

**NOTA TÉCNICA:****EQUAÇÕES DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE CHUVAS MÁXIMAS PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL**João Batista Lopes da Silva¹, Francisca Alves Cândido², Luanna Chácara Pires³ & Luciano Cavalcante de Jesus França⁴

1 - Eng. Agrícola, Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Professor, Campus Paulo Freire, e-mail: silvajbl@yahoo.com.br

2 - Eng. Florestal, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Cinobelina Elvas, e-mail: franciska_candido@outlook.com

3 - Zootecnista, Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Professor, Campus Paulo Freire, e-mail: luanna.ufsb@gmail.com

4 - Eng. Florestal, Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri, Campus Diamantina, e-mail: lucianodejesus@florestal.eng.br

Palavras-Chave:desagregação de chuvas
equações IDF
gestão ambiental
precipitação máxima**RESUMO**

Neste trabalho, objetivou-se estimar os parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência de chuvas máximas (IDF) para 335 estações pluviométricas do Estado do Rio Grande do Norte. Os dados pluviométricos de cada estação foram obtidos do banco de dados da Agência Nacional de Águas. Para estimar as precipitações máximas de cada estação e período de retorno (5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos), foram utilizadas as seguintes distribuições de probabilidade: Gumbel; Log-Normal II; Log-Normal III; Pearson III; Log-Pearson III. Após a estimativa das precipitações máximas, foi realizada a desagregação das precipitações em menores intervalos de tempo. A regressão múltipla não linear para estimativa dos parâmetros (K , a , b e c) foi realizada pelo método de interação de Gradação Reduzida Generalizada Não Linear. Ao final, obteve-se a estimativa dos parâmetros (K , a , b e c) da IDF para 101 estações, com R^2 superiores a 0,987 para a maioria das cidades do estado do Rio Grande do Norte.

Keywords:rain breakdown
environmental management
IDF equations
maximum rainfall**INTENSITY, DURATION AND FREQUENCY EQUATIONS OF MAXIMUM RAINS FOR THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE, BRAZIL****ABSTRACT**

This study aimed to estimate the parameters of rainfall intensity, duration, and frequency equation (IDF) to 335 rainfall stations from Rio Grande do Norte State. Rainfall data for each station were obtained from the database of the National Water Agency in Brazil. In order to estimate the maximum precipitation of each station and return period (5, 10, 15, 25, 50, and 100 years), it was used the following probability distribution: Gumbel; Log-Normal II; Log-Normal III; Pearson III; Log-Pearson III. After the rainfall estimative, disintegration of precipitations was carried out in shorter time intervals. The nonlinear multiple regression to estimate the parameters (K , a , b and c) was performed by the interaction method of Nonlinear Generalized Reduced Gradient. At the end, the parameters (K , a , b and c) of IDF for 101 stations were obtained, with R^2 higher than 0.987 for most cities in the state of Rio Grande do Sul, Brazil.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das características da precipitação permite projetar, de forma mais segura, estruturas mecânicas de conservação do solo, nas quais se destacam: barragens; canais escoadouros; terraços e obras de drenagem. Porém, para que isso seja realizado, é necessário a caracterização da variabilidade das precipitações máximas intensas de uma determinada localidade (BARRETO et al., 2012; FREIRE et al., 2012). Esta caracterização da variabilidade temporal das chuvas intensas e a sua duração são imprescindíveis para quantificar adequadamente os efeitos ocasionados por temporais, de modo especial ao controle do escoamento superficial em áreas urbanas e rurais (LIMA et al., 2012).

Para a caracterização das precipitações, é necessário conhecer a sua duração, intensidade e frequência de ocorrência em determinado período de retorno. Essa relação é comumente denominada de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de ocorrência (DAMÉ et al., 2014; SOUZA et al., 2012). A relação IDF de chuvas intensas tem sido utilizada como ferramenta importante na previsão de eventos extremos empregados nos mais diversos campos da engenharia, não somente no Brasil, como também em outros países, exemplos: Arábia Saudita (ELSEBAIE, 2012); Ruanda (DEMARÉE & VYVER, 2013) e Canadá (PAIXÃO et al., 2015). Normalmente, essas relações IDF são representadas por modelos matemáticos gerados a partir de uma série de dados pluviográficos obtidos para cada localidade. A dificuldade da geração dos modelos que descrevem a relação IDF resume-se na disponibilidade dos registros pluviográficos e na baixa densidade desses registros no território brasileiro. Além disso, a metodologia para sua obtenção exige um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de grande quantidade de pluviogramas (CAMPOS et al., 2014).

