

EQUAÇÕES DE INTENSIDADE – DURAÇÃO – FREQUÊNCIA DE CHUVAS PARA AS LOCALIDADES DE FORTALEZA E PENTECOSTE, CEARÁ

INTENSITY – DURATION – FREQUENCY EQUATION OF RAINFALL FOR LOCALITIES OF FORTALEZA AND PENTECOSTE, CEARÁ

Joseilson Oliveira RODRIGUES¹
Eunice Maia de ANDRADE²
Teógenes Senna de OLIVEIRA³
Francisco Antônio de Oliveira LOBATO⁴

RESUMO

Analisaram-se séries históricas de chuvas de 30 e 19 anos de duração, com dados coletados em duas estações meteorológicas nos municípios de Pentecoste e Fortaleza – CE, respectivamente, com o objetivo de ajustar o modelo teórico de distribuição de probabilidades de Gumbel aos dados, e estabelecer uma relação funcional entre intensidade, duração e frequência de chuvas para essas localidades. Utilizando pluviogramas determinaram-se as intensidades pluviométricas máximas para as durações de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 min. O modelo probabilístico ajustado foi testado pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, evidenciando ajuste em nível de 20% de significância, em todas as durações para a estação de Pentecoste. Os valores estimados pela equação geral podem apresentar erros de até 40% para a localidade de Pentecoste, confirmando a necessidade de equações distintas para cada período de retorno. Os dados ajustados aproximaram-se dos valores obtidos pela equação de Gumbel, evidenciando que as equações desenvolvidas podem ser empregadas na estimativa das intensidades de chuvas, com exceção da duração de 5 min na estação de Fortaleza, pois há tendência em subestimar os valores esperados.

Palavras-chave: Chuvas intensas; equação IDF; distribuição de probabilidade; Gumbel

ABSTRACT

In this work data sets with 19 e 30 years were used for Pentecoste and Fortaleza - CE, respectively, with the aim to establish a relationship between rainfall intensity, duration and frequency. The theoretical model used was the Gumbel probability distribution. The maximum intensity rainfall was evaluated to 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutes using rainfall gauge graphic. The fitted probabilistic model was tested by the Kolmogorov-Smirnov adherence test. The result showed that, the Gumbel model adjusted of data maximum intensity at a significance level of 20% in the all studied durations to Pentecoste station. The estimated values by general equation can show errors up to 40% for the location Pentecoste. This fact confirms the necessity of distinct equations for each return period. The values of probable maximum intensity calculated by developed equation can be used to estimate the rainfall intensity, except for 5 minutes duration in station of Fortaleza, which presented a tendency to underestimated the predictable values.

Key-words: Rainfalls intensity; Equation IDF; Probability distribution; Gumbel.

¹ Eng. Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, bolsista do CNPq. E-mail: wilson_agronomia@hotmail.com

² Eng. Agrônoma, Phd., Professora do Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. Universidade Federal do Ceará – Av. Mister Hull S/N, Bloco 804, 60455-970, Fortaleza, CE. E-mail: eandrade@ufc.com.br. Autor para correspondência.

³ Eng. Agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Professor do Departamento de Ciências do Solo, CCA/UFC. Email: teo@ufc.br

⁴ Estudante de Agronomia, Bolsista do CNPq. Email: lobatto18@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O conhecimento dos eventos extremos de chuvas, bem como as relações que envolvem intensidade, duração e freqüência são de grande aplicabilidade na elaboração de projetos agrícolas, e no dimensionamento de canais de irrigação e drenagem, vertedouros de barragens, definição de obras de desvio de cursos d'água, proteção contra cheias e erosão hídrica (COSTA e SILVA, 1988; SILVA et al., 1999; FREITAS et al., 2001; BACK, 2006). Uma das maiores dificuldades para obtenção das equações que relacionam intensidade, duração e freqüência (IDF) está na baixa densidade das redes pluviográficas, bem como o tamanho das séries de dados, que de uma maneira geral, são inferiores aquelas recomendadas pela Organização Mundial de Meteorologia, ou seja, 30 anos (SILVA et al., 2002).

A precisão na estimativa da intensidade da precipitação depende da proximidade do ponto a ser estimado, com o local onde os dados pluviográficos são registrados, do intervalo de aplicabilidade da equação de chuvas intensas e, principalmente, da(s) extensão(s) da(s) série(s) de dados utilizados para a obtenção dos parâmetros da equação (GENOVEZ e ZUFFO, 2000). Dessa forma, as equações IDF apresentam melhores resultados quando obtidas a partir de séries de dados extensas, ajustando-se, a priori, um modelo de distribuição de probabilidade aos dados de intensidade de chuvas. Dentre as distribuições de probabilidade, a de Gumbel tem sido a mais aplicada em estudos de eventos extremos.

No estado do Ceará há uma grande escassez de equações que relacionem a intensidade, a duração e a freqüência das precipitações, optando-se pela utilização de informações pluviográficas de postos meteorológicos mais próximos, implicando em uma menor confiabilidade na construção da obra (SILVA et al., 2003). A carência de estudos sobre a intensidade, a duração e a freqüência das precipitações, tem gerado uma lacuna no conhecimento das características climáticas da região, o que torna difícil a tomada de decisão em relação a ações que dependam desse tipo de conhecimento.

