0	192,9	186,7	178,7	167,2	146,9	116,1
360	213,2	195,7	178,1	172,4	165,0	154,4	135,6	107,2
300	202,8	186,2	169,4	164,0	156,9	146,9	129,0	102,0
240	190,7	175,0	159,3	154,2	147,5	138,1	121,3	95,9
180	174,7	160,4	145,9	141,2	135,2	126,5	111,1	87,9
120	155,4	142,7	129,9	125,7	120,3	112,6	98,9	78,2
60	124,3	114,2	103,9	100,6	96,2	90,0	79,1	62,5
30	92,0	84,5	76,9	74,4	71,2	66,6	58,5	46,3
25	83,7	76,9	70,0	67,7	64,8	60,6	53,3	42,1
20	74,5	68,4	62,3	60,3	57,7	54,0	47,4	37,5
15	64,4	59,1	53,8	52,1	49,8	46,6	41,0	32,4
10	49,7	45,6	41,5	40,2	38,5	36,0	31,6	25,0
5	31,3	28,7	26,1	25,3	24,2	22,7	19,9	15,7

Tabela 2: Intensidade (mm/h) da chuva estimada com as equações de chuvas intensas.

t - Duração (min)	T - Período de retorno (anos)							
	100	50	25	20	15	10	5	2
1440	12,9	11,6	10,4	10,0	9,5	8,9	8,0	6,9
720	21,7	19,4	17,3	16,7	16,0	15,0	13,4	11,5
600	24,8	22,2	19,9	19,2	18,3	17,1	15,3	13,2
480	29,3	26,2	23,4	22,6	21,6	20,2	18,1	15,6
360	36,3	32,4	29,0	28,0	26,7	25,0	22,4	19,3
300	41,5	37,1	33,2	32,0	30,6	28,6	25,6	22,1
240	48,9	43,7	39,1	37,7	36,0	33,7	30,2	26,0
180	60,4	54,0	48,3	46,6	44,5	41,7	37,3	32,1
120	81,1	72,5	64,8	62,6	59,7	55,9	50,0	43,2
60	125,6	112,3	100,4	96,9	92,5	86,7	77,5	66,9
30	187,2	167,4	149,7	144,4	137,9	129,2	115,5	99,7
25	206,0	184,3	164,8	159,0	151,8	142,2	127,2	109,7
20	230,3	206,0	184,2	177,7	169,7	158,9	142,2	122,6
15	263,0	235,2	210,4	202,9	193,7	181,5	162,3	140,0
10	309,8	277,1	247,8	239,1	228,2	213,8	191,2	165,0
5	383,9	343,3	307,1	296,2	282,8	264,9	236,9	204,4

As equações expressando as relações IDF (Figura 1) de chuvas com período de retorno de 2 a 100 anos, para duração de 5 a 120 minutos ($5 \text{ minutos} \leq t \leq 120 \text{ minutos}$) é dada por:

$$i = \frac{1150,4T^{0,1611}}{(t + 8,92)^{0,6985}} \quad \text{equação (5)}$$

em que i = intensidade da chuva (mm/h);

T é o período de retorno (anos);

t é a duração da chuva (minutos).

As equações expressando as relações IDF (Figura 2) de chuvas com período de retorno de 2 a 100 anos ($2 \leq T \leq 100$), para duração de 120 a 1440 minutos ($120 \text{ minutos} \leq t \leq 1440 \text{ minutos}$) é dada por:

