
EQUAÇÕES DE INTENSIDADE DE CHUVAS PARA O ESTADO DO MARANHÃO

Alcinei Ribeiro Campos¹, Glenio Guimarães Santos², João Carlos Rocha dos Anjos³, Diane Cristina Stefanoski Zamboni⁴, Jaurene Moura Fé Moraes⁵

RESUMO

Estudos da distribuição espacial e temporal das chuvas, com determinação das curvas de intensidade-duração-frequência, são de extrema importância para segurança no planejamento e dimensionamento de projetos hidráulicos e conservação do meio ambiente. Atualmente, o estado do Maranhão disponibiliza de poucas informações relacionadas às curvas de intensidade-duração-frequência das chuvas, necessárias para caracterização dessa variável hidrológica para seus diversos municípios. Diante desse contexto, objetivou-se ajustar os parâmetros das curvas de intensidade-duração-frequência para 163 estações pluviométricas localizadas no estado do Maranhão. Os dados foram obtidos do banco de dados da Agência Nacional de Águas. Para ajuste das curvas de intensidade-duração-frequência utilizou-se o método de desagregação das chuvas, usando o modelo probabilístico de Gumbel para estimar os valores máximos em diferentes tempos de durações e período de retorno. De posse desses valores, os parâmetros K , a , b e c das curvas intensidade-duração-frequência foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados. Os parâmetros K , a , b e c das curvas intensidade-duração-frequência apresentaram bons ajustes, com 99,7% das equações apresentando r^2 superior a 0,98.

Palavras-chave: Chuvas extremas; modelos probabilísticos; período de retorno

ABSTRACT

RAINFALL INTENSITY EQUATIONS FOR THE STATE OF MARANHÃO, BRAZIL

Studies of spatial and temporal distribution of rainfall are of extreme importance for security in planning and execution of hydraulic projects and environmental conservation, so work to determine the intensity-duration-frequency curves of rainfall are indispensable for the planning and construction of hydraulic works. Currently the state of Maranhão provides little information related to the curves of intensity-duration-frequency of rainfall, so studies are necessary to develop the curves for its various municipalities. In this context the objective of this work was to determine the parameters of the intensity-duration-frequency equation for 163 rainfall stations located in the state of Maranhão. Data were obtained from the National Water Agency database. For adjustment of intensity-duration-frequency curves the rainfall breakdown method was used, considering the probabilistic model of Gumbel for estimating the maximum values in different time durations and return period. Upon acquisition of these values the parameters K , a , b and c of the intensity-duration-frequency curves were adjusted by the least squares method. The parameters K , a , b and c of the intensity-duration-frequency curves show good adjust, with 99.7% of curves presenting r^2 greater than 0.98.

Keywords: Extreme rainfall, Probabilistic models and Return period

Recebido para publicação em 15/04/2015. Aprovado em 19/08/2015.

1 - Engenheiro Agrônomo. Doutorando no Programa de Pós-graduação Ciência do Solo. PPGCS /UFRGS. alcineicampos@gmail.com

2 - Engenheiro Agrônomo. Doutor em solo e água. Professor da Universidade Federal de Goiás – UFG. gleniogm@gmail.com

3 - Engenheiro Agrônomo. Mestre em agronomia. CPCE/UFPI/Bom Jesus – PI. agrojoacarlos@gmail.com

4 - Engenheiro Agrônomo. Mestre em Solos e Nutrição de Plantas. CODEMA/Água Boa-MT. diane_stefanoski@hotmail.com

5 - Bióloga, Mestre em agronomia, CPCE/UFPI/Bom Jesus – PI. jaurene.moura@hotmail.com

INTRODUÇÃO

No Brasil, nos últimos anos, tem havido grande expansão na ocupação de novas áreas seja para construção civil, a exemplo da construção de infraestrutura ou expansão urbana, mas também para exploração com agropecuária a exemplo das novas áreas que vem sendo utilizadas no cerrado. Essas ocupações nem sempre tem levado em consideração todas as informações necessárias a seu planejamento, a exemplo são as informações sobre a capacidade de uso das terras para tais fins, assim como conhecimento das informações sobre a distribuição espacial e temporal das chuvas, principalmente no que se refere às chuvas intensas.

Segundo Cecílio *et al.* (2009) e Santos *et al.* (2010), as chuvas intensas são aquelas capazes de causar inundações e, conseqüentemente, diversos prejuízos, tanto em áreas urbanas quanto em áreas agrícolas. Dessa forma, a sua quantificação temporal e espacial é de crucial importância em estudos relacionados a dimensionamento de projetos hidráulicos, como obras para o controle em áreas agrícolas e urbanas e o armazenamento e fornecimento de água, tanto para irrigação, indústria, abastecimento doméstico, quanto para dessedentação animal (RODRIGUES *et al.* 2008. MORUZZI *et al.* 2009).

De acordo com Damé *et al.* (2008), a quantificação das chuvas intensas pode ser realizada por meio do emprego de modelos matemáticos empíricos, denominados de curvas de intensidade-duração-frequência, também conhecidas como curvas ou equações IDF. O ajuste dessas equações é realizado de forma empírica, a partir do ajuste de parâmetros extraídos de dados pluviométricos para cada estação e local (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

No Brasil, os primeiros estudos para ajuste de equações IDF foram desenvolvidos por Pfafstetter (1957) e Denardin e Freitas (1982), em que foram ajustadas as equações IDF para 80 estações distribuídas por todo o país. Dentre os trabalhos mais recentes, destacam-se os realizados por Cecílio *et al.* (2009), Santos *et al.* (2010), Aragão *et al.* (2013) e Campos *et al.* (2014) para os estados do Espírito Santo, Sergipe, Mato Grosso do Sul e

Piauí respectivamente.

