

CHUVAS EXTREMAS E EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA O ESTADO DO ACRE

EXTREME RAINFALL AND INTENSITY-DURATION-FREQUENCY EQUATIONS FOR THE STATE OF ACRE, BRAZIL

Álvaro José Back 

Pesquisador na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Urussanga (SC), Brasil.

Sabrina Baesso Cadorin 

Mestranda, Universidade do Extremo Sul Catarinense – Criciúma (SC), Brasil.

Endereço para correspondência:

Sabrina Baesso Cadorin – Estrada Municipal, s/nº – Santana – CEP: 88935-000 – Ermo (SC), Brasil – E-mail: bcadorin.sabrina@gmail.com

Recebido em: 11/11/2019

Aceito em: 28/04/2020

RESUMO

As chuvas intensas causam vários problemas, como alagamento, deslizamento e erosão do solo, sendo importante conhecer as informações sobre as relações intensidade-duração-frequência (IDF) de chuvas intensas locais. Em razão da carência dessas informações para o estado do Acre, este trabalho teve como objetivos analisar as séries históricas de chuvas e ajustar as equações IDF por meio da desagregação da chuva diária. Para o estudo utilizaram-se as estações pluviométricas da rede hidrológica da Agência Nacional de Águas de 11 municípios do Acre. As séries de máximas anuais apresentaram médias variando de 89,6 a 118,7 mm. Foram ajustados os parâmetros da distribuição de Gumbel e da distribuição generalizada de valores extremos (GEV), utilizando os métodos dos momentos, o método da máxima verossimilhança, o método dos momentos-L (MML) e, ainda, o método de Chow para a distribuição de Gumbel. A aderência das distribuições ajustadas às séries de máximas anuais foi avaliada pelos testes Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. A distribuição GEV com parâmetros estimados pelo MML destacou-se como a melhor distribuição para 73% das estações. Foi observada grande variação nos valores de chuva máxima diária entre as estações, evidenciando a necessidade de determinar os valores com dados locais. As equações IDF obtidas apresentaram bom ajuste, com coeficientes de determinação acima de 0,99. As equações ajustadas permitem estimativa da intensidade da chuva com duração de 5 a 1.440 minutos e período de retorno de dois a cem anos com erro padrão inferior 6,40 mm h⁻¹.

Palavras-chave: intensidade-duração-frequência; distribuição generalizada de valores extremos; precipitações intensas; conservação do solo.

ABSTRACT

Heavy rainfall causes various problems such as flooding, landslide and erosion, so it is important to know the information about the intensity-duration-frequency relationships of local heavy rainfall. Due to the lack of this information for the state of Acre, this study aimed to analyze historical rainfall series and to adjust the IDF equations by disaggregating daily rainfall. For the study, the rainfall stations of the Hydrological Network of the National Water Agency (ANA) of 11 municipalities in Acre were used. The average of annual maximum series ranged from 89.6 to 118.7 mm. The parameters of Gumbel and generalized extreme value (GEV) distributions were adjusted, using the methods of moments, the maximum likelihood method, the L-moments method, and the Chow method for Gumbel distribution. The adjusted distributions' adherence to the annual maxima series was evaluated by the Kolmogorov-Smirnov and Anderson-Darling tests. The GEV distribution with parameters estimated by the L-moments method stood out as the best distribution for 73% of stations. A large variation was observed in the maximum daily rainfall values between seasons, evidencing the need to determine the values with local data. The IDF equations obtained presented a good fit, with determination coefficients above 0.99. The adjusted equations allow estimation of rainfall intensity with a duration to 5 to 1,440 minutes and return period of 2 to 100 years with standard error of less than 6.40 mm h⁻¹.

Keywords: intensity-duration-frequency; generalized extreme value distribution; intense precipitation; soil conservation.

INTRODUÇÃO

A precipitação é um elemento-chave que tem o potencial de impactar consideravelmente os recursos hídricos, influenciando a disponibilidade de água para agricultura, indústria e uso doméstico. As chuvas intensas têm grande potencial para desencadear desastres naturais, como alagamentos, inundações e processos geológicos como deslizamentos de encostas e erosão do solo. Bork *et al.* (2017) destacam que os eventos extremos do clima, como falta ou excesso de precipitação, podem causar prejuízos econômicos de larga escala. Os autores ressaltam a preocupação com o aumento de frequência de eventos extremos na Região Sul do Brasil em função das mudanças climáticas.

