Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

CHUVAS MÁXIMAS DIÁRIAS E EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA O ESTADO DO AMAPÁ, BRASIL

BACK, Alvaro José – ajb@unesc.net
Universidade do Extremo Sul Catarinense / UNESC
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / EPAGRI

CADORIN, Sabrina Baesso – bcadorin.sabrina@gmail.com
Universidade do Extremo Sul Catarinense / UNESC

RESUMO: As chuvas intensas podem ser representadas por meio das curvas ou equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF). As equações IDF são necessárias em vários cálculos de drenagem agrícola e urbana. Tendo em vista sua importância, este trabalho tem como objetivo determinar as precipitações máximas anuais e ajustar as equações IDF para o Amapá, justificado pela carência de informações sobre chuvas intensas para o estado. Foram analisadas as séries históricas das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo selecionadas dezesseis estações com séries históricas superiores a 10 anos de dados. Foram ajustados os parâmetros das distribuições Gumbel e Generalizada de Valores Extremos (GEV), determinadas pelos métodos da Máxima Verossimilhança, dos Momentos e dos Momentos-L. A aderência das distribuições avaliadas pelos testes de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e Filliben. As relações IDF estimadas apresentaram um bom ajuste, com coeficientes de determinação acima de 0,995. As equações ajustadas permitem estimativa da intensidade da chuva com duração de 5 a 1440 minutos e período de retorno de 2 a 100 anos com erro padrão inferior 3,5 mm h^{-1}. As séries de chuvas máximas anuais se ajustaram bem a distribuição Gumbel e GEV, sendo o ajuste considerado melhor com a distribuição GEV com parâmetros estimados pelo método dos Momentos-L.

PALAVRAS-CHAVE: Conservação do solo; Distribuições de probabilidade; Eventos extremos; Hidrologia.

DAILY MAXIMUM RAINFALL AND INTENSITY-DURATIONS-FREQUENCY EQUATIONS FOR THE STATE OF AMAPÁ, BRAZIL

ABSTRACT: In order to characterize the intense rains, the intensity, duration and frequency must be known, which can be represented by the Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves or equations. IDF equations are required in various urban and agricultural drainage calculations. Considering its importance, this work aims to determine the maximum annual rainfall and to adjust the IDF equations for Amapá, justified by lack of information on intense rains for the state. The historical series of pluviometric stations of the National Water Agency (ANA) were analyzed, and stations with historical series over 10 years of data were selected. The Gumbel and Generalized Extreme Values (GEV) distributions, determined by the Maximum Likelihood, Moment and L-Moment methods, were adjusted and the distributions adhered to the Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling and Filliben tests were adjusted. The IDF ratios estimated presented a good fit, with coefficients of determination above 0.995. The adjusted equations allow estimation of the rain intensity with a duration of 5 to 1440 minutes and a return period of 2 to 100 years with a standard error of less than 3.5 mm h^{-1}. The maximum annual rainfall series fit the Gumbel and GEV distribution well, and the adjustment is considered the best with the GEV distribution with parameters estimated by the L-Moment method.

KEYWORDS: Soil conservation; Probability distributions; Extreme events; Hydrology.

LLUVIAS DIARIAS MÁXIMAS Y ECUACIONES DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA PARA EL ESTADO DE AMAPÁ, BRASIL

RESUMEN: La lluvia intensa se puede representar mediante curvas o ecuaciones de intensidad-duración-frecuencia (IDF). Las ecuaciones IDF son necesarias en varios cálculos de drenaje agrícola y urbano. Dada su importancia, este documento tiene como objetivo determinar la precipitación anual máxima y ajustar las ecuaciones de las IDF para Amapá, justificadas por la falta de información sobre lluvias intensas para el estado. Se analizaron las series históricas de estaciones pluviométricas de la Agencia Nacional del Agua (ANA) y se seleccionaron dieciseis estaciones con series históricas de más de 10 años de datos. Se ajustaron los parámetros de las distribuciones de Gumbel y del Valor Extremo Generalizado (GEV), determinados por los métodos de Máxima Verosimilitud, de Momentos y de Momentos L. La adherencia de las distribuciones evaluadas por las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Filliben. Las proporciones estimadas de IDF mostraron un buen ajuste, con coeficientes de determinación superiores a 0,995. Las ecuaciones ajustadas permiten estimar la intensidad de la lluvia de 5 a 1440 minutos y el período de retorno de 2 a 100 años con un error estándar de menos de 3,5 mm h^{-1}. La serie anual de precipitaciones máximas encaja bien con la distribución de Gumbel y GEV. El ajuste se consideró mejor con la distribución de GEV con parámetros estimados por el método Momentos L.