$$i = \frac{1419,0T^{0,1611}}{(t + 4,12)^{0,7476}} \quad \text{equação (6)}$$

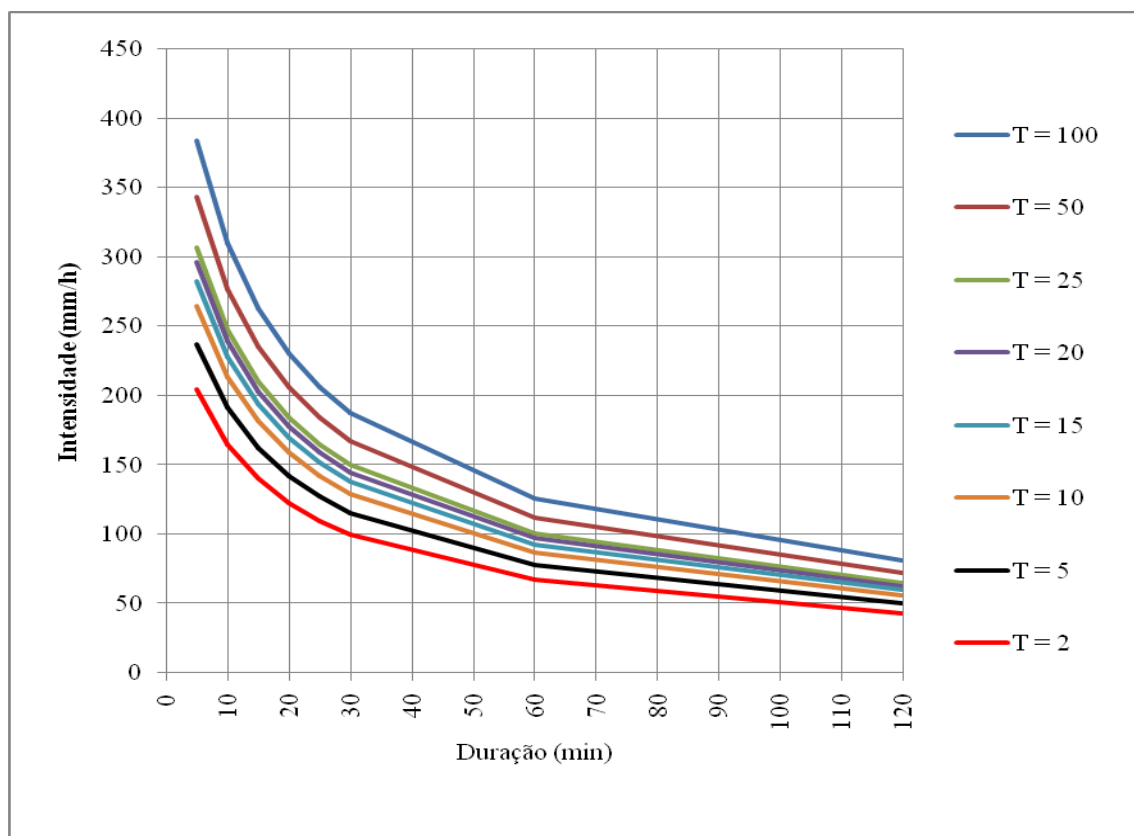


Figura 1: Intensidade da chuva com duração de 5 a 120 minutos estimada para Garuva, SC.