Tomando-se por base a importância que representa o conhecimento das equações que relacionam a intensidade, a duração e a freqüência da precipitação pluviométrica, neste contexto, este trabalho foi desenvolvido com os objetivos de ajustar o modelo teórico de distribuição de probabilidade de Gumbel aos dados de chuvas para as estações de Fortaleza e Pentecoste; e estabelecer uma relação analítica funcional entre a intensidade, a duração e a freqüência das precipitações ocorridas nas referidas localidades.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização das estações

Os registros das precipitações pluviométricas utilizados neste trabalho são oriundos de estações meteorológicas instaladas nos municípios de

Fortaleza e Pentecoste. A primeira localiza-se no campus do Pici e pertence ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), geograficamente situada nas coordenadas: latitude 3° 45' 00" S e longitude 38° 33' 00" W. O clima da região é do tipo Aw' (tropical chuvoso com precipitação de verão-outono) pela classificação climática de Köppen. A precipitação pluviométrica média anual é de 1523 mm, a evapotranspiração de referência é de 1747 mm e a temperatura média anual é 26,9 °C. A estação meteorológica do município de Pentecoste (Figura 1), cujas coordenadas de posição são: latitude 3° 45' 4" S e longitude 39° 15' 39" W, está instalada na Fazenda Experimental Vale do Curu, também pertencente ao CCA - UFC no município de Pentecoste - CE, a 110 km da capital Fortaleza. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo BSw'h', quente e seco (AGUIAR et al., 2001), com temperatura média de 26,6 °C e evaporação de 1552,4 mm a precipitação média anual é de 806 mm e com alta variabilidade espacial e temporal (PONCE, 1995).

Seleção dos pluviogramas

Selecionou-se entre os pluviogramas disponíveis aqueles que registravam as maiores alturas pluviométricas, nas diferentes durações do evento de chuva. Portanto, para cada ano de observação foi extraído o maior valor de altura pluviométrica (mm) para cada duração. As alturas determinadas foram transformadas em intensidades pluviométricas.

Para a estação de Fortaleza foram analisados os pluviogramas de 1970 a 1999 e para Pentecoste - CE analisaram-se os anos de 1964 a 1981 e 1984. Após a seleção dos dados de intensidade pluviométrica, sendo esses analisados de forma manual para cada pluviograma, as séries anuais de precipitações máximas com diferentes durações foram compostas, sendo analisadas as seguintes durações: 5; 10; 15; 20; 30; 45; 60; 90; 120; 180; 240; 360; 720 e 1440 min. Posteriormente e de posse dos valores das intensidades de chuvas nas diferentes durações avaliadas, as análises estatísticas foram realizadas, para verificar a adequabilidade da distribuição de Gumbel aos dados desse estudo. A distribuição de Gumbel é representada pela seguinte fórmula:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left\{ - \left[\frac{x - \beta}{\alpha} \right] - \exp \left[\left(- \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

onde: $f(x)$ é a função densidade de probabilidade da distribuição de Gumbel; x é a variável aleatória associada a valores máximos do período, onde $-\alpha < x < \beta$; β é denominado parâmetro de posição, onde $-\alpha < \beta < \alpha$; e α é o parâmetro de escala para $\alpha > 0$. A função de distribuição acumulada da variável aleatória x , para valores extremos máximos, é dada por:

$$F(x) = \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right\} \quad (2)$$