PALABRAS CLAVE: Conservación del suelo; Distribuciones de probabilidad; Eventos extremos; Hidrología

INTRODUÇÃO

O conhecimento das características das chuvas intensas é importante para o dimensionamento de obras de captação de água da chuva ou drenagem e controle do escoamento superficial, como bueiros e canais de drenagem. Na engenharia agrícola é necessário ter informações das chuvas intensas para dimensionamento de sistemas de drenagem e obras de controle de erosão como terraços e canais escoadouros.

Para caracterizar as chuvas intensas deve-se conhecer a intensidade, a duração e a frequência. Essas características podem ser representadas por meio das curvas ou equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas. As equações IDF são necessárias em vários cálculos de drenagem urbana e drenagem agrícola (COELHO FILHO, MELO e ARAÚJO, 2017). O método tradicional de estabelecimento das equações IDF é baseado na análise de longas séries de dados pluviográficos. Na ausência desses dados pode-se utilizar de técnicas de desagregação da chuva máxima diária, medida em pluviômetros, em chuvas de menor duração, e com base nestes valores, realizar o ajuste de equações IDF (GARCIA, AMORIM, COUTO e STOPA, 2011; RANGEL e HARTWIG, 2017).

Para a desagregação de chuvas intensas pode-se utilizar o método das isozonas (BASSO, ALLASIA e PICKBRENNER, 2016) ou o método das relações entre chuvas de diferentes durações (CETESB, 1986). Para aplicação da desagregação deve-se primeiro estimar a chuva máxima diária com base em uma distribuição de probabilidade. Existem diversas distribuições de probabilidade que podem ser aplicadas para as séries de máximas anuais, entre as quais se destacam as distribuições Log-Normal, de Gumbel, Generalizada de Valores Extremos (GEV), Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, e Weibull (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Vários trabalhos têm mostrado que a distribuição de probabilidade Gumbel é a que melhor se ajusta a séries de eventos máximos como vento e precipitação (FERREIRA, DANIEL e TOMAZELA, 2005; SANSIGOLO, 2008). A

distribuição de probabilidades GEV tem se mostrado adequada para diversas aplicações da engenharia hidrológica, como chuva e vazão máximas (QUEIROZ e CHAUDHAY, 2006).

Para a aplicação dessas distribuições deve-se primeiro realizar o ajuste dos parâmetros da distribuição, que pode ser feito por vários métodos, entre os quais se destacam o método dos Momentos, o método da Máxima Verossimilhança e o método dos Momentos-L. Segundo Naghettini e Pinto (2007), o método dos Momentos ponderados por probabilidades, conhecido como Momentos-L, pode produzir estimadores de parâmetros comparáveis, em qualidade, àqueles gerados pela Máxima Verossimilhança, com a vantagem de exigirem um menor esforço computacional.

Existem trabalhos determinando as equações IDF para a maioria das regiões do Brasil, no entanto, foi observada carência de informações sobre chuvas intensas para o estado do Amapá. Assim, tendo em vista a importância do conhecimento das precipitações máximas e das equações IDF, este trabalho tem como objetivo determinar as precipitações máximas anuais e ajustar as equações IDF para o estado do Amapá.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisadas as séries históricas das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) localizadas no estado do Amapá. Para cada estação pluviométrica foi determinada a série de chuvas máximas anuais, sendo excluídos da série os anos que apresentavam falhas nos registros de dados. Neste estudo foram selecionadas as estações que apresentaram série com mais de 10 anos de dados. Na Figura 1 pode-se visualizar a localização das estações pluviométricas a serem utilizadas no estudo. Na Tabela 1 constam os dados das respectivas estações utilizadas.