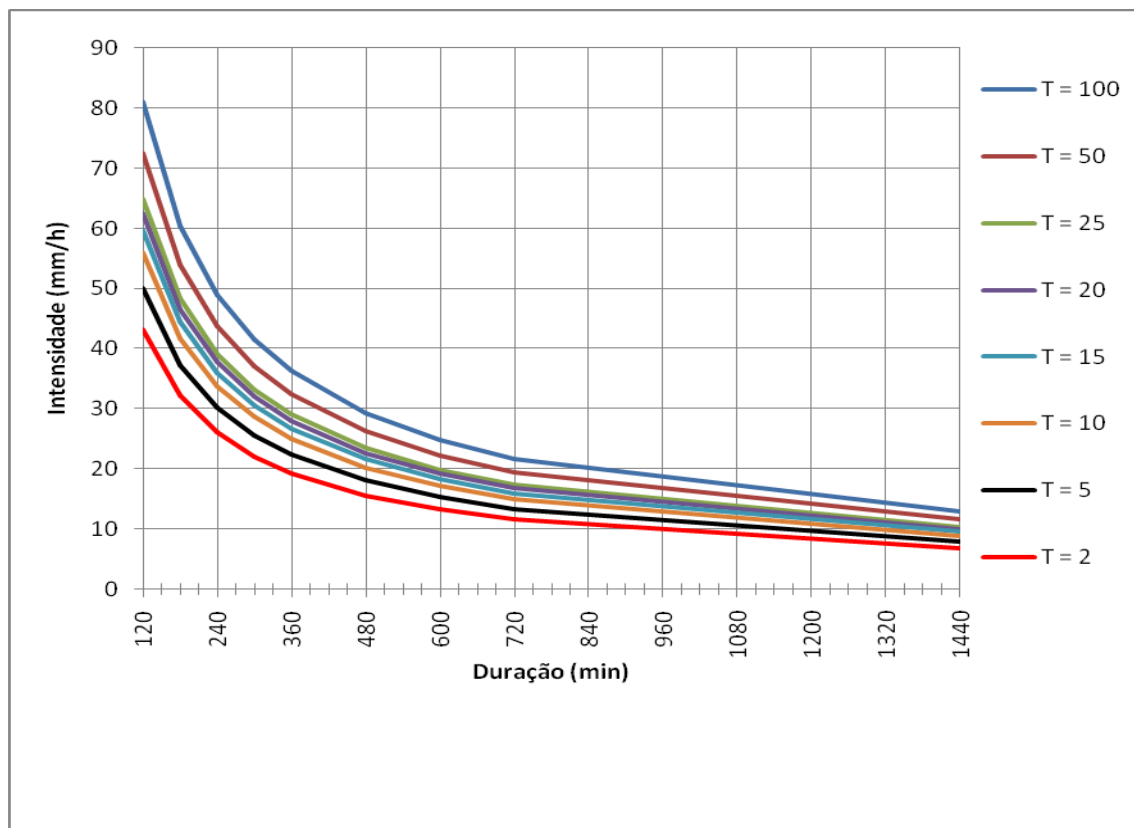


Figura 2: Intensidade da chuva com duração de 120 a 1440 minutos estimada para Garuva, SC.

A equação de Bell ajustada para estimar a altura da chuva (Figura 2) com período de retorno de 2 a 100 anos e duração de 5 a 120 minutos foi:

$$P_T^t = (0,3648 \ln(T) + 1,2385)(0,4288t^{0,1901} - 0,4679)P_{10}^{60} \quad \text{equação (7)}$$

e para duração de 120 a 1440 minutos:

$$P_T^t = (0,4120 \ln(T) + 1,3988)(0,8596t^{0,1127} - 0,9459)P_{10}^{60} \quad \text{equação (8)}$$