Estudos pioneiros foram desenvolvidos no Brasil por PFAFSTETTER (1957) e DENARDIN & FREITAS (1982), que ajustaram equações matemáticas, IDF, possibilitando o cálculo das alturas pluviométricas, em função da duração da precipitação e do período de retorno, utilizando-se do método de regressão linear múltipla, para

diversas estações pluviográficas distribuídas por todo país. Obtidos desta maneira, os parâmetros (K , a , b e c) da IDF produzem melhores resultados e devem ser aplicados, quando possível, por se tratar de lâminas e durações reais para a localidade em questão. Quando não se dispõem de pluviogramas, a alternativa para se gerar informações para chuvas intensas é a aplicação de relações médias entre lâminas precipitadas em diferentes intervalos de tempo (BORGES & THEBALDI, 2016). Hoje, o Brasil dispõe de um número considerável de equações IDF determinadas para diversas localidades. Exemplos destas equações podem ser obtidos nos estudos realizados por PINTO et al. (1996), SILVA et al. (1999), SILVA et al. (2002), SILVA et al. (2003), OLIVEIRA et al. (2008), SANTOS et al. (2009), FIORIO et al. (2012), SOUZA et al. (2012), ARAGÃO et al. (2013), CAMPOS et al. (2014), CARDOSO et al. (2014) e BORGES & THEBALDI (2016).

Equações IDF para vários locais estão sendo ajustadas, revisadas e atualizadas com base em séries temporais mais extensas de precipitação. No Rio Grande do Norte, existem algumas localidades com equações já ajustadas, são elas: Mossoró (FREIRE et al., 2012; LIMA et al., 2012; BARRETO et al., 2013); Apodi, Caicó, Ceará-Mirim, Cruzeta, Florânia (LIMA et al., 2012); e Natal (DENARDIN & FREITAS, 1982; LIMA et al., 2012). Desta forma, neste trabalho, devido à grande carência de informações relacionadas às equações de chuvas intensas para a maioria das cidades do estado do Rio Grande do Norte, objetivou-se com esse estudo estimar os parâmetros K , a , b e c da equação intensidade, duração e frequência (IDF) para 335 estações pluviométricas localizadas no Rio Grande do Norte.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foram utilizados dados pluviométricos coletados em 335 estações pluviométricas localizadas no estado do Rio Grande do Norte (Figura 1), disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), pelo seu sítio eletrônico (ANA, 2014).

Inicialmente, foi realizada uma análise de consistência das séries de dados de cada estação,

corrigindo erros e sendo selecionadas somente as estações com pelo menos 20 anos e com dados, pelo menos, até 1980, similar ao intervalo de anos empregados por FREIRE et al. (2012), LIMA et al. (2012) e BARRETO et al. (2013). Em seguida, foram obtidas as séries de volume máximo precipitado de um dia, para os seguintes períodos de retorno (TR): 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. As distribuições de

probabilidade utilizadas para obter as precipitações para cada TR foram: Gumbel; Log-Normal II e III; Pearson III; Log-Pearson III, sendo que para cada estação foram selecionadas as precipitações máximas em que os dados da série apresentaram aderência ao modelo probabilístico pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($P > 0,05$), sendo selecionado, após o teste de aderência, o modelo de distribuição que apresentou menor erro padrão (Tabela 1).

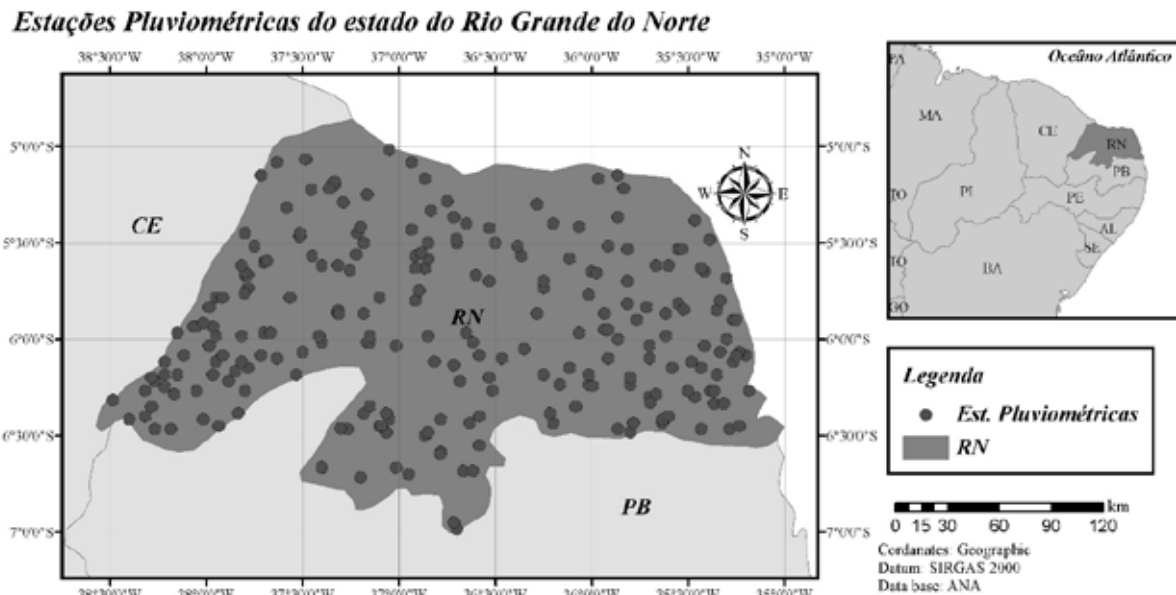


Figura 1. Localização das estações pluviométricas do estado do Rio Grande do Norte utilizadas para obter os parâmetros das equações de intensidade, duração e frequência das precipitações máximas.