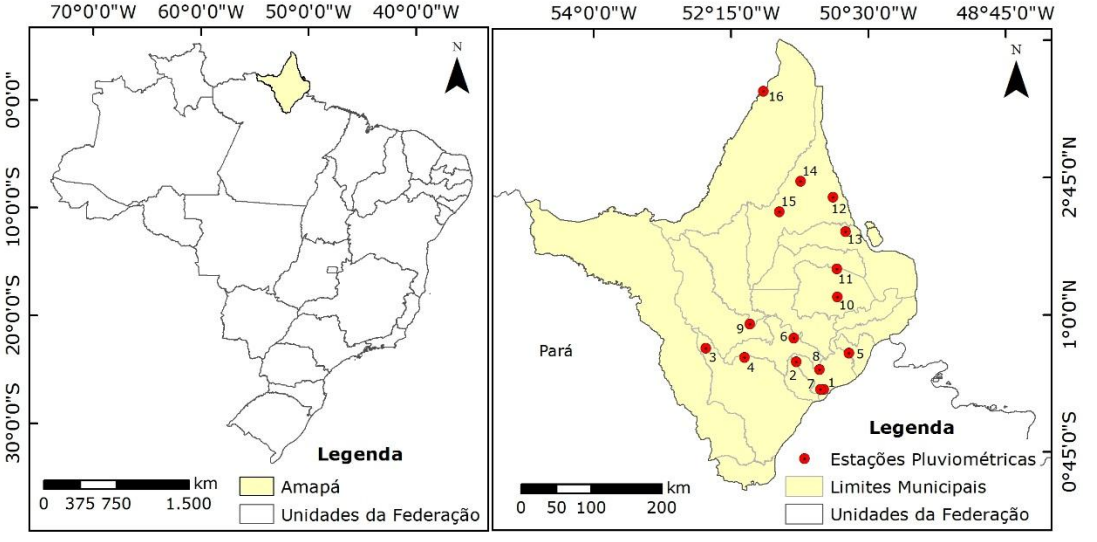


Figura 1 - Mapa de localização das estações pluviométricas do Amapá.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 - Dados das estações pluviométricas usadas no estudo.

N°	Estação	Município	Latitude	Longitude	Ano inicial	Ano final
1	51001	Macapá	0,05	-51,07	1968	1979
2	51002	Mazagão	0,40	-51,42	1981	2018
3	52000	Laranjal do Jarí	0,57	-52,58	1970	2013
4	52003	Mazagão	0,46	-52,08	1998	2018
5	8050000	Macapá	0,51	-50,75	1985	2018
6	8051000	Macapá	0,7	-51,45	1968	1992
7	8051002	Macapá	0,05	-51,11	1968	2016
8	8051010	Macapá	0,30	-51,13	1984	2018
9	8052000	Serra do Navio	0,88	-52,01	1973	2018
10	8150000	Tartarugalzinho	1,23	-50,90	1975	2018
11	8151000	Tartarugalzinho	1,58	-50,90	1985	2017
12	8250002	Calçoene	2,50	-50,95	1976	2018
13	8250003	Amapá	2,05	-50,79	1978	2018
14	8251001	Calçoene	2,70	-51,36	1985	2018
15	8251003	Calçoene	2,31	-51,64	1998	2018
16	8351002	Oiapoque	3,84	-51,84	1981	2018

Foram ajustadas as distribuições Gumbel e a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV). A distribuição de Gumbel, também conhecida como distribuição de Extremos tipo I, tem a função densidade de probabilidade dada por:

$$f(x) = \alpha\ e^{\{-\alpha\ (X-\beta)-e^{-\alpha(X-\beta)}\}} \quad (1)$$

Em que α é o parâmetro de escala e β é o parâmetro de locação da distribuição.

A distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) tem função densidade de probabilidade dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha}\left[1 + k\left(\frac{X-\beta}{\alpha}\right)\right]^{-\left(\frac{1+k}{k}\right)} \exp\left\{-\left[1 + k\left(\frac{X-\beta}{\alpha}\right)\right]^{-\left(\frac{1}{k}\right)}\right\} \quad (2)$$

Em que α, β e k são respectivamente os parâmetros de escala, posição, e de forma.

O ajuste dos parâmetros foi realizado pelo método dos Momentos (MM) e pelo método da Máxima Verossimilhança (MV) (NAGHETTINI e PINTO, 2007) e Método dos Momentos-L (MML) (QUEIROZ e CHAUDHAY, 2006). Para a

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

distribuição de Gumbel também foi realizado o ajuste proposto por Chow, conforme descrito em Back e Bonetti (2014).

Para avaliar a aderência das distribuições foram usados os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS), teste de Anderson-Darling (AD) e o teste de Filliben. No teste KS compara-se as frequências cumulativas F(x) dos dados observados e das distribuições teóricas. A hipótese nula a ser testada é de que os dados observados seguem a distribuição teórica. A estatística do teste e dado pela maior diferença absoluta entre os valores de F(x), isto é:

$$D_{max} = |\,F(x)\text{ empírica} - F(x)\text{ teórica}\,| \quad (3)$$

O valor de D_{max} é comparado com valores críticos (D_{crit}) para dado nível de significância α e tamanho de amostra n. Se D_{max} calculado for maior que D_{crit} deve-se rejeitar a hipótese nula.

No teste AD testa-se a hipóteses de que uma dada amostra tenha sido retirada de uma dada população com função de distribuição acumulada contínua F(x). É um teste não paramétrico que procura ponderar mais fortemente as caudas das distribuições, nas quais as maiores (ou as menores) observações da amostra podem alterar sobremaneira a qualidade do ajuste. A estatística do teste é calculada por:

$$A^2 = -N - \sum_{i=1}^{N} \frac{(2i-1)\left\{\ln F_X(x_{(i)}) + \ln\left[1 - F_X(x_{(N-i+1)})\right]\right\}}{N} \quad (4)$$

Onde $x_{(1)}$, $x_{(2)}$,...$x_{(n)}$ representam as observações ordenadas em ordem crescente.