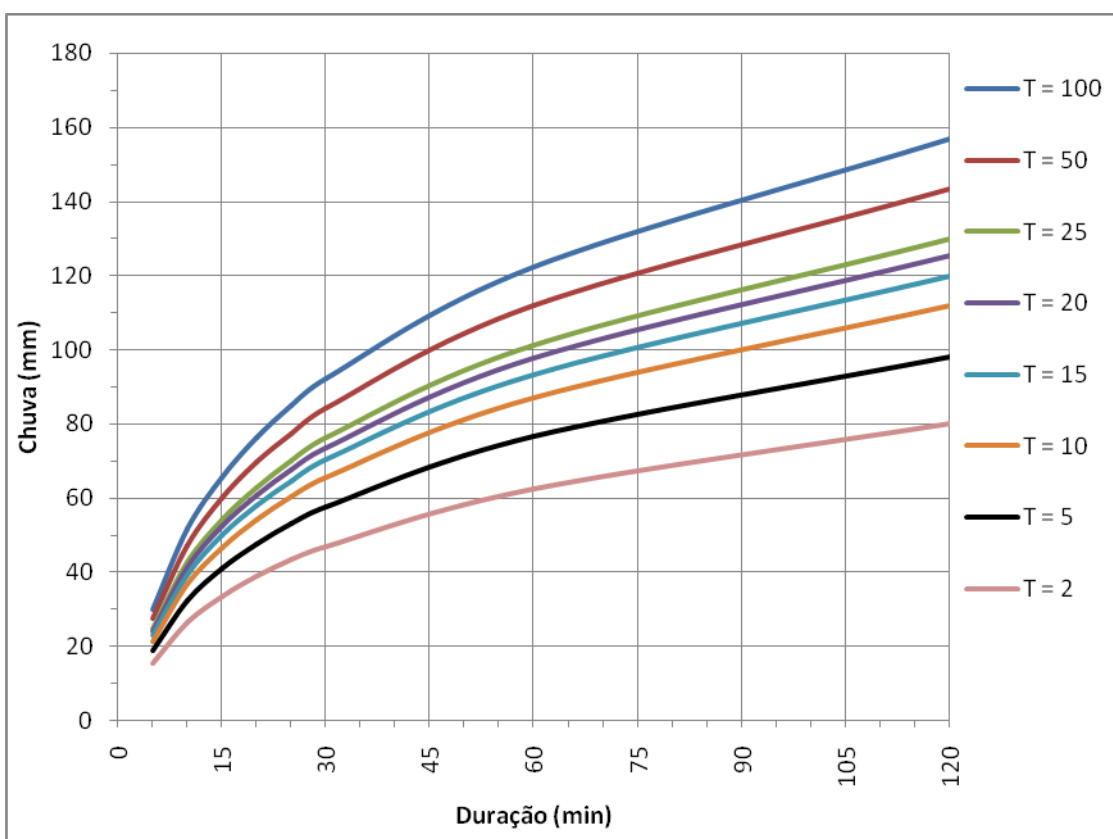


Figura 3: Altura da chuva (mm) com duração de 5 a 120 minutos estimada com a equação modelo Bell ajustada para Garuva, SC.