Para o estado do Maranhão, verifica-se que há uma carência de trabalhos relacionados às curvas de IDF, tendo em vista sua grande área territorial e a diversidade climática existente entre a parte mais ao litoral e a porção localizada dentro do bioma Amazônico. A distribuição de precipitação aumenta da direção sudoeste para noroeste do Estado (PINTO *et al.*, 2011). Na parte mais ao sudoeste do Estado encontra-se o bioma Cerrado que apresenta uma precipitação em torno dos 1100 mm anuais, na região mais a nordeste, já no bioma Amazônia, ocorre precipitação que pode superar os 2000 mm anuais, assim pode-se observar que ocorre grande variação no volume de chuvas dentro do Estado (PINTO *et al.*, 2011). No entanto, apesar da existência de grande variação na distribuição das chuvas no Estado, pouco se conhece sobre sua intensidade, duração e frequência, sendo que os únicos trabalhos existentes foram realizados por Dernadin e Freitas (1982), quando foram ajustadas as curvas de IDF para três municípios do Estado (São Luís, Barra do Corda e Turiaçu).

Nesse sentido, tendo em vista a variação nos fenômenos meteorológicos no Estado e a importância do conhecimento das equações que relacionam a intensidade, duração e frequência das precipitações e a inexistência desses modelos matemáticos para a maioria dos municípios do estado do Maranhão, este trabalho teve como objetivo ajustar os parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência para 163 estações pluviométricas localizadas no estado do Maranhão.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados pluviométricos coletados por 163 estações pluviométricas localizadas no estado do Maranhão (Figura 1), disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), em seu sítio eletrônico.

Para cada estação foram ajustados os parâmetros K , a , b , e c da equação de intensidade, duração e frequência (Equação 1), por meio de regressão linear.

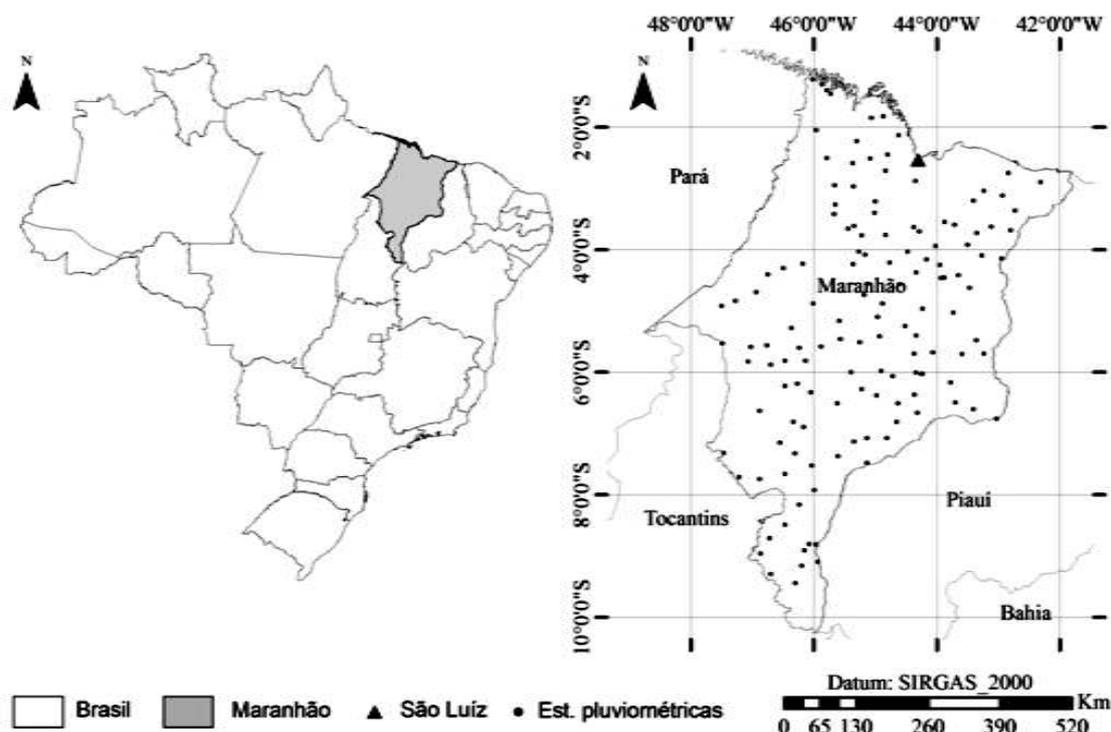


Figura 1. Distribuição espacial das 163 estações pluviométricas no estado do Maranhão.

$$I_m = \frac{(K \cdot TR)^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

em que,

I_m – intensidade máxima média de precipitação, mm h^{-1} ;

TR – período de retorno, anos;

t – duração da precipitação, min.; e

K , a , b e c – parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade.

Inicialmente, foi realizada uma análise de consistência das séries de dados de cada estação, sendo que, para cada uma, foram selecionados os anos que continham menores números de falhas nos dados, e descartadas as estações que ficaram com menos de 15 anos na série de dados. Após análise de consistência das séries de dados, para cada estação, foram selecionadas as chuvas extremas de um dia, a partir das quais, por meio do emprego do método da desagregação das chuvas de um dia,

foram geradas chuvas máximas para duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1.440 min., empregando os coeficientes propostos por Cetesb (1979) (Quadro 1).