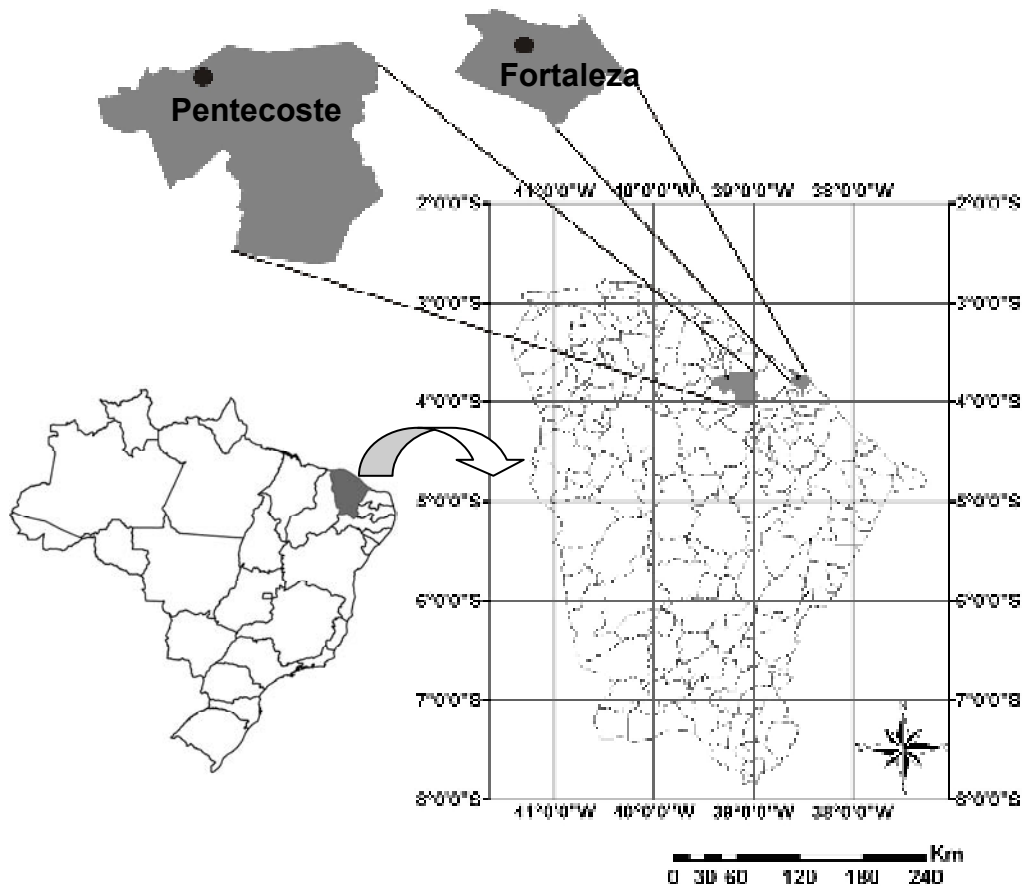


FIGURA 1 – Localização das estações meteorológicas estudadas

Os parâmetros α e β da distribuição de Gumbel foram estimados pelo método dos momentos utilizando-se as seguintes expressões:

$$\alpha = \frac{S}{1,283} \quad (3)$$

$$\beta = \bar{X} - 0,45S \quad (4)$$

onde: S e X são o desvio padrão amostral e a estimativa da média, respectivamente. (HAAN, 1991).

O ajuste da distribuição de probabilidade de Gumbel foi avaliado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, utilizando-se o software SPSS 16.0 (NORUSIS, 1990). O teste é expresso por:

$$Dn_{Max} = \text{Max} | P(X) - P_o(X) | \quad (5)$$

Onde: Dn_{max} é o valor absoluto do teste Kolmogorov-Smirnov; $P(X)$ é a freqüência acumulada observada; e $P_o(X)$ é a freqüência acumulada da distribuição de probabilidade avaliada. A hipótese de nulidade H_0 é aceita sempre que o valor Dn_{max} for menor que um valor crítico tabelado, quando isso acontece os dados se ajustam à distribuição testada (FREITAS et al., 2001).

Cálculo da intensidade máxima provável e da equação IDF

A análise probabilística das máximas intensidades pluviométricas, prováveis de acontecer em um dado período de retorno, foi determinada pelo método de Chow-Gumbel (CHOW, 1964), frequentemente empregado nesses tipos de análises. A expressão matemática do referido método é:

$$X_t = \bar{X} + \frac{S_x}{\sigma_n} (y - y_n) \quad (6)$$

onde: X_t – é a intensidade pluviométrica máxima esperada para o período de retorno (T) (intensidade do evento) em mm h^{-1} ; \bar{X} é a média aritmética das intensidades pluviométricas da série em mm h^{-1} ; S_x é o desvio padrão das intensidades pluviométricas da série, mm h^{-1} ; σ_n é o desvio padrão da variável reduzida; e Y_n é a média da variável reduzida. A variável reduzida foi calculada pela expressão:

$$y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (7)$$

onde: T representa o período de retorno, expresso em anos.

O desvio padrão e a média da variável reduzida, que dependem unicamente do tamanho da amostra, foram obtidos em tabelas publicadas por KITE (1978).

A equação IDF utilizada para relacionar intensidade, duração e freqüência da precipitação pluvial apresenta a seguinte forma geral:

$$i = \frac{k * T^m}{(t+b)^n} \quad (8)$$

onde: i é a intensidade máxima média de chuva (mm h^{-1}); t é o tempo de duração da chuva (min); e k , b , m , n são parâmetros empíricos. Com o objetivo de determinar os valores dos parâmetros empíricos, a equação 8 foi reescrita na seguinte forma:

$$i = \frac{C}{(t+b)^n} \quad (9)$$

Para a determinação dos parâmetros da equação IDF, em uma primeira etapa, a equação 9 foi transformada na equação da reta mediante a propriedade dos logaritmos:

$$\log i = \log C - n * \log(t + b) \quad (10)$$

Portanto foram calculados os logaritmos da intensidade para cada duração ($\log i$) e para os diferentes períodos de retorno. O valor de b foi obtido por tentativas, utilizando-se análise de regressão aplicada aos valores dos logaritmos da intensidade ($\log i$) para um dado período de retorno, com relação aos logaritmos das durações ($\log t$), conforme VILLELA e MATTOS (1975).

Em uma segunda etapa, empregando-se análise de regressão linear simples, foram gerados gráficos de dispersão tendo como ordenadas os valores de $\log i$, e como abscissas os $\log(t+b)$, e assim, estimou-se os coeficientes angular (n) e linear ($\log C$), para cada período de retorno. Os parâmetros k e m da equação intensidade, duração e freqüência (IDF), foram, também, estimados pelo método dos mínimos quadrados conforme a expressão que segue:

$$\log C = \log k + m \log T \quad (11)$$

onde:

$\log k$ e m são os coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores absolutos do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ($D_{N_{\text{Max}}}$) que verifica o ajuste da distribuição estatística de Gumbel aos dados das duas estações estudadas, estão presentes na Tabela 1.