Dessa forma, o conhecimento das características da chuva local é importante para a prevenção de desastres hidrológicos, o gerenciamento de recursos hídricos e o dimensionamento de estruturas de drenagem e obras de controle de erosão (CALOIERO, 2014; DENG *et al.*, 2017; HAZBAVI; SADEGHI, 2016; COELHO FILHO; MELO; ARAÚJO, 2017). Alves, Formiga e Traldi (2018) destacam a importância da caracterização quanto a distribuição temporal, volume precipitado e variações de intensidade para estudo da interceptação ocasionada pelas copas das árvores.

As chuvas intensas são definidas como fenômenos naturais e aleatórios, caracterizados normalmente por uma precipitação forte e contínua. Ocorrem em curto espaço de tempo, podendo variar de alguns minutos até dezenas de horas, e suas intensidades ultrapassam um valor preestabelecido (FIORIO *et al.*, 2012; DIAS; PENNER, 2019).

A caracterização da variabilidade temporal das chuvas intensas ao longo de sua duração é imprescindível para a estimativa do escoamento superficial, em situações onde não há dados medidos de vazão. O controle e a detecção de inundações, o planejamento de obras de engenharia, a modelagem de previsões de vazões são exemplos de aplicações dos dados de chuvas extremas (SOUZA *et al.*, 2012; DIAS; PENNER, 2019).

Quando não existem dados históricos de vazão ou estes se apresentam em quantidade reduzida, a estimativa das

chuvas intensas pode ser realizada por meio de um estudo da região com base nas curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) (SILVEIRA, 2016). As equações IDF são importantes para o dimensionamento de obras de drenagem e de estruturas de controle de erosão. Algumas metodologias e alguns programas de cálculo da vazão de escoamento superficial baseiam-se na equação IDF representativa do local (GRIEBELER *et al.*, 2005).

A determinação das equações IDF por meio de dados obtidos dos registros com pluviógrafos apresenta grande dificuldade em razão da baixa densidade de pontos de coleta e do pequeno período de observações normalmente disponíveis para esses instrumentos (YIN *et al.*, 2015; ABREU; ANGELINI SOBRINHA; BRANDÃO, 2017). Algumas metodologias foram desenvolvidas no Brasil para obtenção de chuvas de menor duração com base em dados diários observados em pluviômetros. Tais metodologias empregam coeficientes para transformar chuva de 24 h em chuvas de menor duração, entre as quais estão o método das isozonas e o método da desagregação da chuva diária (SOUZA *et al.*, 2012; FECHINE SOBRINHO *et al.*, 2014; RANGEL; HARTWIG, 2017).

O estado do Acre tem 89% de sua área composta de remanescentes florestais que conferem ao solo boa proteção contra os efeitos erosivos da chuva (FUNCATE, 2004). O restante do estado, cerca de 11%, é ocupado por outros usos e outras coberturas da terra, como áreas urbanas, pecuária e cultivos agrícolas. Segundo Macêdo *et al.* (2013), a variação da precipitação, decorrente da sazonalidade da precipitação pluviométrica no Acre, causa extremos de vazão dos cursos d'água, que resultam em enchentes em anos de intensa precipitação. Esses eventos causam prejuízos às propriedades e atividades agropecuárias das populações locais que residem nas margens dos cursos d'água.

Como há carência de dados pluviográficos e também poucas informações de equações IDF atualizadas, o presente trabalho objetivou analisar as séries históricas de dados pluviométricos e determinar as equações IDF para o estado do Acre.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Acre está localizado na região amazônica brasileira, fazendo fronteira com os estados brasileiros Amazonas

e Rondônia e com os países Bolívia e Peru. Está localizado no sudoeste da Região Norte do Brasil, entre as

latitudes de 7°06'56" S e 11°08'41" S e as longitudes 73°48'05" W e 68°42'59" W, situado num planalto cuja altitude média é de 200 metros. O clima é equatorial úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (os índices pluviométricos variam de 2.000 a 2.500 mm), predominando os subtipos Af (equatorial chuvoso ou de floresta equatorial), sem estação seca, e Am (tropical de monção) com período seco muito curto (ALVARES *et al.*, 2013).

Para o estudo, utilizaram-se as estações pluviométricas da rede hidrológica da Agência Nacional de Águas. Foram selecionadas as estações que apresentavam séries de dados pluviométricos diários com mais de 15 anos de dados sem falhas nos registros. As estações usadas no trabalho constam da Tabela 1, e sua distribuição espacial está representada na Figura 1. Para cada estação foi determinada a série de máximas anuais de chuvas diárias, sendo excluídos da série os anos que apresentaram falhas nos registros.

As frequências observadas, referentes às chuvas diárias máximas anuais, foram obtidas por meio de distribuições teóricas de probabilidade, sendo avaliada a mais adequada para cada estação. Testaram-se as distribuições de extremos tipo I, também conhecidas como distribuição de Gumbel, e a distribuição gene-

ralizada de valores extremos (GEV). A distribuição de Gumbel tem a função densidade de probabilidade dada pela Equação 1:

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

Em que:

a = o parâmetro de escala;

b = o parâmetro de locação da distribuição.