Depois de realizada a desagregação das chuvas em durações inferiores, foram estimados os eventos máximos para cada duração e períodos de retorno (TR) de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, aplicando o modelo probabilístico de Gumbel (MELLO; SILVA 2005), conforme Equação (2).

$$h_{TR} = a - b \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{TR}{TR - 1} \right) \right] \quad (2)$$

em que,

h_{TR} – altura pluviométrica associada a um período de retorno TR , mm; e

a e b – parâmetros da distribuição de Gumbel, obtidos pelo método dos momentos (Equações 3 e 4).

Quadro 1. Coeficientes de desagregação da precipitação para intervalos de tempos menores

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

Fonte: Cetesb (1979).

$$E(h) = a \pm 0,577b \quad (3)$$

$$VAR(h) = 1,645b^2 \quad (4)$$

em que,

$E(h)$ - valor esperado estimado pela média dos valores máximos anuais; e
 $VAR(h)$ - variância dos valores máximos anuais, estimada a partir da série de dados.

De posse dos valores das máximas precipitações para cada duração e período de retorno, realizou-se o ajuste dos parâmetros (K , a , b e c) da equação IDF (Equação 1) para cada estação, pelo método dos mínimos quadrados.

Para realizar o ajuste dos parâmetros empíricos da IDF, a Equação (1) foi dividida em duas novas equações (5 e 6):

$$i = \frac{c}{(t+b)^n} \quad (5)$$

$$C = K * TR^a \quad (6)$$

em que,

i = intensidade estimada;

t = tempo em minutos,

TR = período de retorno em anos; e

K , a , b e n = parâmetros empíricos ajustados.

Em seguida, mediante a propriedade dos logaritmos, a Equação 5 foi transformada na equação da reta (Equação 7), da seguinte forma:

$$\log i = \log C - n * \log(t + b) \quad (7)$$

Após esse procedimento, foi calculado o logaritmo da intensidade máxima para cada duração ($\log i$), em cada período de retorno. O valor de b foi obtido por tentativa, 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 proposto por Villela e Mattos (1975).

Dessa forma, com os valores de $\log i$ e $\log(t + b)$, foram gerados gráficos de dispersão, procedendo, na sequência, o ajuste dos coeficientes angular (n)

e linear ($\log C$), para cada período de retorno. Os parâmetros K e m da equação IDF foram estimados pelo método dos mínimos quadrados, conforme a seguinte expressão (Equação 8):

$$\log C = \log k + m * \log TR \quad (8)$$

em que,

$\log K$ e m - coeficientes linear e angular da reta, respectivamente; e

$\log TR$, período de retorno.

Para ajuste dos parâmetros K , a , b e c , todas as equações citadas acima são implantadas em planilhas eletrônica *Excell*, nas quais são criadas rotinas por meio de macros para importar e realizar todo o processamento dos dados e o ajuste dos parâmetros da IDF. O uso de regressões para o ajuste pode acarretar na fixação do valor de alguns desses parâmetros, no entanto, geralmente resulta em equações com bons ajustes aos dados das quais foram derivadas (CAMPOS *et al.*, 2014; SANTOS

et al., 2009).

Após ajustados os parâmetros da IDF, foi realizada a espacialização dos parâmetros K e a para toda área territorial do Estado. A escolha desses parâmetros para espacialização se deu em função da sua variação entre as estações estudadas. A espacialização foi realizada com auxílio do software *ArcGis* versão 10, no qual foi utilizando o método de interpolação *Kriging*, do tipo ordinária.

De posse dos parâmetros da IDF, foi realizada a estimativa das intensidades para duração de 10, 760 e 720 minutos e período de retorno de 10 anos para todas as estações, seguida por sua espacialização, por meio do método de interpolação *Kriging*, do tipo ordinária (MELLO *et al.*, 2003).

RESULTADO E DISCUSSÃO

O ajuste dos parâmetros (K , a , b e c) da IDF, determinado utilizando o modelo de regressão linear apresentou 99,7% dos coeficientes de determinação superiores à 0,99 (Quadro 2), indicando confiabilidade dos dados climatológicos estudados.

Quadro 2. Parâmetros (K , a , b e c) da equação de intensidade-duração-frequência ajustados por regressão linear para 163 estações localizadas no estado do Maranhão.

Código	Município	Latitude	Longitude	K	a	b	c	r ²
00146004	Carutapera	-1,217	-46,017	999,310	0,190	10	0,742	0,991
00245007	Turiação	-2,505	-45,784	933,250	0,166	10	0,742	0,993
00245008	Viana	-2,971	-45,355	813,950	0,136	10	0,742	0,995
00245009	Pinheiro	-2,590	-45,365	876,600	0,162	10	0,742	0,993
00245010	Pinheiro	-2,515	-45,086	971,180	0,146	10	0,742	0,994
00145001	Godofredo Viana	-1,400	-45,783	1238,510	0,143	10	0,742	0,995
00145002	Luis Domingues	-1,300	-45,867	909,290	0,177	10	0,742	0,992
00145003	Cururupu	-1,850	-45,067	1691,220	0,199	10	0,742	0,991
00145005	Turiação	-1,667	-45,367	876,400	0,179	10	0,742	0,992
00145006	Cândido Mendes	-1,456	-45,728	1004,850	0,145	10	0,742	0,995
00242000	Barreirinhas	-2,750	-42,833	967,390	0,126	10	0,742	0,996
00242001	Tutóia	-2,767	-42,283	1159,310	0,183	10	0,742	0,992
00242002	Tutóia	-2,902	-42,313	986,050	0,152	10	0,742	0,994
00244000	Bequimão	-2,450	-44,800	692,310	0,211	10	0,742	0,990
00244001	Guimarães	-2,133	-44,617	1391,870	0,187	10	0,742	0,992