Tabela 1. Funções da distribuição de probabilidade utilizadas para estimar as precipitações máximas associadas aos períodos de retorno (TR) de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos.

Funções	Equação Geral
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[\frac{x - \beta}{\alpha} - \exp \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] \text{ para } x > 0$
Log-Normal II	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{\ln(x) - \mu}{2\sigma} \right] \text{ para } x > 0$
Log-Normal III	$f(x) = \frac{1}{(x - a)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x - a) - \mu}{\sigma} \right]^2 \right\}$
Pearson III	$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta - 1} \exp \left(-\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)$
Log-Pearson III	$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left[\frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right]^{\beta - 1} \exp \left[-\frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right] \text{ para } \beta > 1 \text{ e } \frac{1}{\alpha} > 0$

em que: μ = média da variável aleatória x ; σ = desvio padrão da variável aleatória x ; α = parâmetro de escala; β = parâmetro de forma; γ = parâmetro de posição; Γ = função gama.

Tabela 2. Coeficientes de desagregação da precipitação para intervalos de tempo menores

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

Fonte: CETESB (1979).

Com os valores das séries de precipitação máxima de um dia para cada período de retorno, realizou-se a desagregação da precipitação de um dia em intervalos menores de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos, utilizando-se os coeficientes do método de desagregação da chuva propostos por CETESB (1979), utilizados e validados também por TEIXEIRA et al. (2011) e DAMÉ et al. (2014) (Tabela 2).

O ajuste de cada parâmetro da equação IDF, K , a , b e c (Equação 1) foi realizado por meio de regressão múltipla não linear, pelo método de iteração de Gradação Reduzida Generalizada (GRG) Não Linear, com a avaliação do ajuste realizada pelo coeficiente de determinação (R^2). Também foi realizada a avaliação do ajuste dos dados pela equação de regressão dos dados observados em relação aos dados estimados, observando, neste caso, o coeficiente angular da reta. Estas etapas foram realizadas com auxílio do pacote de ferramentas Solver do *software* Excel.

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

em que,

IDF = 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.

Ao final, para as localidades do estado do

Rio Grande do Norte que já existiam equações de precipitação máxima ajustadas, fez-se um comparativo entre as equações deste trabalho com as equações já existentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o ajuste dos parâmetros da equação de IDF, entre as 335 estações pluviométricas analisadas, localizadas no estado do Rio Grande do Norte, grande parte delas encontravam-se inativas, sendo assim, descartadas, restando somente 104 estações pluviométricas.

Nas estimativas dos volumes máximos precipitados de cada uma das 104 estações, de acordo com o modelo probabilístico para duração de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos, a estação do município de Natal (código 00535008) apresentou os maiores volumes, em todos os tempos de retorno, alcançando 271,81 mm para o tempo de retorno de 100 anos, sendo superior ao volume estimado por SOUSA et al. (2016), de 181,3 mm. Já o município de Santa Cruz (código 00636019), a 103 km da capital Natal, apresentou os menores volumes, em todos os tempos de retorno, com 48,94 mm para o período de retorno de 5 anos. Entre as 104 estações, apenas 16 apresentaram volumes precipitados acima de 100 mm para o período de retorno de 5 anos, ou seja, somente 15,38% das 104 estações. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por LIMA et al. (2012) em que os volumes esperados, para um tempo de retorno de 100 anos, foram para as cidades de Natal e Ceará-

Mirim, enquanto os menores volumes esperados foram para as cidades Apodi e Mossoró.

Para a grande maioria das localidades estudadas, nos diferentes períodos de retorno, a distribuição de Log-Normal III apresentou-se com maior aderência às estimativas dos volumes precipitados, 61,44% dos ajustes. De modo geral, os maiores valores de erros padrões foram apresentados para o período de retorno de 100 anos, devido ser a maior extrapolação dos dados. Entre os modelos probabilísticos que apresentaram melhor aderência às séries de dados pluviográficos, o maior erro padrão (38,54) foi obtido pela distribuição de Log-Normal III, para a estação do município de Apodi e período de retorno de 100 anos. Os menores valores de erro padrão foram apresentados pela estação do município de São Pedro, sendo o menor valor de 2,89 apresentado pela distribuição Person III, para o período de retorno de 5 anos. Outros trabalhos (FIORIO *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2012; BARRETO *et al.*, 2013; e CAMPOS *et al.*, 2014) apresentaram valores de erro padrão superiores, pois todos estes trabalhos somente utilizaram um tipo de distribuição probabilística, Gumbel, para estimar as precipitações nos mesmos períodos de retorno deste trabalho. Porém, a distribuição de Gumbel é frequentemente utilizada para estimativa de volumes máximos, por representar adequadamente os dados, assim como foram utilizados por BARRETO *et al.* (2014) na estimativa da IDF para Mossoró (RN), onde destacaram que a análise mostrou que a distribuição Gumbel, usada no cálculo de precipitações extremas, representou adequadamente os dados, sendo significativo para todos os testes de aderência utilizados.