O teste de aderência de Filliben é descrito em detalhes Naghettini e Pinto (2007). A estatística do teste de aderência de Filliben é construída com base no coeficiente de correlação linear R, é expressa por:

$$R_F = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(w_i - \bar{w})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N}(w_i - \bar{w})^2}} \quad (5)$$

As chuvas máximas diárias foram desagregadas em durações de 5 a 1440 minutos usando os coeficientes de desagregação da CETESB (1986). A partir destes valores foram obtidas as intensidades estimadas pela distribuição de probabilidade. Foram ajustadas as equações IDF, dadas por:

$$I = \frac{KT^m}{(t+b)^n} \quad (6)$$

Em que: I é a intensidade máxima média da chuva (mm h^{-1}); K, m, b, n são os coeficientes da equação a serem ajustados; T é o período de retorno (anos); t é a duração da chuva (minutos).

Para o ajuste da equação utilizou-se a minimização função RMSE dada por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(G_T^t - I_T^t\right)^2}{n}} \quad (7)$$

Em que: RMSE é a raiz do erro quadrático médio; t é a duração da chuva (min); T é o período de retorno (anos); G é a intensidade da chuva estimada pela

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

distribuição de probabilidade; I é a intensidade da chuva estimada pela equação IDF.

A espacialização dos dados de intensidade de chuva foi realizada a partir do uso de geoprocessamento utilizando o software ArcGIS® versão 10.3.1, constituindo um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O sistema de referência utilizado foi a projeção Policônica e Datum Horizontal SIRGAS 2000.

Para a espacialização das intensidades de chuva com período de retorno de 10 anos e durações de 5, 15, 30, 60 e 1440 minutos foi realizada a interpolação utilizando o procedimento estacionário da krigagem ordinária. Vários estudos (MELLO et al., 2003; CASTRO et al., 2010; SILVA e OLIVEIRA, 2017) concluíram que a espacialização de variáveis climáticas, e em especial da precipitação, apresenta melhor resultado da superfície interpolada utilizando o método da krigagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As séries de chuvas máximas anuais apresentam variação acentuada nas estatísticas descritivas. A média da chuva máxima anual varia de 73,4 mm para a estação 8052000 até 159,2 mm para a estação 8250002. O coeficiente de variação variou de 21,4% a 48,1% (Tabela 2). Todas as séries apresentam assimetria positiva, e na maioria o coeficiente de assimetria é superior a 1,0. As séries de chuvas máximas anuais normalmente apresentam assimetria positiva, e por isso tem se ajustado bem a distribuição Gumbel, que tem coeficiente de assimetria 1,1396 (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Para todas as séries avaliadas a distribuição Gumbel e a distribuição GEV não foram rejeitadas nos diversos testes de aderência, e assim podem ser utilizadas. Neste caso busca-se utilizar a distribuição com o melhor ajuste. Observou-se o predomínio da Distribuição GEV com parâmetros estimados pelos métodos dos Momentos-L. No teste de KS verificou-se que em 50% das estações foi obtido melhor ajuste com a distribuição GEV-ML. Já para os testes de Fillibem e AD esses percentuais foram respectivamente de 75% e 69%. No teste de aderência de KS a distribuição Gumbel apresentou os menores valores de KS para quatro estações (25%). Nos testes de AD e R de Filliben somente três estações (18,7%) apresentaram melhor ajuste a distribuição de Gumbel. Alguns autores (OLIVEIRA et al., 2005; OTTERO, CHARGEL e HORA, 2018) usaram o critério de menor valor Dmax para eleger a distribuição de probabilidade.

Na Tabela 3 constam os valores de chuva máxima com período de retorno de 2 a 100 anos, estimadas respectivamente com distribuições de Gumbel e GEV. Observa-se que para a maioria das estações as diferenças das chuvas máximas estimadas pela distribuição de Gumbel em relação da distribuição GEV são inferiores 5% para período de retorno de até 50 anos, e inferiores a 10% para período de retorno de 100 anos. No entanto, para as estações 8050000, 8051000, 8051010, 8150000, 8251003 essas diferenças variaram de 10 até 25% no período de retorno de 100 anos. Também foi observado que nestas estações a distribuição GEV apresentou melhor ajuste em todos os testes de aderência usados. Dessa forma, foram usados os valores de chuva máximos diários estimados pela distribuição GEV-ML para o ajuste dos coeficientes da equação IDF.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 2 - Resumo estatístico das séries de chuvas máximas diárias anuais.