00244003	Rosário	-2,950	-44,250	979,490	0,166	10	0,742	0,994
00244010	São Bento	-2,717	-44,833	1235,380	0,147	10	0,742	0,994
00244011	Guimarães	-2,129	-44,607	1115,840	0,129	10	0,742	0,995
00244012	São Bento	-2,701	-44,823	1113,530	0,174	10	0,742	0,993
00245001	Monção	-2,954	-45,665	998,160	0,136	10	0,742	0,995
00245003	Cândido Mendes	-2,052	-45,958	886,750	0,153	10	0,742	0,994
00342000	Brejo	-3,683	-42,800	683,600	0,210	10	0,742	0,990
00342001	Santa Quitéria do Maranhão	-3,117	-42,933	642,540	0,205	10	0,742	0,990
00643000	São João dos Patos	-6,500	-43,700	927,900	0,153	10	0,742	0,994
00342009	Santa Quitéria do Maranhão	-3,365	-42,724	937,350	0,141	10	0,742	0,989
00343001	Vargem Grande	-3,554	-43,874	927,260	0,143	10	0,742	0,995
00343003	Nina Rodrigues	-3,459	-43,899	1470,280	0,313	10	0,742	0,979
00343004	Vargem Grande	-3,595	-43,709	872,370	0,135	10	0,742	0,995
00343005	Urbano Santos	-3,200	-43,400	930,470	0,163	10	0,742	0,993
00343008	Chapadinha	-3,733	-43,350	1137,630	0,208	10	0,742	0,990
00343009	Mata Roma	-3,626	-43,112	1074,730	0,140	10	0,742	0,995
00343010	Chapadinha	-3,926	-43,501	969,170	0,131	10	0,742	0,995
00343011	Barreirinhas	-3,044	-43,237	900,330	0,165	10	0,742	0,993
00344003	Cantanhede	-3,633	-44,400	1003,230	0,128	10	0,742	0,996
00344007	Pirapemas	-3,706	-44,287	925,760	0,130	10	0,742	0,995
00344008	Pirapemas	-3,944	-44,018	1027,310	0,147	10	0,742	0,994
00344011	São Mateus do Maranhão	-4,032	-44,472	989,240	0,156	10	0,742	0,994
00344012	Itapecuru Mirim	-3,567	-44,583	1749,440	0,303	10	0,742	0,980
00344013	Vitória do Mearim	-3,767	-44,833	992,890	0,167	10	0,742	0,993
00345000	Vitória do Mearim	-3,771	-45,218	1034,190	0,153	10	0,742	0,994
00345005	Pindaré-Mirim	-3,617	-45,350	969,840	0,112	10	0,742	0,996
00345006	Pindaré-Mirim	-3,658	-45,443	874,180	0,157	10	0,742	0,991
00345009	Viana	-3,217	-45,000	1131,880	0,134	10	0,742	0,995
00345010	Monção	-3,233	-45,617	994,030	0,156	10	0,742	0,994
00345011	Monção	-3,267	-45,650	1060,230	0,180	10	0,742	0,992
00345012	Cajari	-3,403	-45,011	1091,940	0,151	10	0,742	0,994
00345013	Monção	-3,424	-45,669	1053,170	0,148	10	0,742	0,994
00346002	Bom Jardim	-4,231	-46,179	1030,620	0,151	10	0,742	0,994
00442013	Duque Bacelar	-4,153	-42,946	959,840	0,134	10	0,742	0,995
00443006	Codó	-4,459	-43,877	1015,080	0,137	10	0,742	0,995
00443007	Codó	-4,464	-43,931	1009,020	0,164	10	0,742	0,993
00443008	Chapadinha	-4,100	-43,267	925,980	0,126	10	0,742	0,996
00443009	Timbiras	-4,250	-43,950	979,940	0,143	10	0,742	0,995
00443012	Aldeias Altas	-4,626	-43,468	895,980	0,143	10	0,742	0,995