No ajuste dos parâmetros da equação IDF (K , a , b e c), apenas duas das 104 estações estudadas apresentam coeficiente de determinação (R^2) inferior a 0,99, porém o ajuste dos parâmetros destas duas estações foi um a R^2 de 0,987, (Tabela 3). Resultados também alcançados por FREIRE *et al.* (2012), LIMA *et al.* (2012) e BARRETO *et al.* (2013), para algumas localidades do estado

do Rio Grande do Norte. CAMPOS *et al.* (2014) também sugeriram existir uma interação entre esses parâmetros (K , a , b e c), isto é, influência mútua entre as suas estimativas. Desta forma, o valor de um parâmetro é influenciado pelo valor do outro, embora a combinação desses parâmetros geralmente resulta em bons modelos de previsão de IDF. Porém, no presente trabalho, os valores dos parâmetros de ajuste da IDF apresentaram elevada variação de uma estação para outra. O valor do parâmetro K apresentou a maior amplitude, entre 481,750 a 1248,029 para as estações Santa Cruz e Patú, respectivamente,

Todos os parâmetros da IDF apresentaram variação de uma estação para outra (Tabela 3), isto devido à grande variabilidade da distribuição espacial e quantitativa das precipitações no estado do Rio Grande do Norte (SILVA *et al.*, 2012). O parâmetro a apresentou amplitude entre 0,061 a 0,274, relativos às estações de São Pedro e Januário Cicco, resultados semelhantes aos encontrados por SILVA *et al.* (2003) e SANTOS *et al.* (2009). O parâmetro c apresentou a menor variação entre as estações. Segundo ARAGÃO *et al.* (2013), essa variação pode ser atribuída principalmente à distribuição das chuvas, sendo que nas regiões onde apresentam os maiores valores precipitados, também apresentam os maiores valores do parâmetro K , tendo o parâmetro c comportamento inverso ao parâmetro K , ou seja, são inversamente correlacionados.

Comparando as equações ajustadas neste trabalho com as equações já existentes para algumas localidades do estado do Rio Grande do Norte – Mossoró (FREIRE *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2012; BARRETO *et al.*, 2013; BARRETO *et al.*, 2014); Apodi, Caicó, Ceará-Mirim, Cruzeta, Florânia (LIMA *et al.*, 2012) e Natal (DENARDIN & FREITAS, 1982; LIMA *et al.*, 2012) – verificou-se que as mesmas foram superiores às equações já existentes na literatura, excluindo somente o ajuste feito por FREIRE *et al.* (2012) para o município de Mossoró, com R^2 igual a 0,9983, superiores às equações ajustadas neste trabalho (Tabela 4).

Tabela 3. Parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência (IDF) para 104 estações pluviométricas, coeficiente de determinação (R^2) e equação da regressão linear entre os dados observados e estimados.