A distribuição GEV tem função densidade de probabilidade dada pela Equação 2:

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

Em que:

a = parâmetro de escala;

b = parâmetro de posição;

k = parâmetro de forma.

Tabela 1 – Descrição das estações pluviométricas usadas.

N	Código	Município	Latitude (°S)	Longitude (°W)	Período	N. de anos	Clima
1	772003	Taruacá	7,85030	72,01920	1993–2016	20	Af
2	773000	Cruzeiro do Sul	7,43560	73,65220	1977–2011	29	Af
3	870002	Feijó	8,16360	70,35640	1981–2008	21	Af
4	872000	Marechal Thaumaturgo	8,93530	72,78500	1981–2018	32	Af
5	872001	Porto Walter	8,26750	72,73440	1983–2011	27	Af
6	967000	Rio Branco	9,97580	67,80000	1970–2016	45	Am
7	968004	Bujari	9,56670	68,28333	1996–2018	19	Am
8	972000	Marechal Thaumaturgo	9,40170	72,70250	1986–2018	28	Af
9	1067002	Plácido de Castro	10,32420	67,18860	1996–2017	18	Am
10	1067003	Capixaba	10,57580	67,67670	1996–2018	20	Am
11	1068000	Xapuri	10,64970	68,50670	1978–2013	31	Am

O ajuste dos parâmetros foi realizado pelo método dos momentos (MM), pelo método da máxima verossimilhança (MV) (NAGHETTINI; PINTO, 2007) e método dos momentos-L (MML) (QUEIROZ; CHAUDHAY, 2006). Para a 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) e de Anderson-Darling (AD). No teste de KS, comparam-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 é dada pela maior diferença absoluta entre os valores de $F(x)$, isto é (Equação 3):

$$D_{m\acute{a}x} = |F(x) \text{ empírica} - F(x) \text{ teórica}| \quad (3)$$

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

No teste de AD, avalia-se a hipótese de que dada amostra tenha sido retirada de determinada população com função de distribuição acumulada contínua $F(x)$. É um teste não paramétrico que procura ponderar mais fortemente as caudas das distribuições. A estatística do teste (A^2) é calculada pela Equação 4:

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

Em que:

A^2 = a estatística do teste AD;

N = o número de observações na série;

$x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ = observações ordenadas em ordem crescente.

Na seleção da distribuição foi estabelecido um escore das distribuições considerando os métodos de estimativa dos parâmetros, tanto para o teste de KS como para o teste AD. O escore variou de 1 a 6 para cada teste de aderência, sendo 1 para a melhor distribuição e 6 para a de pior desempenho. A distribuição selecionada foi a que teve a menor soma dos escores dos dois testes, que poderia variar de 2 a 12.

Com a distribuição selecionada foram determinados os valores de chuva máxima diária com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos. A desagregação da chuva de um dia em chuvas de menor duração foi obtida pela metodologia estabelecida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1986). As intensidades de chuvas máximas com duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 720