TABELA 1 – Resultado do valor absoluto do teste de Kolmogorov-Smirnov ($D_{N_{\text{Max}}}$) para a distribuição testada ao nível de 20% de significância nas localidades de Fortaleza e Pentecoste

Durações (min)	Distribuição	
	Fortaleza ($D_{N_{\text{Max}}}$)	Pentecoste ($D_{N_{\text{Max}}}$)
5	0,157	0,168
10	**0,264	0,175
15	**0,243	0,164
20	*0,207	0,143
30	0,172	0,139
45	0,083	0,126
60	0,098	0,141
90	0,109	0,156
120	0,161	0,171
180	0,140	0,123
240	0,131	0,118
360	0,119	0,115
720	0,144	0,152
1440	0,118	0,138

**Análise feita ao nível de 1% de significância

*Análise feita ao nível de 10% de significância

As durações de chuvas avaliadas representativas da localidade de Fortaleza (série com 30 anos de dados), apresentaram valores de $D_{N_{\text{Max}}}$ menor que o crítico (0,190), considerando o nível de 20% de significância. Tal fato demonstra que a distribuição probabilística de Gumbel pode ser empregada para os dados de precipitação desse posto pluviográfico. O teste de Kolmogorov-Smirnov torna-se mais rigoroso para níveis de significância maiores

(FREITAS et al., 2001), uma vez que o valor obtido tem menor probabilidade de ser superado pelo tabelado. Para as durações de 10, 15 e 20 min (Tabela 1), os ajustes ocorreram aos níveis de 1 e 10% de significância, o que implica na possibilidade de uso da distribuição de Gumbel para essas durações, porém, com menor grau de certeza quando comparada às demais.

O teste de Kolmogorov-Smirnov não rejeitou o ajuste dos dados para a distribuição testada representativos da localidade de Pentecoste (série com 19 anos de dados), em nenhuma das durações ao nível de significância de 20%, uma vez que o Dn_{Max} foi menor que o crítico (0,237), o que demonstra a alta confiabilidade no seu emprego em todas as durações avaliadas. SILVA et al. (2002) e BACK (2006) encontraram, também, bons ajustes dos dados de intensidade de chuvas para a distribuição probabilística de Gumbel para os níveis de significância de 20 e 10%, respectivamente, no Estado da Bahia e Chapecó em Santa Catarina.

Os parâmetros e as equações intensidade – duração – freqüência (IDF), para os dados coletados nas estações meteorológicas de Fortaleza e Pentecoste, são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Observa-se que as equações geradas apresentaram valores de seus parâmetros bem específicos para cada uma das estações. Nas Tabelas 4 e 5 verifica-se que o valor de intensidade máxi-

ma de precipitação obtida na estação de Pentecoste, considerando os parâmetros ajustados, por exemplo, para período de retorno de dois anos e duração de cinco minutos, mostrou-se com magnitude de 121,20 $mm\ h^{-1}$, enquanto para estação de Fortaleza, cuja equação apresenta parâmetros diferentes da primeira, apresentou intensidade de 80,9 $mm\ h^{-1}$, expressando assim, uma variação percentual de 49,8% para a duração e período de retorno considerado. A discrepância de intensidades de chuvas decorrente de variações paramétricas demonstra a necessidade de equações distintas para as duas localidades avaliadas. Tais variações podem ocorrer devido às características dos eventos hidrológicos nas regiões semi-áridas do Nordeste brasileiro, que apresentam uma alta variabilidade espacial e temporal (PONCE, 1995). Grandes variações nos parâmetros da equação IDF, dentro de uma mesma faixa territorial, também, foram verificadas por FREITAS et al. (2001), GENOVEZ e ZUFFO (2000) e SILVA et al. (1999).

TABELA 2 – Parâmetros e equações intensidade–duração–freqüência (IDF) em diferentes períodos de retorno para a estação meteorológica de Fortaleza - CE

Período de Retorno (anos)	Parâmetros				Equação
	Log C	n	C	b	
2	3,4445	0,9091	2782,915	44	$i = \frac{2782,915}{(t+44)^{0,9091}}$
5	3,5761	0,9072	3767,905	44	$i = \frac{3767,905}{(t+44)^{0,9072}}$
10	3,64502	0,9063	4415,907	44	$i = \frac{4415,907}{(t+44)^{0,9063}}$
20	3,7021	0,9057	5036,165	44	$i = \frac{5036,165}{(t+44)^{0,9057}}$
25	3,7188	0,9055	5233,593	44	$i = \frac{5233,593}{(t+44)^{0,9055}}$
50	3,7663	0,9050	5838,482	44	$i = \frac{5838,482}{(t+44)^{0,9050}}$
100	3,8088	0,9046	6438,726	44	$i = \frac{6438,726}{(t+44)^{0,9046}}$
Equação Geral	K	m	n	b	$i = \frac{3458,3 * T^{0,193}}{(t+44)^{0,954}}$
	3458	0,193	0,954	44	