Município	Estação	K	a	b	c	R^2	Equação de regressão
Acari	00636007	879,710	0,167	14,255	0,790	0,997	$Y = 1,002X + 0,743$
Açu	00536029	888,977	0,151	13,610	0,784	0,998	$Y = 1,002X + 0,313$
Açu	00536035	924,468	0,114	13,307	0,781	0,998	$Y = 0,998X - 0,482$
Açu	00537001	676,123	0,143	8,869	0,735	0,997	$Y = 0,970X - 1,818$
Afonso Bezerra	00536032	918,015	0,229	15,213	0,799	0,996	$Y = 0,988X + 0,127$
Alexandria	00638037	971,720	0,137	11,921	0,767	0,999	$Y = 1,010X - 0,158$
Almino Afonso	00637018	1137,014	0,164	13,786	0,785	0,998	$Y = 1,004X + 0,067$
Antônio Martins	00637007	855,153	0,176	12,145	0,769	0,999	$Y = 1,004X - 0,281$
Apodi	00537017	998,509	0,142	13,567	0,783	0,998	$Y = 1,009X + 0,429$
Apodi	00537039	892,004	0,189	11,166	0,759	0,998	$Y = 1,000X + 0,363$
Augusto Severo	00537005	860,645	0,222	12,737	0,775	0,991	$Y = 1,006X + 0,085$
Augusto Severo	00537034	886,082	0,164	13,796	0,785	0,998	$Y = 1,008X + 0,423$
Baraúna	00537018	982,823	0,135	13,392	0,782	0,998	$Y = 1,004X - 0,207$
Barcelona	00535029	899,904	0,160	13,922	0,787	0,997	$Y = 1,002X + 0,280$
Bom Jesus	00535028	809,023	0,188	12,012	0,768	0,999	$Y = 1,004X + 0,092$
Caiçara do rio do Vento	00536026	950,821	0,157	14,151	0,789	0,997	$Y = 1,001X + 0,279$
Caicó	00637004	854,915	0,204	12,302	0,771	0,998	$Y = 0,998X - 0,297$
Caicó	00637005	925,115	0,216	14,851	0,795	0,997	$Y = 1,006X - 0,726$
Caicó	00637039	921,822	0,095	13,009	0,778	0,998	$Y = 0,999X + 0,423$
Campo Redondo	00636022	672,396	0,180	9,523	0,742	0,998	$Y = 0,990X - 0,410$
Caraúbas	00537006	1032,442	0,211	15,632	0,802	0,987	$Y = 1,002X + 0,204$
Ceará-Mirim	00535016	1148,408	0,181	11,997	0,768	0,999	$Y = 1,001X + 0,306$
Cerro Corá	00536011	880,579	0,166	14,714	0,794	0,996	$Y = 1,021X - 0,793$
Cerro Corá	00636026	1137,446	0,215	14,885	0,796	0,997	$Y = 1,001X - 0,388$
Coronel Ezequiel	00636023	798,550	0,258	10,324	0,751	0,998	$Y = 1,001X + 0,281$
Cruzeta	00636003	999,656	0,131	13,668	0,784	0,998	$Y = 1,002X + 0,212$
Currais Novos	00636015	1044,560	0,128	13,604	0,784	0,998	$Y = 0,996X - 0,111$
Currais Novos	00636025	896,984	0,140	14,098	0,788	0,998	$Y = 1,001X + 0,347$
Equador	00636024	917,434	0,141	13,820	0,786	0,998	$Y = 1,008X + 0,628$
Felipe Guerra	00537008	896,010	0,210	14,707	0,794	0,997	$Y = 1,002X + 0,219$
Governador Dix-Sept Rosado	00537013	1082,867	0,266	18,070	0,824	0,987	$Y = 1,001X + 0,297$
Governador Dix-Sept Rosado	00537015	929,712	0,118	13,395	0,782	0,998	$Y = 1,007X + 0,732$
Governador Dix-Sept Rosado	00537036	1031,159	0,153	12,953	0,777	0,998	$Y = 1,008X + 0,739$

Município	Estação	K	a	b	c	R ²	Equação de regressão
Grossos	00437013	1146,350	0,190	15,627	0,802	0,995	$Y = 1,003X + 0,183$
Guamaré	00536014	1060,737	0,095	13,249	0,780	0,998	$Y = 1,000X + 0,194$
Ielmo Marinho	00535038	890,125	0,146	13,883	0,786	0,997	$Y = 1,004X - 0,578$
Ipanguaçu	00536023	910,065	0,118	13,461	0,782	0,998	$Y = 0,986X - 0,397$
Itaú	00537010	1083,647	0,142	13,368	0,781	0,998	$Y = 1,002X + 0,301$
Jandaíra	00536030	817,337	0,166	14,177	0,789	0,997	$Y = 0,978X - 0,008$
Januário Cicco	00635018	1016,327	0,274	18,861	0,830	0,991	$Y = 0,983X + 1,420$
Japi	00635020	792,187	0,168	13,829	0,786	0,998	$Y = 1,005X + 0,481$
Jardim de Angicos	00536001	589,912	0,216	11,165	0,759	0,999	$Y = 1,015X - 0,620$
Jardim de Piranhas	00637010	1074,408	0,161	13,830	0,786	0,998	$Y = 1,003X + 0,212$
Jardim do Seridó	00636013	840,932	0,219	14,807	0,795	0,997	$Y = 0,986X + 0,739$
João Câmara	00535017	911,889	0,127	14,564	0,793	0,997	$Y = 1,006X + 0,273$
João Dias	00637002	1180,315	0,129	13,373	0,781	0,998	$Y = 1,002X + 0,201$
José da Penha	00638038	1018,912	0,148	13,450	0,782	0,998	$Y = 1,003X + 0,195$
Jucurutu	00536025	1041,594	0,140	12,300	0,771	0,999	$Y = 1,002X + 0,242$
Jucurutu	00637008	884,965	0,106	13,141	0,779	0,998	$Y = 1,003X + 0,202$
Jucurutu	00637011	1161,413	0,239	15,827	0,804	0,995	$Y = 1,004X - 0,323$
Lagoa Nova	00636012	1072,115	0,164	14,087	0,788	0,997	$Y = 1,002X - 0,086$
Lucrecia	00637009	870,672	0,217	10,390	0,751	0,999	$Y = 0,997X - 0,381$
Luís Gomes	00638039	994,995	0,184	13,934	0,787	0,998	$Y = 0,987X - 0,196$
Macaíba	00535002	775,543	0,211	10,764	0,755	0,999	$Y = 1,002X + 0,246$
Marcelino Vieira	00638040	1088,837	0,118	13,043	0,778	0,998	$Y = 0,993X + 0,228$
Martins	00637015	1008,496	0,166	11,103	0,759	0,999	$Y = 0,995X + 0,061$
Mossoró	00537003	1019,738	0,149	13,814	0,786	0,998	$Y = 1,029X - 0,980$
Mossoró	00537016	901,022	0,147	13,474	0,782	0,998	$Y = 0,981X - 0,637$
Mossoró	00537023	687,561	0,225	11,091	0,759	0,999	$Y = 1,002X + 0,294$
Mossoró	00537035	793,987	0,222	14,432	0,791	0,996	$Y = 0,999X - 0,128$
Mossoró	00537037	572,381	0,246	9,433	0,741	0,996	$Y = 1,002X + 0,193$
Natal	00535008	984,223	0,218	8,752	0,733	0,998	$Y = 1,001X + 0,289$
Olho D'água do Borges	00537002	869,039	0,157	11,437	0,762	0,998	$Y = 1,006X + 0,056$
Ouro Branco	00636027	955,059	0,130	13,567	0,783	0,998	$Y = 1,008X + 1,667$
Paraú	00537027	699,614	0,218	11,883	0,767	0,998	$Y = 1,002X + 0,225$
Patú	00637000	1248,029	0,235	15,667	0,803	0,995	$Y = 0,989X - 0,462$
Pedra Preta	00536012	628,865	0,263	10,671	0,754	0,998	$Y = 1,002X + 0,274$
Pedro Avelino	00536015	831,149	0,156	14,159	0,789	0,997	$Y = 1,001X + 0,334$
Pedro Avelino	00536019	877,891	0,157	13,954	0,787	0,997	$Y = 1,002X + 0,294$