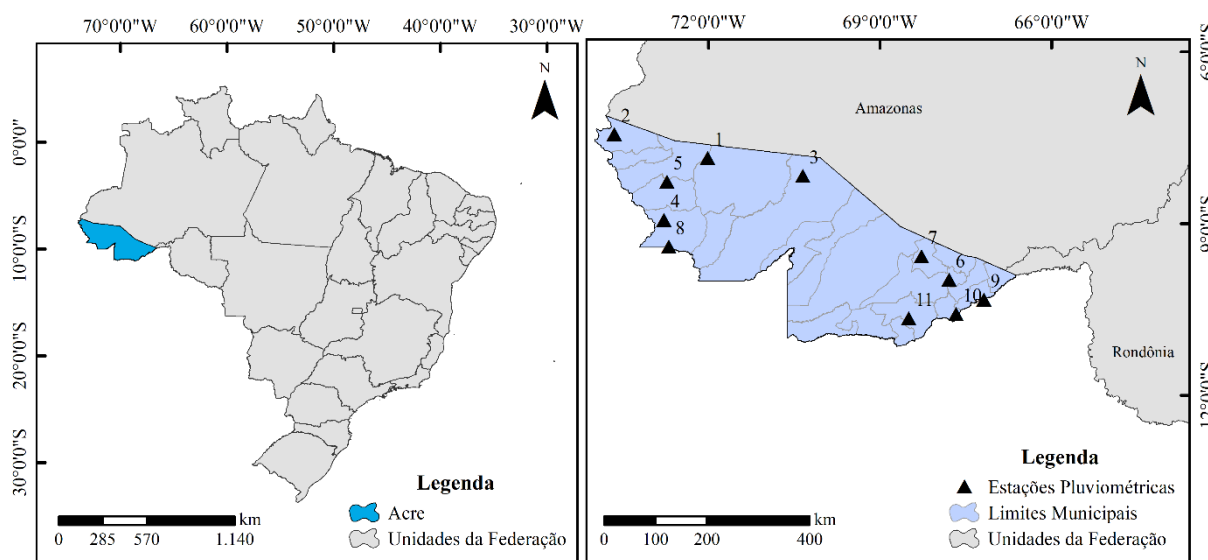


Figura 1 – Mapa de localização do Acre e distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas.

e 1.440 minutos foram estimadas usando as relações entre precipitações de diferentes durações, empregando os fatores de conversão apresentados na Tabela 2, conforme CETESB (1986).

Estabelecidas as alturas pluviométricas associadas a diferentes períodos de retorno e durações, as intensidades foram produzidas como relações entre as referidas alturas e durações (ALMEIDA; REIS; MENDONÇA, 2015). Sendo assim, foram ajustadas as equações IDF, dadas pela Equação 5:

$$I = \frac{KT^m}{(t + b)^n} \quad (5)$$

Em que:

I = a intensidade máxima média da chuva (mm h⁻¹);

K, m, b, n = os coeficientes da equação a serem ajustados;

T = o período de retorno (anos);

t = a duração da chuva (minutos).

O ajuste do modelo estabelecido por meio da Equação 5 foi realizado com auxílio da programação não li-

near (PNL), aplicada pelo programa Solver, disponível na planilha Microsoft Excel. Para a aplicação da PNL, buscou-se minimizar o erro total entre os valores de intensidade pluviométrica estimada pela distribuição de probabilidade selecionada e de intensidade obtida pela equação IDF. A função objetivo foi minimizada pela variação dos parâmetros K, m, b e n (ALMEIDA; REIS; MENDONÇA, 2015). Para o ajuste da equação utilizou-se a minimização do valor de erro médio quadrático da raiz (RMSE), dada pela Equação 6:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (G_T^t - I_T^t)^2}{n}} \quad (6)$$

Em que:

G = intensidade da chuva com período de retorno de T anos e duração de t minutos estimada pela distribuição estatística selecionada;

I = intensidade da chuva com período de retorno de T anos e duração de t minutos obtida pela equação IDF ajustada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estado do Acre existem apenas 11 estações com séries de dados longas (iguais ou superiores a 15 anos) e que apresentam poucas falhas, localizadas em 10 municípios do total de 22 municípios acreanos. Tais estações estão concentradas nas regiões mais antropizadas, principalmente a leste e oeste do estado.

Observa-se ainda a carência de dados pluviométricos na região central, onde está localizada a maior parte das unidades de conservação estaduais e federais.

As séries de máximas diárias anuais apresentaram médias variando de 89,6 a 118,7 mm. O coeficiente de va-

Tabela 2 – Relações médias entre precipitação de diferentes durações.

Relação duração	Coeficientes	Relação duração	Coeficientes
5 min/30 min	0,34	1 h/24 h	0,42
10 min/30 min	0,54	6 h/24 h	0,72
15 min/30 min	0,70	8 h/24 h	0,78
20 min/30 min	0,81	10 h/24 h	0,82
25 min/30 min	0,91	12 h/24 h	0,85
30 min/1 h	0,74	24 h/1 dia	1,14

Fonte: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1986).

riação oscilou de 16,8 a 53,7%, sendo todas as séries com assimetria positiva, variando de 0,18 a 2,58 (Tabela 3). Nas séries com coeficiente de assimetria superior a 1,5 foram registrados valores de precipitação máxima diária acima de 200 mm.

Todas as distribuições testadas foram aceitas pelos testes de KS e de AD ao nível de significância de 5%. Com os escores pelo menor valor de D_{\max} e AD, as distribuições Gumbel-MML, Gumbel-MV e Gumbel-MM mostraram-se melhores para uma estação cada (9%), e a distribuição GEV-MML para as outras oito estações (73%) (Tabela 4).

Abreu *et al.* (2018) verificaram que os testes de aderência podem indicar resultados diferentes quanto à adequação das distribuições de probabilidade testadas e concluíram que o teste de KS foi o menos rigoroso e admitiu aderência em todas as situações testadas. Naghettini e Pinto (2007) apontam como vantagem do teste de AD o fato de ponderar mais fortemente as caudas das distribuições, em que as observações extremas podem alterar a qualidade do ajuste. Mandal e Choudhury (2014) afirmam que a melhor distribuição de probabilidades para a estimativa da chuva máxima varia de local para local, sendo necessário avaliar a melhor distribuição para cada um de acordo com a série de dados observada.