Estação	Média (mm)	Desvio padrão (mm)	Coef. de Variação (%)	Coef. de Assimetria	N° de anos
51001	105,2	35,0	33,3	1,1	12
51002	88,0	42,3	48,1	1,1	38
52000	83,5	26,1	31,2	1,6	44
52003	87,3	24,5	28,1	1,7	21
8050000	81,7	36,2	44,3	1,5	34
8051000	75,3	15,7	20,8	0,4	25
8051002	109,0	30,4	27,9	1,3	49
8051010	81,1	28,2	34,7	1,5	35
8052000	73,4	17,5	23,9	0,9	46
8150000	89,4	20,3	22,7	0,1	44
8151000	114,3	36,8	32,2	1,9	33
8250002	159,2	53,5	33,6	2,2	43
8250003	148,9	46,2	31,0	0,7	41
8251001	91,3	33,5	36,7	0,4	34
8251003	90,7	39,3	43,4	2,4	21
8351002	109,9	23,5	21,4	0,8	38

A distribuição de Gumbel é tida como a mais adequada para estudos de chuvas máximas anuais e por isso tem sido a mais aplicada na literatura brasileira (CAMPOS, SANTOS, SILVA, IRENE FILHO e LOURA, 2014; GARCIA et al., 2011; SOUZA et al., 2012). No entanto, alguns trabalhos relataram que a distribuição multiparamétrica GEV, com seus parâmetros estimados utilizando o método momentos-L, foi mais adequada para estudos de precipitação diária máxima anual (BESKOW, CALDEIRA, MELLO, FARIA e GUEDES, 2015; BLAIN e MESCHIATTI, 2014).

Millington, Das e Simonovic (2011), comparando as distribuições Gumbel, Log-Pearson e GEV para séries de chuvas máximas, concluíram que a distribuição GEV era a mais indicada. Como também nos Estados Unidos as distribuições de Gumbel e Log-Pearson são mais citadas para análise de chuvas máximas, os autores apontam a necessidade de mais estudos a serem realizados sobre a distribuição GEV, de forma a garantir o uso da distribuição mais apropriada para prever esses eventos extremos de precipitação.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 3 - Chuvas máximas diárias estimadas (mm) para diferentes períodos de retorno (T) e distribuição de probabilidade

	Distribuição de Gumbel-Chow				Distribuição GEV-ML			
Estação	T = 2	T = 20	T = 50	T = 100	T = 2	T = 20	T = 50	T = 100
51001	99,3	171,6	197,4	216,8	97,3	174,7	207,6	234,3
51002	80,9	168,1	199,3	222,6	79,9	169,7	204,3	231,1
52000	79,4	129,8	147,9	161,4	78,7	130,9	151,3	167,2
52003	83,2	126,1	141,4	152,9	81,2	134,6	160,1	182,0
8050000	75,9	148,5	174,4	193,9	73,3	152,3	187,5	216,7
8051000	72,7	106,8	119,0	128,1	74,3	103,5	111,0	115,9
8051002	104,1	164,6	186,2	202,4	103,1	166,6	191,6	211,2
8051010	76,2	125,1	142,5	155,6	73,8	135,7	166,4	193,2
8052000	70,5	106,7	119,6	129,3	69,7	107,9	123,4	135,8
8150000	86,6	137,0	155,0	168,5	88,7	124,6	133,1	138,3
8151000	108,8	180,1	205,6	224,8	108,9	178,3	202,6	220,6
8250002	150,2	233,5	263,3	285,6	144,3	257,3	320,9	380,2
8250003	141,7	242,2	278,1	305,1	142,9	234,7	263,7	284,3
8251001	85,7	155,3	180,3	199,0	88,4	150,6	168,0	179,6
8251003	84,8	156,7	182,4	201,6	78,7	163,3	215,2	265,5
8351002	106,1	155,7	173,4	186,7	107,1	152,8	166,8	176,6

Na Tabela 4 constam os valores dos coeficientes da equação IDF ajustada para cada estação e os valores de erro padrão de estimativa e coeficiente de determinação (R^2). Para todas as estações obtiveram-se coeficientes de determinação superior a 0,995 e os valores de RMSE variaram de 1,65 a 5,58 mm h^{-1}. Oliveira et al. (2005) ajustando as equações IDF para o estado de Goiás obtiveram coeficiente R^2 acima de 0,95, com o que consideraram um bom ajuste.

Observa-se que os valores do coeficiente b e n foram iguais para todas as estações pluviométricas (b = 9,19 e n = 0,706). Este comportamento já foi observado por outros autores, como Oliveira et al. (2005), que obtiveram coeficientes b constantes para 73 estações do Estado de Goiás. Caldeira et al. (2015) obtiveram valores de coeficiente b = 9,79 e m = 0,72 para diferentes estações do Rio Grande do Sul. Também Souza et al. (2016), determinando as equações IDF para 41 estações pluviométrica do estado da Rondônia, observaram coeficientes b e n constantes (b = 13,868 e n =0,714). Os autores justificam essa igualdade numérica devido ao método de desagregação utilizado

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

no processamento da precipitação diária para os eventos de precipitação com durações mais curtas, que empregam índices de desagregação idênticos para todas as séries históricas.