EQUAÇÕES DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE CHUVAS MÁXIMAS PARA O ESTADO DO RIO...

Município	Estação	K	a	b	c	R ²	Equação de regressão
Pendências	00536003	637,520	0,194	10,414	0,752	0,999	$Y = 1,000X + 0,436$
Pendências	00536028	832,955	0,227	15,025	0,797	0,997	$Y = 1,006X + 0,311$
Pendências	00536036	881,801	0,140	13,480	0,782	0,998	$Y = 1,001X + 0,370$
Poço Branco	00535025	877,849	0,140	14,622	0,793	0,997	$Y = 1,009X + 0,596$
Presidente Juscelino	00635009	784,698	0,122	13,530	0,783	0,998	$Y = 1,002X + 0,272$
Pureza	00535000	1142,243	0,133	13,675	0,784	0,998	$Y = 0,984X - 0,083$
Pureza	00535036	1073,975	0,095	12,808	0,776	0,999	$Y = 0,971X - 1,003$
Rafael Fernandes	00638042	881,142	0,152	13,157	0,779	0,998	$Y = 0,990X - 0,604$
Riacho da Cruz	00537009	904,042	0,172	11,113	0,759	0,999	$Y = 1,001X + 0,278$
Santa Cruz	00636008	975,742	0,154	13,860	0,786	0,998	$Y = 1,006X + 0,332$
Santa Cruz	00636019	481,750	0,179	12,422	0,772	0,990	$Y = 1,008X + 0,789$
Santana dos Matos	00536018	832,422	0,171	11,316	0,761	0,999	$Y = 1,002X + 0,240$
Santana dos Matos	00636009	1158,056	0,147	14,166	0,789	0,997	$Y = 1,001X + 0,857$
São Fernando	00637017	1107,196	0,262	18,045	0,824	0,992	$Y = 1,003X + 0,243$
São João do Sabugi	00637014	806,866	0,167	11,855	0,767	0,999	$Y = 1,030X - 0,254$
São José de Mipibu	00635013	1126,913	0,155	12,789	0,776	0,999	$Y = 1,009X + 0,677$
São José do Campestre	00635021	586,048	0,268	10,291	0,750	0,998	$Y = 1,004X - 0,160$
São Miguel	00638043	1003,677	0,230	15,407	0,800	0,995	$Y = 1,003X + 0,144$
São Miguel	00638044	1067,302	0,107	13,153	0,779	0,998	$Y = 0,996X - 0,650$
São Paulo do Potengi	00535013	670,817	0,215	13,001	0,778	0,999	$Y = 1,002X + 0,312$
São Pedro	00535014	892,529	0,061	12,709	0,775	0,999	$Y = 1,001X + 0,836$
São Rafael	00536031	964,515	0,228	15,254	0,799	0,996	$Y = 0,999X - 0,409$
São Tomé	00536017	584,133	0,231	10,319	0,751	0,998	$Y = 1,019X - 0,300$
São Vicente	00636010	955,465	0,114	13,868	0,786	0,998	$Y = 1,015X - 0,673$
Serra de São Bento	00635007	674,079	0,249	11,084	0,759	0,998	$Y = 1,008X + 1,639$
Serra Negra do Norte	00637013	841,300	0,212	11,217	0,760	0,999	$Y = 1,002X + 0,313$
Severiano Melo	00537014	845,345	0,213	13,621	0,784	0,998	$Y = 1,004X + 0,125$
Taboleiro Grande	00538033	1141,499	0,149	13,650	0,784	0,998	$Y = 0,994X - 0,215$
Taipu	00535011	1145,180	0,256	13,927	0,787	0,995	$Y = 1,003X + 0,213$
Tangará	00635012	833,355	0,148	14,037	0,788	0,997	$Y = 1,003X + 0,306$
Tenente Ananias	00638045	1068,803	0,181	13,981	0,787	0,997	$Y = 1,004X + 0,144$
Touros	00535020	1075,745	0,120	13,920	0,787	0,997	$Y = 1,006X + 0,134$
Touros	00535021	1013,853	0,181	13,012	0,778	0,999	$Y = 1,002X + 0,646$
Umarizal	00537020	966,553	0,174	12,472	0,773	0,999	$Y = 1,003X + 0,175$
Upanema	00537019	857,297	0,176	11,547	0,763	0,999	$Y = 1,003X + 0,351$