A distribuição de Gumbel é muito usada na estimativa dos eventos extremos de chuva (RAY *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2014; MISTRY; SURYANARAYANA, 2019). Muitos autores usam a distribuição de Gumbel sem testar outras distribuições, justificando esse uso com base apenas no teste de KS (SILVA NETO *et al.*, 2017; PEREIRA; DUARTE; SARMENTO, 2017; OTTERO; CHARGEL; HORA, 2018), no entanto o teste de KS é criticado por alguns autores por não ser muito poderoso na rejeição da distribuição de probabilidades. A distribuição GEV tem se mostrado superior à distribuição de Gumbel em vários trabalhos (BESKOW *et al.*, 2015; NAMITHA; VINOTHKUMAR, 2019).

Back (2018), analisando estimativas de vazões máximas com diferentes distribuições de probabilidades, observou que para período de retorno de dez anos, as diferenças eram menores que 10%, porém, para período de retorno de cem anos, as diferenças podiam ser superiores a 20%. Essa observação ressalta a importância de uma análise mais criteriosa na seleção da distribuição de probabilidade quando se utilizam estimativas com período de retorno grande, como cem anos ou mais, comumente usadas em projetos de pontes em rodovias, importantes barragens, em que o período de retorno pode ser de até 10 mil anos.

Olofintoye, Sule e Salami (2009) destacam que existem muitas distribuições estatísticas que podem ser aplicadas para descrever os eventos extremos anuais de pre-

Tabela 3 – Resumo estatístico das séries de chuvas máximas diárias anuais.

Código	Média (mm)	Desvio (mm)	Assimetria	Maior (mm)	Menor (mm)
772003	94,7	50,9	1,70	259,2	19,0
773000	89,6	24,7	1,19	175,0	48,5
870002	90,8	44,5	1,14	222,6	28,2
872000	90,0	34,5	2,21	224,9	42,0
872001	90,8	20,3	1,13	146,4	54,3
967000	96,3	19,9	0,20	135,2	54,3
968004	96,1	16,2	0,68	130,6	73,2
972000	111,0	42,3	2,58	285,3	70,2
1067002	107,9	29,4	0,94	180,0	70,9
1067003	118,7	30,4	1,05	197,7	80,6
1068000	98,2	22,8	0,18	140,0	55,4

cipitação de determinado local, contudo a escolha do modelo adequado é um dos maiores problemas na prática da engenharia, pois não existe concordância geral sobre a distribuição ou as distribuições a serem usadas na análise de frequência de chuvas extremas. A seleção do modelo adequado depende principalmente das características dos dados de chuva disponíveis de uma estação particular. Por isso, é necessário avaliar várias distribuições no sentido de encontrar o modelo que melhor permite obter as estimativas de chuvas extremas.

Da Tabela 5 constam as chuvas máximas diárias para períodos de retorno de dois a cem anos, estimadas com as distribuições de probabilidade selecionadas para cada estação. Para período de retorno de dez anos, os valores variam de 117,3 a 158,6 mm, com diferenças de 35%. Para período de retorno de cem anos, essas diferenças são superiores a 64%, mostrando a importância de informações sobre a chuva do local para o adequado dimensionamento do projeto.

Na Tabela 6 estão os coeficientes da equação IDF ajustada, com os respectivos valores de RMSE e coeficiente de determinação (R^2). Todas as equações ajustadas apresentaram R^2 acima de 0,99, indicando bom ajuste das equações. O erro padrão de estimativa variou

de 1,76 a 6,40 mm h⁻¹. Observou-se maior variação no coeficiente K, que é diretamente proporcional à intensidade da chuva observada. Os valores do coeficiente m variaram de 0,1037 a 0,2501. Os valores do coeficiente b e n foram praticamente constantes, respectivamente 9,19 e 0,706. Essa pequena variação dos valores dos coeficientes b e n já foi relatada em outros estudos (OLIVEIRA *et al.*, 2005; CALDEIRA *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2012) sendo atribuída em parte ao processo de desagregação da chuva diária e ao método de ajuste dos parâmetros da equação IDF.

Da Tabela 7 constam as intensidades da chuva estimada com períodos de retorno de dez anos e diferentes durações. Não foi possível identificar um padrão de distribuição espacial que permitisse representar esses valores em mapas de intensidade de chuvas extremas para o estado do Acre. Essa constatação pode ser explicada pela baixa densidade de estações, especialmente na região central do estado, e também pela diferença no tamanho das séries de máximas anuais entre as estações usadas neste estudo. Em regiões com baixa densidade de estações pluviométricas, como é o caso do estado do Acre, cabe ao usuário analisar as informações disponíveis e adotar a estação que considera mais representativa das condições do local a ser uti-

Tabela 4 – Parâmetros das distribuições selecionadas.