EQUAÇÕES DE INTENSIDADE DE CHUVAS PARA O ESTADO DO MARANHÃO

00444000	Bacabal	-4,233	-44,783	1031,810	0,120	10	0,742	0,996
00444001	Coroatá	-4,163	-44,166	946,670	0,149	10	0,742	0,994
00444002	Esperantinópolis	-4,883	-44,883	1061,450	0,136	10	0,742	0,995
00444003	Gonçalves Dias	-4,967	-44,233	904,900	0,137	10	0,742	0,995
00444005	Pedreiras	-4,570	-44,605	924,490	0,147	10	0,742	0,994
00444008	Barra do Corda	-5,101	-44,961	921,510	0,144	10	0,742	0,995
00444012	Bacabal	-4,217	-44,767	1054,870	0,122	10	0,742	0,996
00444013	Coroatá	-4,375	-44,333	927,260	0,145	10	0,742	0,994
00445001	Santa Luzia	-4,031	-45,271	1092,450	0,154	10	0,742	0,994
00445006	Vitorino Freire	-4,083	-45,167	1149,480	0,145	10	0,742	0,994
00445007	Lago da Pedra	-4,743	-45,181	1052,200	0,162	10	0,742	0,993
00445008	Grajaú	-4,886	-46,011	855,660	0,148	10	0,742	0,994
00445009	Lago da Pedra	-4,561	-45,126	956,310	0,116	10	0,742	0,996
00445010	Vitorino Freire	-4,241	-45,358	1108,660	0,144	10	0,742	0,995
00446000	Santa Luzia	-4,304	-46,494	990,380	0,152	10	0,742	0,994
00446001	Santa Luzia	-4,409	-46,748	823,760	0,173	10	0,742	0,993
00446002	Santa Luzia	-4,698	-46,939	987,870	0,135	10	0,742	0,995
00447002	Imperatriz	-4,841	-47,274	1130,320	0,150	10	0,742	0,994
00447004	Açailândia	-4,921	-47,497	1162,790	0,146	10	0,742	0,994
00543002	Parnarama	-5,484	-43,359	1031,570	0,229	10	0,742	0,988
00543003	Matões	-5,700	-43,233	944,280	0,168	10	0,742	0,993
00543004	Buriti Bravo	-5,709	-43,587	963,610	0,151	10	0,742	0,994
00543006	Caxias	-5,033	-43,733	891,660	0,129	10	0,742	0,996
00543011	Passagem Franca	-5,970	-43,416	1192,340	0,203	10	0,742	0,990
00544000	Fortuna	-5,683	-44,067	771,610	0,159	10	0,742	0,994
00544001	Barra do Corda	-5,983	-44,900	873,780	0,140	10	0,742	0,995
00544004	São Domingos do Maranhão	-5,700	-44,367	827,180	0,150	10	0,742	0,994
00544006	Presidente Dutra	-5,420	-44,928	865,770	0,157	10	0,742	0,994
00544009	Graça Aranha	-5,405	-44,336	886,140	0,123	10	0,742	0,996
00545001	Itaipava do Grajaú	-5,167	-45,583	768,420	0,185	10	0,742	0,992
00545003	Barra do Corda	-5,500	-45,217	911,380	0,176	10	0,742	0,992
00545004	Barra do Corda	-5,517	-45,250	838,300	0,171	10	0,742	0,993
00545008	Barra do Corda	-5,467	-45,567	892,480	0,182	10	0,742	0,992
00545009	Grajaú	-5,583	-45,883	863,770	0,166	10	0,742	0,993
00546002	Grajaú	-5,817	-46,467	1058,770	0,265	10	0,742	0,984
00546003	Grajaú	-5,817	-46,133	911,800	0,149	10	0,742	0,994
00546005	Grajaú	-5,283	-46,367	890,840	0,145	10	0,742	0,994
00546006	Grajaú	-5,604	-46,239	891,660	0,155	10	0,742	0,994
00546007	Sítio Novo	-5,884	-46,702	934,980	0,139	10	0,742	0,995

00547000	Imperatriz	-5,535	-47,478	905,520	0,156	10	0,742	0,994
00547001	Imperatriz	-5,533	-47,483	992,660	0,178	10	0,742	0,992
00547003	Montes Altos	-5,833	-47,067	797,260	0,170	10	0,742	0,993
00547005	Buritirama	-5,594	-47,019	935,410	0,172	10	0,742	0,993
00643011	Barão de Grajaú	-6,610	-43,401	1012,750	0,156	10	0,742	0,994
00643012	Passagem Franca	-6,176	-43,778	912,010	0,170	10	0,742	0,993
00643013	Barão de Grajaú	-6,762	-43,026	831,960	0,135	10	0,742	0,995
00644000	Mirador	-6,383	-44,983	952,140	0,124	10	0,742	0,996
00644001	Colinas	-6,033	-44,250	923,850	0,171	10	0,742	0,993
00644003	Colinas	-6,028	-44,254	958,740	0,157	10	0,742	0,994
00644004	Mirador	-6,517	-44,633	971,400	0,108	10	0,742	0,999
00644006	Mirador	-6,367	-44,367	790,500	0,145	10	0,742	0,995
00644007	Mirador	-6,369	-44,359	870,160	0,155	10	0,742	0,994
00644012	Mirador	-6,010	-44,344	841,590	0,148	10	0,742	0,994
00644013	Pastos Bons	-6,667	-44,317	872,970	0,162	10	0,742	0,993
00644015	Mirador	-6,067	-44,714	967,390	0,182	10	0,742	0,992
00644017	Colinas	-6,033	-44,233	946,460	0,149	10	0,742	0,994
00645000	Mirador	-6,517	-45,617	844,110	0,129	10	0,742	0,995
00645001	Barra do Corda	-6,283	-45,217	994,490	0,167	10	0,742	0,993
00645002	Barra do Corda	-6,002	-45,394	1012,050	0,172	10	0,742	0,993
00645003	Loreto	-6,844	-45,109	1564,590	0,323	10	0,742	0,978
00646000	Sítio Novo	-6,233	-46,467	972,300	0,143	10	0,742	0,995
00646001	Grajaú	-6,333	-46,050	879,020	0,142	10	0,742	0,995
00646002	Fortaleza dos Nogueiras	-6,900	-46,167	880,640	0,192	10	0,742	0,991
00646003	Porto Franco	-6,633	-46,883	721,440	0,215	10	0,742	0,989
00646005	Grajaú	-6,818	-46,334	956,310	0,170	10	0,742	0,993
00646006	Grajaú	-6,193	-46,269	1023,760	0,172	10	0,742	0,993
00744000	São Félix de Balsas	-7,081	-44,813	793,600	0,130	10	0,742	0,995
00745000	Balsas	-7,483	-45,133	858,030	0,136	10	0,742	0,995
00745001	Loreto	-7,083	-45,133	756,480	0,143	10	0,742	0,995
00745004	Sambaíba	-7,139	-45,348	886,750	0,153	10	0,742	0,994
00745005	São Raimundo das Mangabeiras	-7,375	-45,608	1028,730	0,156	10	0,742	0,994
00746001	Balsas	-7,533	-46,033	931,110	0,231	10	0,742	0,988
00746002	Riachão	-7,667	-46,467	898,880	0,120	10	0,742	0,996
00746003	Carolina	-7,750	-46,883	746,790	0,148	10	0,742	0,994
00746005	Balsas	-7,533	-46,033	860,800	0,183	10	0,742	0,992
00746006	Balsas	-7,523	-46,034	928,110	0,155	10	0,742	0,994
00746007	Balsas	-7,929	-45,989	971,180	0,156	10	0,742	0,994
00746008	Riachão	-7,158	-46,554	810,960	0,154	10	0,742	0,994