Tabela 4 - Coeficientes da equação IDF ajustada para cada estação com respectivos valores e RMSE e R^2.

Estação	Equação	RMSE (mm h^{-1})	R^2
51001	$I = \frac{862{,}6T^{0{,}208}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	3,50	0,998
51002	$I = \frac{759{,}9T^{0{,}235}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	5,58	0,995
52000	$I = \frac{706{,}0T^{0{,}178}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	2,62	0,998
52003	$I = \frac{690{,}1T^{0{,}198}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	1,66	0,999
8050000	$I = \frac{658{,}9T^{0{,}250}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	3,78	0,997
8051000	$I = \frac{697{,}2T^{0{,}103}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	2,30	0,998
8051002	$I = \frac{919{,}8T^{0{,}171}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	3,05	0,998
8051010	$I = \frac{624{,}0T^{0{,}234}}{(t+9{,}20)^{0{,}706}}$	1,96	0,999
8052000	$I = \frac{615{,}4T^{0{,}161}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	1,65	0,999
8150000	$I = \frac{786{,}5T^{0{,}157}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	2,82	0,998
8151000	$I = \frac{998{,}1T^{0{,}164}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	4,12	0,997
8250002	$I = \frac{1158{,}5T^{0{,}244}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	2,48	0,999
8250003	$I = \frac{1337{,}0T^{0{,}157}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	6,23	0,997
8251001	$I = \frac{853{,}6T^{0{,}157}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	4,92	0,995
8251003	$I = \frac{612{,}8T^{0{,}305}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	1,67	0,999
8351002	$I = \frac{986{,}6T^{0{,}118}}{(t+9{,}19)^{0{,}706}}$	3,01	0,998

Os valores do coeficiente m variam de 0,085 a 0,305 e os valores do coeficiente K variam de 572,3 a 1337,0. Souza et al. (2012), Campos et al.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

(2014) também Campos, Silva, Santos, Ratke e Aquino (2017) relataram variação semelhante no parâmetro K, ressaltando a importância da determinação destes parâmetros par cada estação pluviométrica. Campos et al. (2014) comentam que a distribuição espacial dos parâmetros K e m evidenciam sua forte ligação com os valores de intensidade de precipitação que ocorrem em uma determinada região, sendo que as regiões que apresentaram os maiores valores de intensidade foram também aquelas onde se observou maiores valores para o parâmetro K e valores menores para o parâmetro m.

A intensidade da chuva com duração de 5 min varia de 137 a 312 mm h^{-1} (Figura 2A). Para dimensionamento das calhas de captação de água da chuva a NBR 10844 recomenda a intensidade da chuva com duração de 5 min (BACK e BONETTI, 2014). Na ausência de informações locais a norma indica o valor de 150 mm h^{-1}.