Tabela 4. Comparação entre as equações de precipitação máxima ajustadas e com as da literatura.

Código / Fonte	Localidade	Equação de Precipitação Máxima Ajustada	R ²
Lima et al. (2012)	Apodi	$P_{max} = 26,9400 \ln(TR) + 41,0550$	0,967*
00537017	Apodi	$IDF = \frac{998,509 TR^{0,142}}{(t + 13,567)^{0,783}}$	0,998
00537039	Apodi	$IDF = \frac{892,004 TR^{0,189}}{(t + 11,166)^{0,759}}$	0,998
Lima et al. (2012)	Caicó	$P_{max} = 35,5340 \ln(TR) + 45,2050$	0,952*
00637004	Caicó	$IDF = \frac{854,915 TR^{0,204}}{(t + 12,302)^{0,771}}$	0,998
00637005	Caicó	$IDF = \frac{924,115 TR^{0,216}}{(t + 14,851)^{0,795}}$	0,997
Lima et al. (2012)	Ceará-Mirim	$P_{max} = 39,2740 \ln(TR) + 60,9620$	0,919*
00535016	Ceará-Mirim	$IDF = \frac{1148,408 TR^{0,181}}{(t + 11,997)^{0,768}}$	0,999
Lima et al. (2012)	Cruzeta	$P_{max} = 31,7930 \ln(TR) + 41,2230$	0,950*
00636003	Cruzeta	$IDF = \frac{999,656 TR^{0,131}}{(t + 13,668)^{0,784}}$	0,998
Lima et al. (2012)	Florânia	$P_{max} = 37,6570 \ln(TR) + 47,8010$	0,933*
Freire et al. (2012)	Mossoró	$P_{max} = 65,121 \ln(TR) + 7,2192$	0,998*
Lima et al. (2012)	Mossoró	$P_{max} = 31,2110 \ln(TR) + 39,6340$	0,962*
Barreto et al. (2013)	Mossoró	$IDF = \frac{791,1160 TR^{0,1550}}{(t + 9,7890)^{0,7240}}$	0,997*
Barreto et al. (2014)	Mossoró	$IDF = \frac{836,1670 TR^{0,1590}}{(t + 9,7860)^{0,7240}}$	0,997*
00537003	Mossoró	$IDF = \frac{1019,738 TR^{0,149}}{(t + 13,814)^{0,786}}$	0,998
00537016	Mossoró	$IDF = \frac{901,022 TR^{0,147}}{(t + 13,474)^{0,782}}$	0,998
00537023	Mossoró	$IDF = \frac{687,561 TR^{0,225}}{(t + 11,091)^{0,759}}$	0,999
00537035	Mossoró	$IDF = \frac{793,987 TR^{0,222}}{(t + 14,432)^{0,791}}$	0,996
00537037	Mossoró	$IDF = \frac{572,381 TR^{0,246}}{(t + 9,433)^{0,741}}$	0,996
Lima et al. (2012)	Natal	$P_{max} = 42,6270 \ln(TR) + 61,0070$	0,987*
Denardin & Freitas (1982)	Natal	$IDF = \frac{586,6600 TR^{0,2600}}{(t + 15,0000)^{0,6800}}$	0,991*
00535008	Natal	$IDF = \frac{984,223 TR^{0,218}}{(t + 8,752)^{0,733}}$	0,998

Em que: P_{max} – precipitação máxima, mm; * - valores de R² obtidos nos referidos trabalhos.