TABELA 3 – Parâmetros e equações intensidade–duração–freqüência (IDF) em diferentes períodos de retorno para a estação meteorológica de Pentecoste - CE

Período de Retorno (anos)	Parâmetros				Equação
	Log C	n	C	b	
2	3,5240	1,0579	3342,335	18	$i = \frac{3342,335}{(t+18)^{1,0579}}$
5	3,5364	0,9848	3438,745	18	$i = \frac{3438,745}{(t+18)^{0,9848}}$
10	3,5631	0,9557	3657,042	18	$i = \frac{3657,042}{(t+18)^{0,9557}}$
20	3,5859	0,9434	3854,606	18	$i = \frac{3854,606}{(t+18)^{0,9434}}$
25	3,5948	0,9322	3934,504	18	$i = \frac{3934,504}{(t+18)^{0,9322}}$
50	3,6606	0,9393	4577,201	18	$i = \frac{4577,201}{(t+18)^{0,9393}}$
100	3,6416	0,9074	4381,269	18	$i = \frac{4381,269}{(t+18)^{0,9074}}$
Equação Geral	K	m	n	b	$i = \frac{2246 * T^{0,185}}{(t+18)^{0,950}}$
	2246	0,185	0,950	18	

TABELA 4 – Intensidades máximas prováveis para diferentes períodos de retorno e diferentes durações, obtidas pelo método Chow-Gumbel e a partir das equações geradas para Pentecoste-CE

Duração (min)	Período de retorno (anos)													
	2		5		10		20		25		50		100	
	Chow ¹	Calc ²	Chow	Calc	Chow	Calc	Chow	Calc	Chow	Calc	Chow	Calc	Chow	Calc
5	124,8	121,2	161,2	156,8	187,1	182,7	203,8	200,1	216,0	211,6	238,9	240,7	259,1	254,7
10	95,1	98,4	127,4	129,2	150,4	151,4	165,3	166,2	176,1	176,1	196,4	200,1	214,4	213,0
15	81,5	82,7	108,3	109,9	127,5	129,4	139,8	142,4	148,8	151,1	165,7	171,5	180,7	183,5
20	71,3	71,3	95,1	95,6	112,0	113,1	123,0	124,6	131,0	132,5	146,0	150,2	159,2	161,5
30	55,7	55,6	75,4	76,0	89,4	90,4	98,5	100,0	105,1	106,6	117,5	120,6	128,5	130,6
45	42,1	41,7	58,6	58,1	70,4	69,7	78,0	77,4	83,5	82,7	94,0	93,4	103,2	102,1
60	33,8	33,3	48,4	47,1	58,9	56,9	65,7	63,2	70,6	67,8	79,8	76,4	88,0	84,1
90	23,4	23,6	34,0	34,2	41,6	41,7	46,5	46,5	50,0	50,0	56,7	56,3	62,6	62,6
120	18,0	18,2	26,4	26,9	32,3	33,0	36,2	36,9	38,9	39,8	44,2	44,7	48,8	50,1
180	12,7	12,4	19,0	18,8	23,5	23,3	26,4	26,3	28,4	28,4	32,4	31,9	35,9	36,1
240	10,1	9,4	14,8	14,5	18,2	18,1	20,3	20,5	21,9	22,2	24,9	24,9	27,5	28,4
360	6,9	6,3	10,0	10,0	12,3	12,6	13,8	14,3	14,8	15,6	16,8	17,4	18,6	20,1
720	3,6	3,1	5,2	5,2	6,4	6,6	7,2	7,6	7,7	8,3	8,8	9,3	9,7	10,9
1440	1,8	1,5	2,7	2,6	3,2	3,5	3,6	4,0	3,9	4,4	4,4	4,9	4,9	5,9

¹Chow: valores obtidos empregando-se o método de Chow-Gumbel

²Calc: valores calculados a partir das equações geradas para a estação de Pentecoste.

TABELA 5 – Intensidades pluviométricas máximas prováveis para diferentes períodos de retorno e diferentes durações, obtidas pelo método Chow-Gumbel e pelas equações geradas para Fortaleza-CE