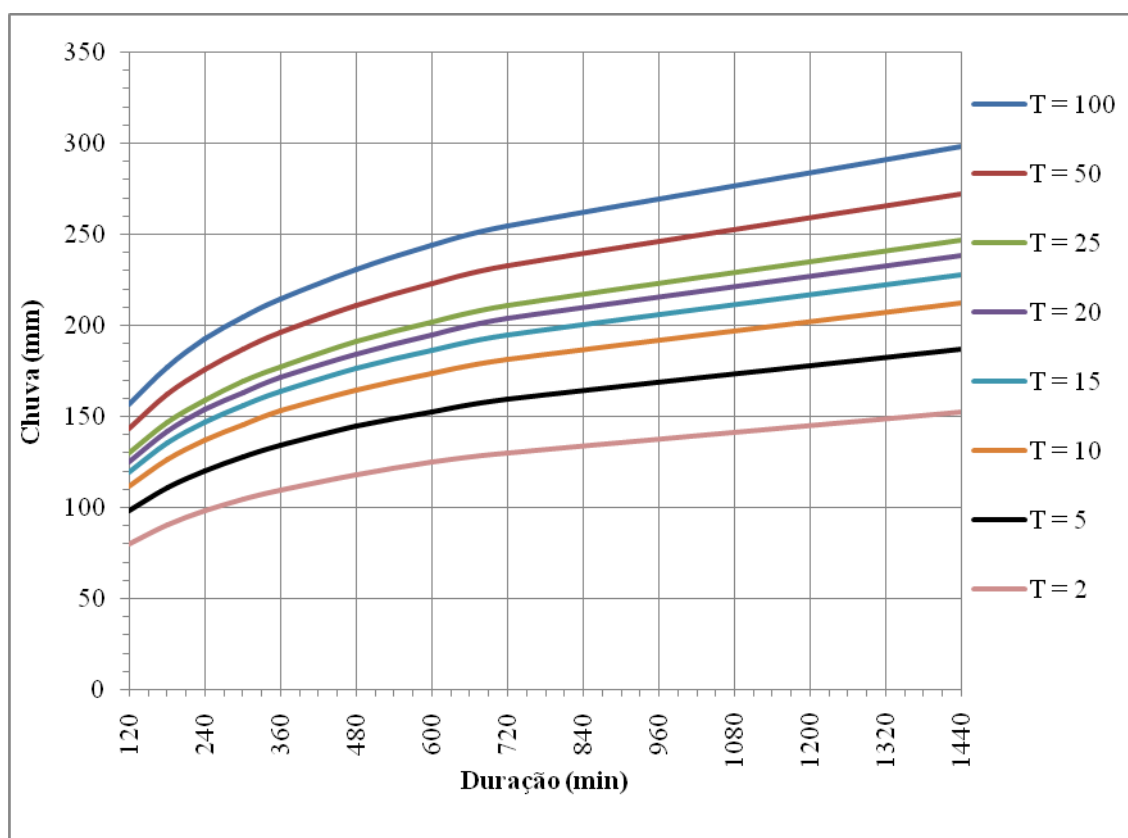


Figura 4: Altura da chuva (mm) com duração de 120 a 1440 minutos estimada com a equação modelo Bell ajustada para Garuva, SC.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos neste estudo pode-se constatar que a distribuição de Gumbel se ajusta bem às séries de máximas anuais com duração de um dia para Garuva. Foram estimadas duas equações IDF e as equações do modelo de Bell que permitem obter as estimativas de chuvas intensas com duração de 5 minutos a 1440 minutos e período de retorno de 2 a 100 anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSAD, E. D.; MASUTOMO, R.; ASSAD, M. L. L. Estimativa das precipitações máximas prováveis com duração de 24 horas e de 30 minutos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 27(5):677-686, 1992.
2. BACK, A. J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(2): 170-175, 2009.
3. BACK, A. J. Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no Estado de Santa Catarina. Epagri, Florianópolis-SC, 2002. 65p.
4. BELL, F. G. "Generalized rainfall-duration-frequency relationships". *Journal of Hydraulics Division – ASCE*, v.95, p.311-327, 1969.
5. CECILIO, R. A. & PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros de equações de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(3): 501-504, 2003.
6. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana – manual de projeto. São Paulo, Cetesb, 1986. 464p.
7. FERREIRA J. C.; DANIEL, L. A.; TOMAZELA, M. Parâmetros para equações mensais de estimativas de precipitação de intensidade máxima para o Estado de São Paulo – Fase I. *Ciência Agrotécnica*, 29(6): 1175-1187, 2005.

8. GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no Estado de São Paulo: Estudos existentes e análise comparativa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.*, 5(3): 45-58, 2000.
9. KITE, G. W. Frequency and risk analyses in Hydrology. Water Resources publications. Colorado. 1978. 224 p.
10. LIMA, H. M. F.; MATA, I. P.; LIMA, A. V. F. Aplicação e validação de um simulador estocástico de variáveis climáticas: o caso da precipitação. *Ingeniería del Agua*, 12(1): 27-37, 2005.
11. MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(1):68-74, 2009.
12. OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C.; GRIEBELER, N.; FIOREZE, A. P.; SILVA, M. A. S. da. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(6): 620-625, 2008.
13. UEHARA, K.; ZAHED FILHO, K.; SILVEIRA, L. N. L.; PALERMO, M. A. Pequenas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo: Estudo de vazões médias e máximas. FDTE/Escola Politécnica da USP, São Paulo: v.2, 1980. 780p.
14. WADT, P. G. S. Construção de terraços para controle de erosão pluvial no Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. (Documentos, 85).