EQUAÇÕES DE INTENSIDADE DE CHUVAS PARA O ESTADO DO MARANHÃO

00746009	Balsas	-7,331	-46,308	821,490	0,145	10	0,742	0,994
00747000	Carolina	-7,323	-47,464	1002,080	0,158	10	0,742	0,994
00747003	Carolina	-7,333	-47,467	976,790	0,133	10	0,742	0,995
00747004	Carolina	-7,717	-47,217	892,070	0,146	10	0,742	0,994
00845005	Alto Parnaíba	-8,821	-45,968	907,820	0,153	10	0,742	0,994
00846000	Balsas	-8,967	-46,867	824,900	0,144	10	0,742	0,995
00846001	Balsas	-8,500	-46,467	848,400	0,148	10	0,742	0,994
00846002	Balsas	-8,167	-46,233	814,520	0,127	10	0,742	0,996
00846003	Alto Parnaíba	-8,917	-46,150	882,880	0,157	10	0,742	0,994
00846004	Balsas	-8,717	-46,717	856,840	0,170	10	0,742	0,993
00846005	Alto Parnaíba	-8,813	-46,078	847,810	0,150	10	0,742	0,994
00945010	Alto Parnaíba	-9,100	-45,933	977,460	0,163	10	0,742	0,993
00946000	Alto Parnaíba	-9,300	-46,700	845,470	0,204	10	0,742	0,990
00946001	Alto Parnaíba	-9,167	-46,200	776,960	0,163	10	0,742	0,993
00946002	Alto Parnaíba	-9,450	-46,300	711,050	0,173	10	0,742	0,993
00144002	Cururupu	-1,826	-44,868	1150,270	0,147	10	0,742	0,994
00644014	Benedito Leite	-6,817	-44,650	682,810	0,155	10	0,742	0,994
00443011	Codó	-4,421	-43,649	1073,250	0,148	10	0,742	0,994
00544002	Presidente Dutra	-5,250	-44,517	982,880	0,120	10	0,742	0,996
00546000	Amarante do Maranhão	-5,567	-46,767	1119,700	0,134	10	0,742	0,995
00245005	Pinheiro	-2,517	-45,083	862,180	0,151	10	0,742	0,994
00344004	Cantanhede	-3,633	-44,376	1080,190	0,155	10	0,742	0,994
00245011	Santa Helena	-2,274	-45,271	1016,480	0,229	10	0,742	0,988
00244002	São José do Ribamar	-2,550	-44,067	976,340	0,169	10	0,742	0,993
00244006	São Luís	-2,883	-44,350	1205,310	0,163	10	0,742	0,993
00244007	São Luís	-2,533	-44,300	1089,680	0,138	10	0,742	0,995
00245006	Santa Helena	-2,233	-45,300	1579,790	0,207	10	0,742	0,990

Os valores dos parâmetros K e a apresentam grande variação dentre as estações estudadas. O parâmetro K apresenta maior amplitude de variação, proporcionando o menor valor (642,54) para a estação 0034201 localizada no município de Santa Quitéria do Maranhão, a Leste do Estado. Já, o maior valor calculado para esse parâmetro foi de 1749,44 para a estação 00344012 (Itapecuru Mirim) localizada a Oeste do Maranhão. Nesse mesmo sentido, o parâmetro a apresentou amplitude de 0,215, com menor valor (0,108) na estação 00644004, município de Mirador e o maior

valor observado foi de 0,323, na estação 00645003, localizada no município de Loreto (Quadro 2).

Essa variação é justificada, pela distribuição espacial nos valores de precipitação das chuvas nas distintas localidades do estado do Maranhão, tendo em vista sua dimensão e marcada influência climática. Por sua vez, essa variabilidade reforça a grande importância na obtenção das relações intensidade-duração-frequência para cada local específico, revelando que seus valores estão diretamente ligados à distribuição das chuvas. Em estudos realizados em outras regiões do País

(OLIVEIRA *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2009; ARAGÃO *et al.*, 2013; CAMPOS *et al.*, 2014) também foi verificado uma grande variação nos valores dos parâmetros K e a . Campos *et al.* (2014) deduziram que existe uma relação de interação entre os parâmetros K e a , que influencia diretamente em suas estimativas. No entanto, a combinação desses parâmetros geralmente resulta em bons modelos de IDF. Quando se utiliza o modelo de regressão linear os parâmetros de ajuste b e c da IDF tendem a se manter constantes, esse fato é justificado devido aos modelos de cálculo usados nas planilhas após o ajuste para primeira ou equação realizarem o ajuste apenas nos parâmetros K e a .