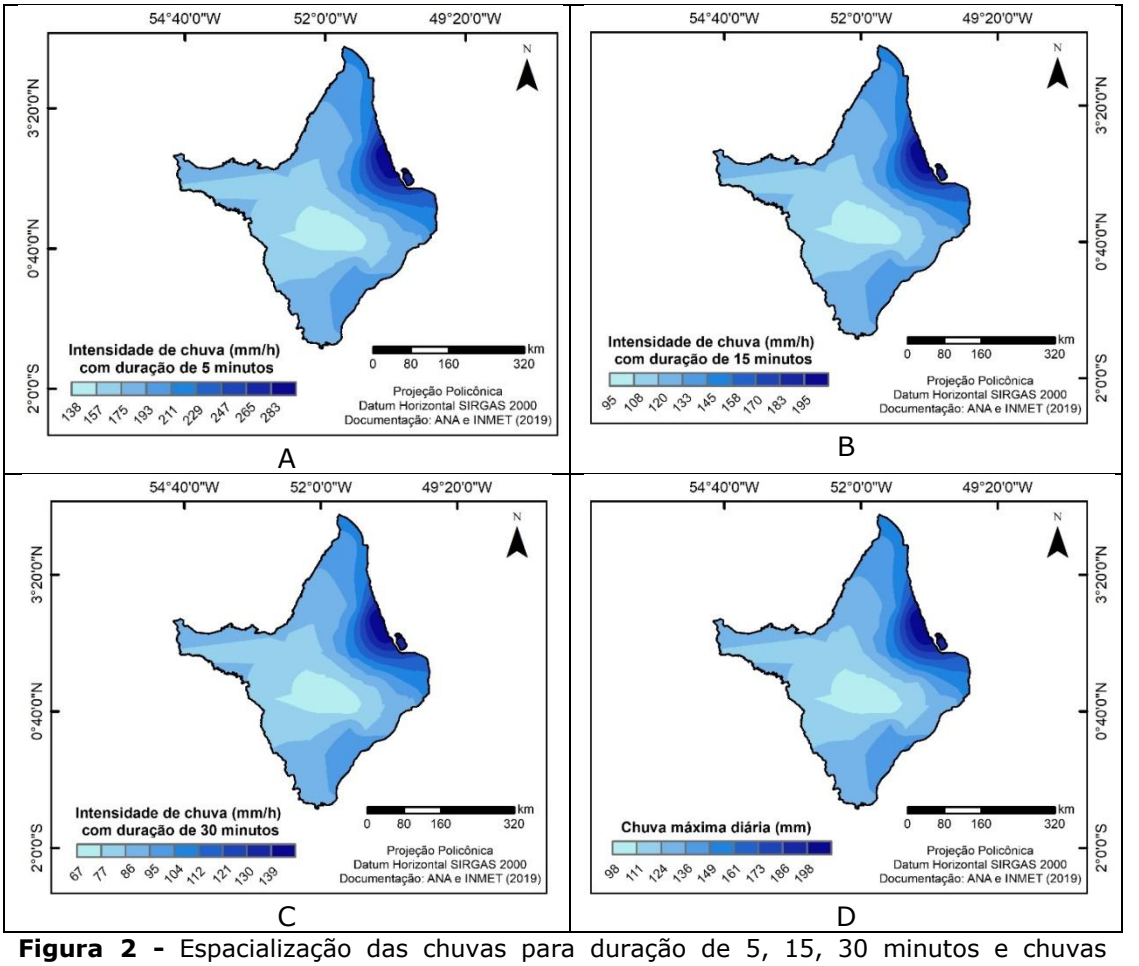


Figura 2 - Espacialização das chuvas para duração de 5, 15, 30 minutos e chuvas máximas diárias.

Para dimensionamento de terraços em gradiente é recomendado a utilização da intensidade da chuva com duração 15 min e período de retorno de 10 anos (DE MARIA et al., 2018). Para o estado do Amapá os valores dessa chuva variam de 94 a 214,3 mm h^{-1} (Figura 2B). Para dimensionamento de terraços em nível é recomendado a utilização da chuva máxima com duração de 1 dia e período de retorno de 10 anos (ASAE, 2012).

Também para drenagem do solo é recomendada utilização da chuva máxima diária com período de retorno de 10 anos (Figura 2D). No estado do Amapá esses valores variam de 96,6 a 212,7 mm. Desses valores percebe-se a importância da utilização de informações locais. A chuva máxima com duração de 30 min e período de retorno de 10 anos varia de 66,3 a 152,3 mm h^{-1} (Figura 2C). Esse valor pode ser usado em programas para estimativa da perda de solos por erosão como o modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool-SWAT (MARCHIORO, FERNANDES, MACEDO, GONÇALVES e PRADO, 2014).

Existe uma variação espacial das intensidades das chuvas extremas no estado do Amapá, com maiores valores na região noroeste do estado (Figura 2). Essa variação das chuvas máximas é semelhante a variação observada na chuva média anual. Souza e Cunha (2010) com base em valores médios de 30 anos observaram que as regiões mais chuvosas se localizam na porção norte e litoral com média anual em torno de 2900 mm. Os valores mínimos foram observados na região oeste e sudoeste do estado, com chuva em torno de 2000 mm. Os autores descrevem a variação espacial e sazonal da precipitação no estado em função do relevo e da atuação das massas de ar.

CONCLUSÕES

As séries de chuvas máximas anuais se ajustaram bem a distribuição Gumbel e GEV, sendo o ajuste considerado melhor com a distribuição GEV com parâmetros estimados pelo método dos Momentos-L.

As relações intensidade-duração-frequência de chuvas intensas estimadas para alguns municípios do Amapá apresentaram um bom ajuste, com coeficientes de determinação acima de 0,995.

As equações ajustadas permitem estimativa da intensidade da chuva com duração de 5 min até 24 horas e período de retorno de 2 a 100 anos com erro padrão de estimativa inferior 3,5 mm h^{-1}.

A variação espacial das intensidades das chuvas extremas no Amapá é semelhante a variação observada na chuva média anual, com maiores valores na região noroeste do estado. Esta variação ocorre, conforme Souza e Cunha (2010), em função do relevo e da atuação das massas de ar.

REFERÊNCIAS

ASAE Standards. S268.5 JAN2012. Design, Layout, Construction and Maintenance of Terrace Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan. 2012.