Duração (min)	Período de retorno (anos)													
	2		5		10		20		25		50		100	
	Chow ¹	Calc ²	Chow	Calc	Chow	Calc	Chow	Calc	Chow	Calc	Chow	Calc	Chow	Calc
5	92,2	80,9	131,8	110,3	158,1	129,8	183,2	148,4	191,2	154,3	215,7	172,5	240,1	190,5
10	74,4	74,0	96,4	101,0	110,9	118,8	124,8	135,9	129,3	141,3	142,9	157,9	156,4	174,5
15	68,5	68,3	89,5	93,2	103,4	109,7	116,7	125,4	120,9	130,4	133,9	145,8	146,8	161,0
20	64,7	63,4	85,0	86,6	98,4	101,9	111,3	116,5	115,4	121,1	127,9	135,4	140,4	149,6
30	58,5	55,6	80,5	75,9	95,0	89,3	108,9	102,1	113,4	106,2	127,0	118,8	140,5	131,2
45	49,3	47,0	66,1	64,2	77,3	75,5	88,0	86,4	91,4	89,9	101,9	100,5	112,2	111,0
60	41,03	40,8	56,6	55,8	66,9	65,6	76,7	75,0	79,9	78,1	89,5	87,3	99,1	96,4
90	32,8	32,4	45,0	44,3	53,2	52,1	60,9	59,6	63,4	62,0	71,0	69,4	78,6	76,7
120	26,9	27,0	36,2	36,9	42,3	43,4	48,2	49,7	50,1	51,7	55,8	57,8	61,6	63,9
180	20,6	20,3	29,6	27,8	35,6	32,7	41,3	37,5	43,1	39,0	48,7	43,6	54,2	48,2
240	16,9	16,4	23,6	22,4	27,9	26,4	32,24	30,2	33,6	31,4	37,7	35,2	41,8	38,9
360	12,3	11,9	17,0	16,3	20,1	19,2	23,13	22,0	24,1	22,8	26,9	25,6	29,8	28,3
720	6,7	6,7	9,1	9,1	10,6	10,8	12,17	12,3	12,6	12,8	14,1	14,4	15,6	15,9
1440	3,6	3,6	4,8	5,0	5,6	5,9	6,43	6,8	6,7	7,0	7,4	7,9	8,1	8,7

¹Chow: valores obtidos empregando-se o método de Chow-Gumbel

²Calc: valores calculados a partir das equações geradas para a estação de Fortaleza.

Observando-se as Tabelas 2 e 3, percebe-se que os parâmetros k e m da equação geral representativa de Fortaleza apresentaram, respectivamente, valores de 3458 e 0,193, enquanto que para a estação de Pentecoste os valores encontrados foram 2246 e 0,185 respectivamente. No entanto observou-se, comparando os valores de intensidades pluviométricas observados e ajustados, que o emprego desses parâmetros para desenvolvimento de uma única equação que fosse representativa de todos os intervalos de tempo estudados (5 – 1440 min) e período de retorno em cada estação, resultaria em maiores desvios percentuais que as equações específicas para cada tempo de retorno. Na estação de Fortaleza usando a equação geral, aproximadamente 34% dos dados mostraram desvios percentuais superiores a 10% (Tabela 6), dois quais 14% superestimam e 20% subestimam os valores observados pela equação de Gumbel, enquanto o emprego das equações específicas para cada tempo de retorno apenas 9,2% dos dados mostrou desvios superiores a 10%. Já para a estação de Pentecoste, 14% dos dados estimados pela equação geral apresentaram desvios superiores a 10% (Tabela 7) em relação aos valores observados, enquanto que, com o emprego das equações específicas, o número de dados com desvios percentuais superiores a 10% reduziu-se a metade. Nessa estação para duração de 1440 min e período de retorno de dois anos a equação geral superestimou o valor observado em 40%, enquanto que, com o emprego da equação ajustada para o período de retorno de dois anos, esse valor foi subestimado em 16,7%. COSTA e SILVA (1988), estudando a relação entre intensidade, duração e freqüência para Pentecoste-CE, obtiveram uma equação de uso geral para duração de até 2 h, onde os valores de k e m encontrados foram de 4297,83 e 0,18, respectivamente. Em comparação às equações ajustadas nesse estudo que em-

prega durações de 5 a 1440 min o maior desvio percentual entre essas e a dos autores citados, foi verificado para o tempo de retorno de 100 anos e duração de 30 min (11,16%). Na busca de modelos que expressem os processos naturais com uma maior acurácia e precisão, optou-se pelo desenvolvimento de equações específicas para os diferentes tempos de recorrência, em cada estação meteorológica analisada (Tabelas 2 e 3).

Os eventos de máximas intensidades estimados pelas equações desenvolvidas para cada tempo de retorno (Tabelas 2 e 3) se aproximam dos valores calculados pela equação de Chow - Gumbel (Tabelas 4 e 5), com exceção para duração de 5 min na estação de Fortaleza, onde os valores estimados pelas equações desenvolvidas, subestimaram os valores observados por Gumbel considerando-se todos os períodos de retorno. Para essa duração o desvio é crescente com o aumento do período de retorno, sendo o maior valor constatado para o tempo de retorno de 100 anos (20,6%), significando que o valor ajustado é aproximadamente 21% menor que o observado, o menor desvio foi verificado para o tempo de retorno de 2 anos (12,3%). Para maiores durações (>20 min) os valores estimados encontram-se próximos dos observados, demonstrando assim uma boa aproximação dos dados obtidos pelos dois métodos, indicando que as equações desenvolvidas podem ser empregadas com confiabilidade para as localidades estudadas. PINTO et al. (1996), elaborando equações do tipo intensidade-duração-freqüência, encontraram aproximações superiores a 90% entre as equações elaboradas e as encontradas pelo método Chow-Gumbel para as durações de 15, 30 e 45 min. Tal comportamento ocorre, por que, na região (Nordeste brasileiro), onde estão situadas as duas estações em estudo, a maior parte dos eventos chuvosos são de curta duração.