Código	Distribuição e método de ajuste	Parâmetros da distribuição		
		α	β	k
772003	Gumbel-MML	0,0278	73,879	-
773000	GEV-MML	20,8455	79,748	0,1179
870002	GEV-MML	35,0374	71,689	0,0331
872000	GEV-MML	18,5650	73,977	-0,225
872001	Gumbel-MV	0,0637	81,944	-
967000	GEV-MML	18,9174	88,203	0,1763
968004	GEV-MML	13,0985	88,234	-0,020
972000	GEV-MML	22,0374	91,620	-0,235
1067002	Gumbel-MM	0,0436	95,0548	-
1067003	GEV-MML	20,4427	103,074	-0,162
1068000	GEV-MML	22,1239	89,094	0,1944

MML: método dos momentos-L; GEV: distribuição generalizada de valores extremos; MV: método da máxima verossimilhança; MM: método dos momentos.

Tabela 5 – Chuvas máximas diárias para diferentes períodos de retorno (mm).

Código da estação	Período de retorno (anos)						
	2	5	10	20	25	50	100
772003	87,1	127,8	154,8	180,7	188,9	214,2	239,4
773000	87,2	108,4	121,0	132,0	135,3	144,9	153,8
870002	84,5	123,0	147,7	170,8	178,0	199,9	221,2
872000	81,1	107,1	128,4	152,5	161,0	190,1	224,0
872001	87,7	105,5	117,3	128,6	132,2	143,2	154,2
967000	94,9	113,1	123,3	131,9	134,5	141,6	147,8
968004	93,1	108,2	118,4	128,3	131,5	141,4	151,3
972000	103,5	129,5	146,7	163,2	168,4	184,5	200,6
1067002	101,3	128,0	147,4	167,4	174,0	195,4	218,0
1067003	110,8	137,8	158,6	181,0	188,7	214,3	242,7
1068000	96,9	117,9	129,4	139,0	141,8	149,6	156,4

Tabela 6 – Coeficientes da equação intensidade-duração-frequência ajustada com respectivos valores de erro médio quadrático da raiz e coeficiente de determinação.

Estação	Coeficientes da equação IDF				RMSE (mm h ⁻¹)	R ²
	K	m	b	n		
772003	829,15	0,2242	9,19	0,7062	6,40	0,9945
773000	811,05	0,1316	9,20	0,7063	3,28	0,9971
870002	810,98	0,2123	9,19	0,7061	6,23	0,9941
872000	668,49	0,2501	9,19	0,7062	1,97	0,9993
872001	788,12	0,1359	9,20	0,7062	2,21	0,9986
967000	883,77	0,1037	9,19	0,7060	2,93	0,9976
968004	831,11	0,1189	9,19	0,7060	1,76	0,9991
972000	933,59	0,1569	9,19	0,7060	3,37	0,9980
1067002	884,86	0,1851	9,19	0,7061	2,82	0,9987
1067003	940,89	0,1935	9,19	0,7062	2,24	0,9993
1068000	909,46	0,1106	9,19	0,7061	3,46	0,9970

IDF: intensidade-duração-frequência; RMSE: erro médio quadrático da raiz; R²: coeficiente de determinação.

Tabela 7 – Intensidade da chuva (mm h^{-1}) com período de retorno de dez anos.

Estação	Duração da chuva (min)				
	5	15	30	60	1440
772003	213,4	146,4	104,2	69,7	8,1
773000	168,6	115,7	82,3	55,1	6,4
870002	203,1	139,4	99,1	66,4	7,7
872000	182,7	125,3	89,2	59,7	7,0
872001	165,5	113,6	80,8	54,1	6,3
967000	172,5	118,4	84,2	56,4	6,6
968004	168,0	115,3	82,0	54,9	6,4
972000	205,9	141,3	100,5	67,3	7,9
1067002	208,3	142,9	101,7	68,0	7,9
1067003	225,7	154,8	110,1	73,7	8,6
1068000	180,3	123,7	88,0	58,9	6,9

lizado. Para a chuva com duração de cinco minutos, a intensidade da chuva varia de 165,5 (estação 872001) a 225,7 mm h^{-1} (estação 1067003). A chuva com duração de cinco minutos tem aplicação prática no dimensionamento das estruturas de captação de água da chuva de telhados (BACK; BONETTI, 2014). Na ausência de informações locais é indicado o valor de 150 mm h^{-1} , que para o estado do Acre mostra-se subestimado.