Ao se utilizar os parâmetros ajustados para estimar a intensidade máxima pluviométrica, com duração de 10 min. e período de retorno de 10 anos, pode-se observar o comportamento das precipitações máximas estimadas em todo o estado

do Maranhão (Figura 2). Nestas condições, as maiores intensidades máximas se concentraram a Norte, Noroeste e Centro-Norte do Estado. Campos *et al.* (2014), estudando chuvas intensas no Piauí, observaram que as chuvas máximas tenderam a aumentar das regiões Sul e Leste piauiense, para a região Norte, em direção à Amazônia, região brasileira essa que apresenta clima quente e úmido. Essa distribuição das intensidades máximas estimadas corrobora com a distribuição espacial das precipitações no estado do Maranhão (PINTO *et al.*, 2011).

Na espacialização do parâmetro K (Figura 3A), observa-se que os maiores valores estão distribuídos de forma mais concentrados na região Norte e Noroeste maranhense. Isso ocorre em função dos municípios apresentarem as maiores intensidades de precipitações pluviométricas. Comportamento semelhante foi estudado por Guedes *et al.* (2010)

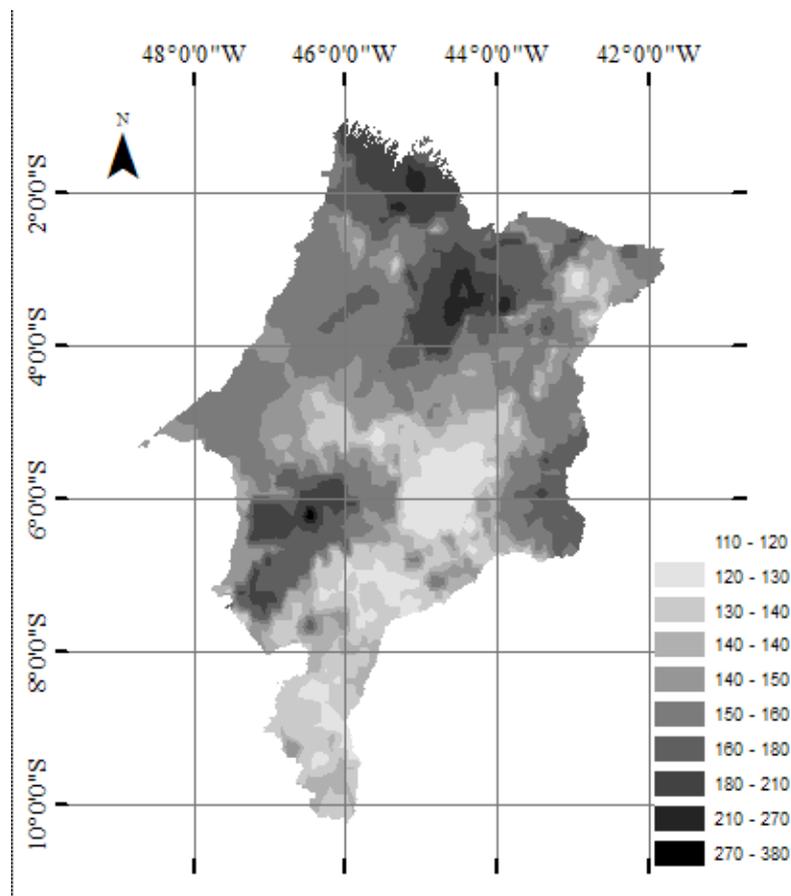


Figura 2. Espacialização das intensidades máximas estimadas para período de retorno de 10 anos com os parâmetros da IDF ajustados por regressão linear e duração de 10 min.

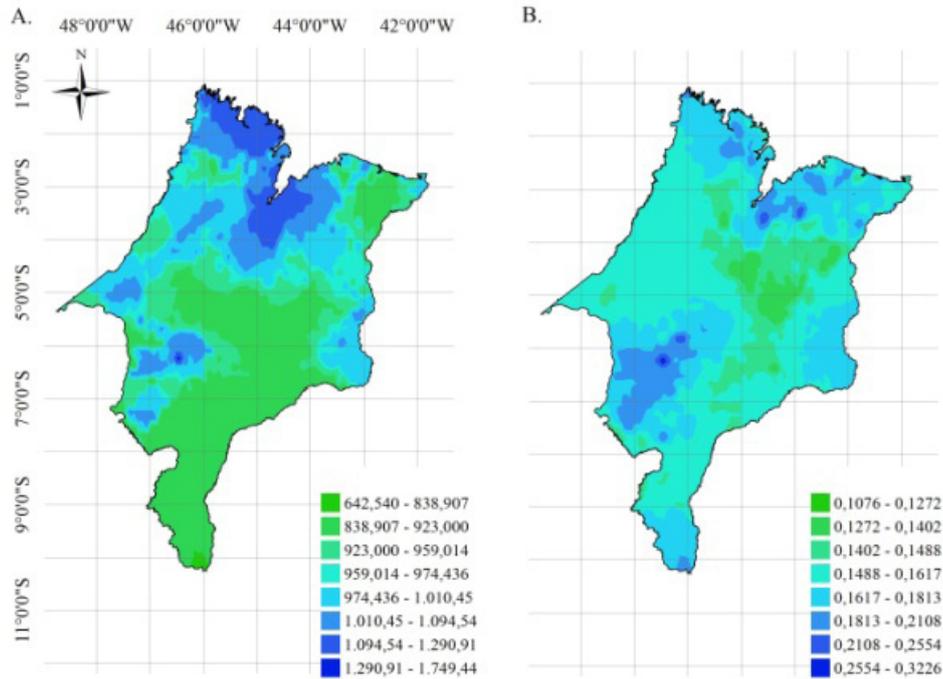


Figura 3. Espacialização do parâmetro K (A) e a (B).

e Campos *et al.* (2014), no Piauí, indicando que esse fenômeno está relacionado à distribuição espacial das chuvas, onde os maiores valores de pluviosidade ocorrem na região Norte e os menores na região Central, região Semiárida e no Sul do Estado.