TABELA 6 – Desvios percentuais da equação geral e das equações específicas para cada tempo de retorno em relação aos valores observados por Gumbel, para a estação de Fortaleza-CE

Duração (min)	Período de retorno (anos)													
	2		5		10		20		25		50		100	
	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec
5	4,6	-12,3*	-12,6	-16,3	-16,7	-17,9	-17,8	-19,0	-17,8	-19,3	-16,7	-20,0	-14,4	-20,7
10	18,2	-0,5	8,8	4,8	8,2	7,1	9,9	8,9	10,7	9,3	14,5	10,5	19,6	11,6
15	18,0	-0,3	7,7	4,1	6,6	6,1	8,0	7,5	8,8	7,9	12,3	8,9	17,1	9,7
20	15,6	-2,0	5,0	1,9	3,7	3,6	4,8	4,7	5,5	4,9	8,8	5,9	13,3	6,6
30	11,3	-5,0	-3,4	-5,7	-6,4	-6,0	-6,7	-6,2	-6,5	-6,3	-4,5	-6,5	-1,3	-6,6
45	10,7	-4,7	-1,4	-2,9	-3,6	-2,3	-3,2	-1,8	-2,7	-1,6	-0,2	-1,4	3,5	-1,1
60	14,7	-0,6	-0,7	-1,4	-4,0	-1,9	-4,3	-2,2	-4,0	-2,3	-2,1	-2,5	1,0	-2,7
90	12,6	-1,2	-1,9	-1,6	-5,2	-2,1	-5,3	-2,1	-5,0	-2,2	-3,1	-2,3	0,0	-2,4
120	13,3	0,4	0,4	1,9	-1,7	2,6	-1,3	3,1	-0,9	3,2	1,6	3,6	5,28	3,7
180	9,8	-1,5	-8,7	-6,1	-13,2	-8,1	-14,5	-9,2	-14,4	-9,5	-13,4	-10,5	-11,1	-11,1
240	6,8	-3,0	-8,7	-5,1	-11,7	-5,4	-12,6	-6,3	-12,5	-6,5	-10,8	-6,6	-8,1	-6,9
360	4,8	-3,3	-9,4	-4,1	-12,4	-4,5	-13,0	-4,9	-12,8	-5,4	-10,7	-4,8	-7,9	-5,0
720	4,8	0,0	-7,9	0,0	-9,6	1,9	-10,0	1,1	-9,2	1,6	-7,3	2,1	-4,2	1,9
1440	3,5	0,0	-7,3	4,2	-9,1	5,4	-9,5	5,8	-9,4	4,5	-6,2	6,8	-2,0	7,4

*Desvios negativos indicam que os valores calculados pelas equações subestimam os observados por Gumbel

TABELA 7 – Desvios percentuais da equação geral e das equações específicas para cada tempo de retorno em relação aos valores observados por Gumbel, para a estação de Pentecoste-CE

Duração (min)	Período de retorno (anos)													
	2		5		10		20		25		50		100	
	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec	Eq. geral	Eq. espec
5	4,1	-2,9*	-4,6	-2,7	-6,5	-2,4	-2,4	-1,8	-4,1	-2,0	-1,4	0,8	3,3	-1,7
10	13,3	3,5	0,2	1,4	-3,5	0,7	-0,2	0,5	-2,4	0,0	-0,5	1,9	3,6	-0,7
15	13,1	1,5	0,8	1,5	-2,7	1,5	0,9	1,9	-1,2	1,5	0,9	3,5	5,2	1,5
20	13,0	0,0	0,4	0,5	-3,1	1,0	0,3	1,3	-1,8	1,1	0,1	2,9	4,4	1,4
30	15,9	-0,2	1,4	0,8	-2,7	1,1	0,3	1,5	-2,0	1,4	-0,3	2,6	3,6	1,6
45	18,4	-1,0	0,8	-0,9	-4,6	-1,0	-2,1	-0,8	-4,7	-1,0	-3,8	-0,6	-0,4	-1,1
60	20,4	-1,5	-0,4	-2,7	-6,9	-3,4	-5,1	-3,8	-8,0	-4,0	-7,5	-4,3	-4,6	-4,4
90	27,7	0,9	4,1	0,6	-3,3	0,2	-1,6	0,0	-4,7	0,0	-4,4	-0,7	-1,6	0,0
120	31,5	1,1	6,2	1,9	-1,3	2,2	0,1	1,9	-2,9	2,3	-2,9	1,1	0,0	2,7
180	32,3	-2,4	4,7	-1,1	-3,7	-0,9	-2,6	-0,4	-5,6	0,0	-6,0	-1,5	-3,5	0,6
240	29,3	-6,9	4,6	-2,0	-3,3	-0,5	-1,5	1,0	-4,8	1,4	-4,8	0,0	-2,0	3,3
360	31,7	-8,7	7,7	0,0	-0,5	2,4	0,8	3,6	-2,0	5,4	-1,9	3,6	0,8	8,1
720	33,7	-13,9	9,7	0,0	1,3	3,1	2,4	5,6	-0,3	7,8	-0,8	5,7	2,3	12,4
1440	40,0	-16,7	10,6	-3,7	6,1	9,4	7,2	11,1	3,1	12,8	3,9	11,4	6,1	20,4

*Desvios negativos indicam que os valores calculados pelas equações subestimam os observados por Gumbel

Constatou-se que para durações acima de 30 min em todos os períodos de retorno, as aproximações entre os valores esperados e calculados pelo modelo desenvolvido (Tabelas 4 e 5) foram similares nas duas estações.