No dimensionamento de terraços em gradiente é recomendada a utilização da intensidade da chuva com duração 15 minutos e período de retorno de dez anos (DE MARIA *et al.*, 2016), cujos valores para o Acre variam de 113,60 a 154,83 mm h^{-1} . Já para os terraços em nível é comum a utilização da chuva máxima diária com período de retorno de dez anos, cujos valores para o Acre variam de 117,3 a 158,6 mm (Tabela 5). A intensidade da chuva com duração de 30 minutos é um parâmetro necessário para a estimativa de perdas de solo por erosão no modelo hidrológico *soil and*

water assessment tool (CRUZ; VELASCO; CASTILLO, 2015). Os valores de chuva máxima com durações de 30, 60 e 1.440 minutos servem de referência para a aplicação dos coeficientes de desagregação da chuva para durações menores (CETESB, 1986). Dessa forma, com os valores da Tabela 7 e os valores dos coeficientes de desagregação da chuva apresentados na Tabela 2, podem-se obter as intensidades de chuva com período de retorno de dez anos e duração entre 5 e 1.440 minutos nas diferentes estações pluviométricas do estado do Acre.

Conhecer as relações de chuvas intensas é uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos, o controle de inundações, a elaboração de projetos agrícolas e o planejamento e dimensionamento de obras de engenharia, como barragens e drenagem urbana, sendo necessárias tais informações em diferentes durações e tempos de retorno, dependendo da sua aplicação e finalidade.

CONCLUSÕES

Todas as distribuições de probabilidades testadas foram aceitas pelos testes de aderência de KS e de AD, no entanto a distribuição GEV com parâmetros estimados pelo MML foi considerada a melhor em 73% das estações pluviométricas.

As equações IDF estimadas apresentaram bom ajuste, com coeficientes de determinação acima de 0,99. Essas equações permitem estimativa da intensidade da chuva com duração de 5 minutos a 24 horas e período de retorno de dois a cem anos com erro padrão de estimativa inferior 6,40 mm h^{-1} .

REFERÊNCIAS

- ABREU, F.G. de; ANGELINI SOBRINHA, L.; BRANDÃO, J.L.B. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 2, p. 239-250, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016146750>
- ABREU, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SANTOS, G.R.; ALMEIDA, L.T.; ZANETTIM, S.S. Critérios para escolha de distribuições de probabilidade em estudos de Eventos extremos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n. 4, p. 601-613, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786334004>
- ALMEIDA, K.; REIS, J.; MENDONÇA, A. Avaliação do desempenho dos métodos expeditos de determinação de equações de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 35, p. 63-77, 2015.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, P.L.; FORMIGA, K.T.M.; TRALDI, M.A.B. Interferências de espécies arbóreas na Intercepção das águas pluviais urbanas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 47, p. 89-100, 2018. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180214>
- BACK, Á.J. Análise de frequência de vazões máximas para projetos de drenagem. *Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil*, v. 1, n. 2, p. 1-14, 2018.
- BACK, Á.J.; BONETTI, A.V. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 4, p. 260-267, 2014. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n4.p260-267>
- 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*, v. 4, parte B, p. 123-133, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.06.007>
- BORK, C.; CASTRO, A.; LEANDRO, D.; CORRÊA, L.; SIQUEIRA, T. Índices de precipitação extrema para os períodos atual (1961-1990) e futuro (2011-2100) na Bacia do Rio Taquari-Antas, RS. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 46, p. 29-45, 2017. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820170233>
- 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. *Revista Scientia Agraria*, v. 16, n. 3, p. 1-21, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v16i3.46320>
- CALOIERO, T. Analysis of daily rainfall concentration in New Zealand. *Natural Hazards*, v. 72, p. 389-404, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-1015-1>
- COELHO FILHO, J.A.P.; MELO, D.C.R.; ARAÚJO, M.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*, v. 13, n. 1, p. 75-88, 2017.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Drenagem urbana: manual de projetos*. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986.
- CRUZ, H.R.; VELASCO, O.L.; CASTILLO, L.A.I. Estimación mensual de intensidad de la lluvia en 30 minutos a partir de datos pluviométricos. *Terra Latinoamericana*, v. 33, n. 2, p. 151-159, 2015.
- 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*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2016. (Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 216.)