CONCLUSÃO

- Ao final das 335 estações pluviométricas analisadas, somente 104 estações possuíam séries históricas com mais de 20 anos de dados e com dados até pelo menos o ano de 1980. Destas 104 estações, obteve-se a estimativa dos parâmetros (K , a , b e c) da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação máxima para 101 estações, com R^2 superiores a 0,987 para a maioria das cidades do estado do Rio Grande do Norte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Hidroweb – Sistemas de Informações Hidrológicas**. 2014. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 18 fev. 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**, Campina Grande, v.17, n.3, p.243-252, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000300001>.

BARRETO, H.B.F.; SANTOS, W.O.; FREIRE, F.G.C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; BARRETO, F.P. Análise da precipitação máxima e relação intensidade-duração-frequência para Mossoró-RN. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.2, n.4, p.87-95, 2013.

BARRETO, H.B.F.; PEREIRA, G.M.; BARRETO, F.P.; FREIRE, F.G.C.; MAIA, P.M.E. Relação Intensidade-Duração-Frequência para precipitação extrema em Mossoró – RN. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.7, n. 3, p.103-109, 2014.

BORGES, G.M.R.; THEBALDI, M.S. Estimate of annual daily maximum rainfall and intense rain equation for the Formiga municipaly, MG, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.11, n.4, p.891-902, 2016.

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.

CARDOSO, C.O.; BERTOL, I.; SOCCOL, O.J.; SAMPAIO, C.A.P. Generation of Intensity Duration Frequency Curves and Intensity Temporal Variability Pattern of Intense Rainfall for Lages/SC. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.57, n.2, p.274-283, 2014.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo, 476p. 1979.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA-GANDRA, C.F.A.; VILLELA, F.A.; SANTOS, J.P.D.; WINKLER, A.S. Analysis of the relationship intensity, duration, frequency of disaggregated daily rainfall in southern Rio Grande do Sul, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.4, p.660-670, 2014.

DEMAREE, G.R.; Van de VYVER, H. Construction of intensity-duration-frequency (IDF) curves for Discussions precipitation with annual maxima data in Rwanda, Central Africa. **Advances in Geosciences**, Göttingen, n.35, p.1-5, 2013.

DENARDIN, J.L.; FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.10, p.1409-1416, 1982.

ELSEBAIE, I.H. Developing rainfall intensity–duration–frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. **Journal of King Saud University – Engineering Sciences**, Riyadh, n.24, p.131-140, 2012.

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**, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1080-1088, 2012.

FREIRE, F.G.C.; OLIVEIRA, A.M.P.; SOBRINHO, J.E.; BATISTA, R.O.; SANTOS,

W.O.; BARRETO, H.B.F. Estudo das precipitações máximas para o município de Mossoró-RN, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.6, n.1, p.3-7, 2012.

LIMA, J.G.A.; VIANA, P.C.; SILVA, R.M.; ALVINO, F.C.G.; SILVA, G.D. Período de retorno das precipitações máximas para algumas cidades do Rio Grande do Norte. **Revista Verde**, Mossoró, v.7, n.5, p.144-149, 2012.

OLIVEIRA, L.F.C.; ANTONINI, J.C.A.; FIOREZE, A.P.; SILVA, M.A.S. Métodos para estimativa da precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.620-625, 2008.

PAIXAO, E.; MIRZA, M.M.Q.; SHEPHARD, M.W.; AULD, H.; KLAASSEN, J.; SMITH, G. An integrated approach for identifying homogeneous regions of extreme rainfall events and estimating IDF curves in Southern Ontario, Canada: Incorporating radar observations. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.528, p.734-750, 2015.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas, DNOS, 1957. 420p.

PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F.; ALVES, A.R.; CECON, P.R. Equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.1, p.91-104, 1996.

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**, Campina Grande, v.13, p.899-905, 2009.

SILVA, C.M.S.; LÚCIO, P.S.; SPYRIDES, M.H.C.

Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.27, n.3, p.337-346, 2012.

SILVA, D.D.; GOMES FILHO, R.R.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. Chuvas intensas no estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.362-367, 2002.

SILVA, D.D.; PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; GOMES FILHO, R.R.; LANA, A.M.Q.; BAENA, L.G.N. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.11, n.1-4, p.7-14, 2003.

SILVA, D.D.; PINTO, F.R.L.P.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.3, p.11-21, 1999.

SOUSA, F.A.S.; VIEIRAS, V.R.; SILVA, V.P.R.; MELO, V.S.; GUEDES, R.W.S. Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.9, n.2, p.430-439, 2016.

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**, Campina Grande, v.16, n.9, p.999-1005, 2012.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; ROSSKOFF, J.L.C. Intensity-duration-frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas - RS, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.687-694, 2011.