BACK, Á. J.; BONETTI, A. V. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.19, n. 4, p. 260 – 267, 2014.

BASSO, R.E.; ALLASIA, D.G.; PICKBRENNER, K. Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil. Engenharia Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v. 21, n. 41, p. 635-641. 2016.

BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; GUEDES, H. A. S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. Journal of Hydrology: Regional Studies, 4B, p. 123-133, 2015.

BLAIN, G. C.; MESCHIATTI, M. C. Using multi-parameters distributions to assess the probability of occurrence of extreme rainfall data. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 307-313, 2014.

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R. de; VARGAS, M. M., GUEDES, H. A. S.; FARIA, L. C. Daily rainfall disaggregation: an analysis for the Rio Grande do Sul state. Scientia Agraria, Curitiba, v. 16, n. 3, p. 1- 21, 2015.

CAMPOS, A. R.; SANTOS, G. G.; SILVA, J. B. L.; IRENE FILHO, J.; LOURA, D. S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 45, n.3, p. 488-498, 2014.

CAMPOS, A. R.; SILVA, J. B. L.; SANTOS, G. G.; RATKE, R. F.; AQUINO, I. O. Estimate of intense rainfall equations parameters for rainfall stations of Paraíba Sate, Brazil. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia v. 47, n. 1, p. 15-21, 2017.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [s.l.], v. 14, n. 8, p.871-880, 2010. http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000800012.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana: manual de projetos. São Paulo: DAEE/CETESB. 1986.

COELHO FILHO, J. A. P.; MELO, D. C. de R.; ARAÚJO, M. de L. M. Estudo de chuvas intensas para a cidade de Goiânia/GO por meio da modelação de eventos máximos anuais pela aplicação das distribuições de Gumbel e Generalizada de Valores Extremos. Ambiência, Guarapuava, v. 13, n. 1, p. 75-88, 2017.

DE MARIA, I. C.; DRUGOWICH, M. I.; BORTOLETTI, J. O.; VITTI, A. C.; ROSSETTO, R.; FONTES, J. L.; TCATCHENCO, J.; MARGATHO, S. F. Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar. Instituto Agronômico, Campinas. (Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 216). 2016.

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 e Agrotecnologia, Lavras, v. 29, n. 6., 2005.

GARCIA, S. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; STOPA, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 15, n. 6, 575–581, 2011.

MARCHIORO, E.; FERNANDES, N. F.; MACEDO, J. R. de; GONÇALVES, A. O.; PRADO, R. B. Modelagem da produção de sedimentos usando cenário ambiental alternativo no noroeste do Rio de Janeiro – Brasil. Geografias, Belo Horizonta, v. 10, n. 1 2014, p. 54-70, 2014.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [s.l.], v. 27, n. 5, p.925-933, out. 2003. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832003000500017.

MILLINGTON, N.; DAS, S.; SIMONOVIC, S. P. The Comparison of GEV, Log-Pearson Type 3 and Gumbel Distributions in the Upper Thames River Watershed under Global Climate Models. Water Resources Research Report. Report No: 077. 2011. 54 p. Recuperado de https://ir.lib.uwo.ca/wrrr/40/

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM. 2007.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. L.; OTTERO, C. R.; CHARGEL, L.; HORA, M. A. G. M. Análise de frequência dos dados pluviométricos observados em 2011 a 2013 na região Serrana do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v. 33, n. 1, p. 131-139, 2018.

QUEIROZ, M. M. F.; CHAUDHAY, F. H. Análise de eventos hidrológicos extremos, usando-se a distribuição GEV e momentos L.H. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 381-389, 2006.

RANGEL, E. M.; HARTWIG, M. P. Análise das curvas de intensidade-duração-frequência de precipitação para a cidade de Pelotas através de uma função de desagregação. Thema, Pelotas, v. 14, n. 1, p. 63-77, 2017.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.

SILVA, C. B.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas Extremas na Região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, [s.l.], v. 20, p.267-283, 1 ago. 2017. Universidade Federal do Paraná. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v20i0.49286.

SOUZA, R. O. R. M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M.; NETO, J. A. P.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, campina Grande, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012.

SOUZA, V. A. S.; DIAS, R. H. S.; SILVA FILHO, E. P.; NUNES, M. L. A.; ANDRADE, C. D.; ROSA, A. L. D. Determining IDF equations for the state of Rondônia. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v.18, p. 10-26, 2016.

SOUZA, E. B. de; CUNHA, A. C. DA. Climatologia de precipitação no Amapá e mecanismos climáticos de Grande Escala. In: CUNHA, A.C. da; SOUZA, E. B. de e CUNHA, H. F. A. Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. IEPA, 2010, 216p. p.177-195