- DENG, S.; LI, M.; SUN, H.; CHEN, Y.; QU, L. ZHANG, X. Exploring temporal and spatial variability of precipitation of Weizhou Island, South China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 9, p. 183-198, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.12.079>
- DIAS, É.C.; PENNER, G.C. Contabilização de Equações de Intensidade-Duração-Frequência Disponíveis no Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 42, n. 1, p. 209-216, 2019.
- FECHINESOBRINHO, V.; RODRIGUES, J.O.; MENDONÇA, L.A.R.; ANDRADE, E.M.; TAVARES, P.R.L. Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 7, p. 727-734, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700009>
- FIORIO, P.R.; DUARTE, S.N.; RODRIGUES, G.O.; MIRANDA, J.H.; COOKE, R.A. Comparação de equações de chuvas intensas para localidades do estado de São Paulo. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 6, p. 1080-1088, 2012.
- FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS (FUNCATE). *Uso e cobertura da terra na Floresta Amazônica: Subprojeto 106/2004 do PROBIO*. FUNCATE, 2004. 93 p.
- GRIEBELER, N.P.; PRUSKI, F.F.; TEIXEIRA, A.F.; OLIVEIRA, L.F.C. Software para o planejamento e a racionalização de sistemas de terraceamento em nível. *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 3, p. 841-851, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000300031>
- HAZBAVI, Z.; SADEGHI, S.H.R. Potential effects of vinasse as a soil amendment to control runoff and soil loss. *Soil*, v. 2, p. 71-78, 2016. <https://doi.org/10.5194/soild-2-767-2015>
- MACÊDO, M.N.C.; DIAS, H.C.T.; COELHO, F.M.G.; ARAÚJO, E.A.; SOUZA, M.L.H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. *Ambi-Água*, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.809>
- MANDAL, S.; CHOUDHURY, B.U. Estimation and prediction of maximum daily rainfall at Sagar Island using best fit probability models. *Theoretical Applied Climatology*, v. 121, n. 1-2, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1212-1>
- MISTRY, P.B.; SURYANARAYANA, T.M.V. Estimation of Annual One Day Maximum Rainfall using Probability Distributions for Waghodia Taluka, Vadodara. *Global Research and Development Journal for Engineering*, p. 296-300, 2019.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
- NAMITHA, M.R.; VINOTHKUMAR, V. Development of empirical models from rainfall-intensity-durations-frequency y curves for consecutive Day maximum rainfall using GEC distribution. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 8, n. 1, p. 2705-2709, 2019.
- OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; WEHR, T.R.; BORGES, L.B.; SARMENTO, P.H.L.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 35, n. 1, p. 13-18, 2005.
- OLOFINTOYE, O.O.; SULE, B.F.; SALAMI, A.W. Best-fit probability model for peak daily rainfall of selected Cities in Nigeria. *New York Science Journal*, v. 2, n. 3, p. 1-12, 2009.
- OTTERO, C.R.; CHARGEL, L.T.; 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*, v. 33, n. 1, p. 131-139, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331007>
- PEREIRA, D.C.; DUARTE, L.R.; SARMENTO, A.P. Intensity-duration-frequency curves determination of Ipameri – Goiás. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 13, n. 2, p. 233-246, 2017. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.V13i2.43330>

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*, v. 10, n. 2, p. 381-389, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200020>

RANGEL, E.M.; HARTWIG, M.P. Análise das curvas de intensidade-duração-frequência para a cidade de Pelotas através de uma função de desagregação. *Revista Thema*, v. 14, n. 1, p. 63-77, 2017. <http://dx.doi.org/10.15536/thema.14.2017.63-77.353>

RAY, L.I.P.; BORA, P.K.; RAM, V.; SINGH, A.K.; SINGH, R.; FEROZE, S.M. Estimations of annual maximum rainfall for Central Meghalaya. *Indian Journal of Hill Farming*, v. 26, n. 1, p. 47-51, 2013.

SANTOS, W.O.; FEITOSA, A.P.; VALE, H.S.M.; COSTA, D.O.; BRITO, R.F.; QUEIROZ, R.F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; LEMOS FILHO, L.C. Chuvas Intensas para a Microrregião de Pau dos Ferros-RN. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 6, p. 1093-1099, 2014. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.6.p1093-1099>

SILVA NETO, V.L.; VIOLA, M.R.; SILVA, D.D.; MELLO, C.R.; PEREIRA, S.B.; GIONGO, M. Daily rainfall disaggregation for Tocantins State, Brazil. *Ambiente & Água*, v. 12, n. 4, p. 605-6017, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2077>

SILVEIRA, A.L.L da. Equações cumulativas sequenciais do hietograma do método de Chicago. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 3, p. 646-651, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615094>

SOUZA, R.O.R.M.; SCARAMUSSA, P.H.M.; AMARAL, M.A.C.M.; PEREIRA NETO, J.A.; PANTOJA, A.V.; SADECK, L.W.R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000900011>

YIN, S.; XIE, B.; LIU, B.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity estimation based on rainfall data collected over range of temporal resolutions. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 19, p. 4113-4126, 2015. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4113-2015>