Da mesma forma, o parâmetro a (Figura 3B) tem seus maiores valores observados nas regiões Norte e Noroeste, semelhante ao K . Entretanto, nos municípios de Alto Parnaíba, Balsa e Tasso Fragoso, mais a Sudoeste do Maranhão, o parâmetro a apresentou comportamento distinto do parâmetro K , que aumentou da região Leste em sentido à Amazônia. Os valores do parâmetro b e c não apresentaram variação. Esse fato ocorreu em função da metodologia utilizada, pois a linearização fixa os valores desses dois parâmetros, o que também foi observado por meio dos resultados encontrados por Mello e Silva (2005).

Nesse mesmo sentido, a distribuição dos valores do parâmetro K apresenta correlação positiva com os valores de intensidade máximas estimadas (Figura 4), corroborando a distribuição espacial deste parâmetro em todo o estado do Maranhão.

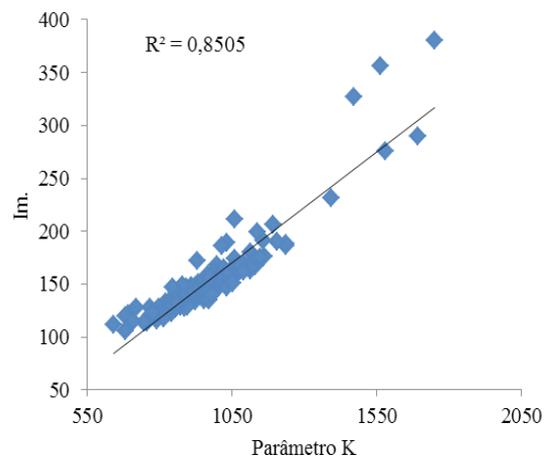


Figura 4. Correlação entre os valores de intensidades máximas estimadas (I_m) e os valores do parâmetro K .

CONCLUSÕES

- As equações de chuvas intensas apresentam bom ajuste, com 99,7% das equações proporcionando valores de r^2 superior a 0,98;
- O parâmetro K apresentou os maiores valores, distribuídos de forma mais concentrados nas

regiões Norte e Centro-Norte maranhense, em municípios próximos ao bioma Amazônia;

- Os maiores valores de intensidade máxima estimada foram observados nas regiões Norte, Noroeste e Centro-Norte do estado do Maranhão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - Agência Nacional de Águas. Hidroweb - **Sistemas de Informações Hidrológicas**. 2012. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 02 maio 2014.
- ARAGÃO, R.; SANTANA, G.R.; COSTA, C.E.F.F.; CRUZ, M.A.S.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.3, p.243-252, 2013.
- 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**, v.45, n.3, p.488-498, 2014.
- CECÍLIO, R.A.; XAVIER, A.C.; PRUSKI, F.F.; HOLLANDA, M.P.; PEZZOPANE, J.E.M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensa no Espírito Santo. **Ambi-Agua**, v.4, n.3 p.82-92, 2009.
- CETESB - **Companhia de tecnologia de saneamento ambiental**. Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986. 466p.
- DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para pelotas – RS. **Revista Engenharia Agrícola**, v.28, n.2, p.245-255, 2008.
- DENARDIN, J.; FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.1, p.1409-1416, 1982.
- GUEDES, R.V.S.; LIMA, F.J.L.; AMANAJÁS, J.C.; BRAGA, C.C. Análise em componentes principais da precipitação pluvial no estado do Piauí e agrupamento pelo método de ward. **Revista de Geografia**, v.27, n.1, p.208-233, 2010.
- MELLO, C.R.; LIMA L.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. Kriging and inverse-squaredistance for the interpolation of rainfall equation parameters. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.925-933, 2003.
- MELLO, C.R.; SILVA, A.M. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de Gumbel e sua influencia em estudos hidrológicos de projeto. **Irriga**, v.10, n.4, p.318-334, 2005.
- MORUZZI, R.B.; OLIVEIRA, S.C. **Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação**. Teoria e Prática da Engenharia Civil, v.9, n.13, p.59-68, 2009.
- OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; WEHR, T.R.; BORGES, L.B.; SARMENTO, P.H.P.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.1, p.13-18, 2005.
- PFRAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil. Brasília: Departamento Nacional de Obras e Saneamento**, 1957. 246p.
- PINTO, E.J.A.; AZAMBUJA, A.M.S. de; FARIAS, J.A.M.; SALGUEIRO, J.P.B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). (2011). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 1 DVD. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Isoietas_Totais_Anuais_1977_2006.pdf>. Acesso em: 01 agosto. 2015
- RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E.M.; OLIVEIRA, T.S.; LOBATO, F.A. Equações de

intensidade-duração-frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agraria**, v.9, p.511-519, 2008.

SANTOS, G.G.; FIGUEIREDO, C.C.; OLIVEIRA, L.F.C.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.899-905, 2009.

SANTOS, G.G.; NORI, P.G.; OLIVEIRA, L.F.C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.115-123, 2010.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1975. 245p.