Observa-se diferenciação entre os valores das intensidades máximas prováveis entre as estações de Pentecoste (Tabela 4) e Fortaleza (Tabela 5), sendo essas diferenças mais evidentes para durações menores. A estação de Pentecoste apresentou os maiores valores de intensidade nas durações de até 30 min, apresentando, assim, altas intensida-

des em curtas durações. Para a estação de Fortaleza, situada no litoral cearense e fortemente influenciada pelas correntes oceânicas, normalmente as chuvas apresentam longas durações contribuindo dessa maneira para elevação dos valores de intensidades em eventos de maior duração, quando em comparação a estação de Pentecoste. Essa diferenciação fica evidente até mesmo para durações muito longas (>180 min). Para a duração de 1440 min com tempo de retorno de 50 anos, os valores das duas estações distanciaram-se em 61,2%.

Comparando-se ainda os valores das intensidades máximas prováveis nas duas estações, percebe-se de maneira geral maior magnitude das intensidades para a estação de Pentecoste. Tal fato pode estar relacionado às características do clima semi-árido, ou seja, na estação de Pentecoste há uma alta variabilidade temporal com a predominância de chuvas convectivas caracterizadas por curtas durações e altas intensidades. Por outro lado, a região de Fortaleza sofre a influência direta da massa oceânica, a qual atua como um agente que neutraliza a alta variabilidade temporal e espacial das precipitações.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados alcançados permitiu as seguintes conclusões:

a) A distribuição de Gumbel ajustou-se bem aos dados de intensidade pluviométrica das estações de Pentecoste e Fortaleza, sendo o melhor ajuste verificado para a localidade de Pentecoste.

b) Os valores de intensidades pluviométricas obtidos evidenciaram a necessidade de equações diferenciadas para cada estação e para cada período de retorno na a estimativa da intensidade de chuvas

c) As equações IDF específicas para cada tempo de retorno nas duas estações, mostraram-se mais confiáveis que a equação geral na estimativa dos valores de intensidade máxima de precipitação.

d) Os valores estimados neste trabalho, pelas equações intensidade, duração e frequência (IDF), se aproximaram dos valores observados, o que demonstra a possibilidade de uso dessas equações na estimativa da intensidade de chuvas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através da concessão de bolsas aos pesquisadores desse trabalho.

REFERÊNCIAS

1. AGUIAR, M. J. N.; AGUIAR, J. V.; BEZERRA, F. M. L.; LIMA, J. B.; CRISÓSTOMO JÚNIOR, R. R.; AQUINO, F. C.; PAIVA FILHO, O. A.; CARNEIRO, F. A. **Dados Climatológicos**: Estação de Pentecoste, 2000. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 14 p. (Boletim Agrometeorológico, n. 26)
2. BACK, A. J. Relação Intensidade – Duração – Frequência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 28, n. 4, p. 575-581, 2006.
3. CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw Hill Co, 1964. 42 p.
4. COSTA, J. O.; SILVA, Z. R. Análise das Relações Intensidade – Duração – Frequência das chuvas intensas para Pentecoste - CE. **Revista Ciência Agronômica**. v. 19, n. 1, p. 127-133, 1988.
5. FREITAS, A. J.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A.; PEREIRA, S. B.; GOMES FILHO, R. R.; TEIXEIRA, A. F.; BAENA, L. G. N.; MELLO, L. T. A.; NOVAES, L. F. **Equações de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001, 65 p.
6. GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas Intensas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 5, n. 3, p. 45-58, 2000.
7. HAAN, C. T. **Statistical Methods in Hidrology**. Ames, Iowa: The Iowa State University Prees, 1991. 377 p.
8. KITE, G. W. **Frequency and risk analyses in hidrology**. Fort Collins: Water Resouces, 1978. 249 p.
9. NORUSIS, M. J. **SPSS Base System User's Guide**. Chicago, 1990. 520 p.
10. PINTO, F. A.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, A. R.; ALVES, A. R.; CECON, P. R. Equações de chuvas intensas para algumas localidades do estado de Minas Gerais. **Engenharia Agrícola**. v. 16, n. 1, p. 91-104, 1996.
11. PONCE, V. M. Management of droughts and floods in the semiarid Brazilian northeast. The case for conservation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 50, n. 5, p. 422-431. 1995.
12. SILVA, D. D.; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.. Chuvas Intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.
13. SILVA, D. D.; 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 Agrícola**, v. 11, n. 1, p. 07-14, 2003.
14. SILVA, D. D.; PINTO, F. R. I.; PRUSKI, F. F. PINTO, F. A. Equações Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e Espírito Santo. **Engenharia Agrícola**, v. 18, n. 3, p. 11-21, 1999.
15. VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo : McGraw Hill do Brasil, 1975. 245 p.

Recebido em 19/03/2008

Aceito em 31/07/2008

