

CALIBRAÇÃO DO MODELO DE BELL PARA ESTIMATIVA DE CHUVAS INTENSAS PARA SETE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE MATO GROSSO

*Isabela Lima Silva e SOUSA¹
Ricardo Santos Silva AMORÍM²
Gilmar Nunes TORRES³*

Resumo

O conhecimento da magnitude das chuvas intensas, capazes de causar impactos negativos em áreas urbanas e rurais, é importante para a construção de obras hidráulicas que visam conter o excesso de escoamento superficial ou drená-lo de modo seguro. Desta forma, objetivou-se com este trabalho obter os coeficientes do modelo de Bell para estimativa de equações de chuvas intensas para sete estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. Para isto os coeficientes do modelo de Bell foram calibrados a partir de dados pluviográficos das estações de Cáceres, Canarana, Cuiabá, Poxoréu, Rondonópolis, Santo Antônio do Leverger e São José do Rio Claro localizadas no estado de Mato Grosso. Com os coeficientes do modelo de Bell calibrados e de posse de dados pluviométricos das referidas estações, foram geradas equações de chuvas intensas (IDF) para cada estação, as quais juntamente com as equações estimadas pelo método da desagregação de chuvas de 24 horas foram comparadas àquelas obtidas a partir da Análise de Pluviogramas. O modelo de Bell calibrado utilizando-se a série completa de dados pluviográficos apresentou o melhor desempenho para 85% das estações estudadas. Enquanto que com a série reduzida para dois anos, o desempenho do modelo de Bell foi satisfatório para 57% das estações e o desempenho das equações IDF geradas a partir de tal modelo foi de 14%. Desta forma, fica evidente que somente na ausência de uma série de dados pluviográficos mais longa, deve-se utilizar este modelo com uma série de apenas dois anos de dados para estudos de chuvas intensas.

Palavras-chave: Drenagem. Hidrologia. Precipitação.

¹ Mestre em Recursos Hídricos, UFMT. E-Mail: belalimamoc@yahoo.com.br

² Professor Associado I - Universidade Federal de Mato Grosso, DSER, FAMEVZ. E-Mail: rsamorim@ufmt.br

³ Doutorando do Programa de Pós Graduação em Agricultura Tropical, FAMEVZ/UFMT. E-Mail: torresgn@ufmt.br

Abstract

Setting the Bell model for estimating intense rainfall for seven meteorological stations in Mato Grosso, Brazil

Intense rainfall can cause negative impacts in urban and agricultural areas. Understanding this natural phenomenon is important for the construction of hydraulic structures in order to contain excess runoff or to drain it safely. The aim of this study was to obtain the Bell model coefficients to estimate equations of intense rainfall for seven meteorological stations in the state of Mato Grosso. The Bell model coefficients were calibrated based on pluviograph rainfall data from the stations of Caceres, Canarana, Cuiabá, Poxoréu, Rondonópolis, Santo Antônio do Leverger and São Jose do Rio Claro in the state of Mato Grosso. Based on the calibrated Bell model coefficients and on pluviometric data of each station, intensity-duration-frequencies (IDF) curves were estimated for each location. Then, these curves and the ones estimated by the method of disaggregation of rainfall into 24 hours period were compared to the equations estimated from the Analysis of Pluviograms. The Bell model with calibrated parameters showed better performance in 85% of the studied stations, when complete time series of pluviograph rainfall data were used. On the other hand, with two years data series, the performance of Bell model was satisfactory for 57% of the stations, while the performance of the estimated IDF equations based on this model decreased to 14%. Therefore, it is clear that only in the absence of longer time series of pluviograph rainfall data, it is reasonable to use two years data series for the study of intense rainfall.

Key words: Drainage. Hydrology. Precipitation.

INTRODUÇÃO

Uma das variáveis meteorológicas mais importantes na realização de estudos climáticos é a chuva, devido às consequências que essa variável pode ocasionar, principalmente em eventos extremos.

Chuva intensa é aquela que registra um grande volume de água precipitado em um curto espaço de tempo (ARAÚJO et al,2008). A sua quantificação é de grande interesse, pois pode causar vários efeitos adversos, como a destruição de barragens e pontes, a erosão do solo, aumento assoreamento de rios e lagos, inundação de áreas urbanas e rurais, e queda de barreiras (PRUSKI et al., 2006; OLIVEIRA et al, 2008). Na prática, a fixação de um valor para se estabelecer chuvas intensas é difícil, uma vez que o impacto pode ser diferente, dependendo do local de incidência, seja em áreas rurais ou urbanas (PINTO, 1999).

A principal forma para caracterização de chuvas intensas é através da equação de intensidade, duração e frequência da chuva, sendo este último parâmetro também conhecido como período de retorno. As particularidades de cada região irão definir os valores dessas variáveis. A relação entre esses parâmetros deve ser obtida a partir das observações das chuvas intensas durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos da região em estudo (BERTONI; TUCCI, 2004).

A determinação da relação IDF (intensidade-duração-frequência) apresenta grandes dificuldades em função da escassez de registros pluviográficos no Brasil em função da baixa densidade da rede de pluviógrafos e do pequeno período de observações disponível; além disso, a metodologia para sua obtenção exige um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de grande quantidade de pluviogramas (OLIVEIRA et al., 2008; CECÍLIO; PRUSKI, 2003).

Em função dessa escassez, tem-se buscado métodos alternativos que permitam a estimativas de curvas IDF com base em dados de pluviômetros em locais que possuam pouco ou nenhum dado pluviográfico.

Embora haja maior disponibilidade de dados pluviométricos e a sua manipulação seja mais fácil, os estudos de chuvas intensas utilizando esse tipo de dados ainda não são amplamente difundidos entre os pesquisadores (SILVA et al., 2002). Os métodos estão sendo aprimorados para a obtenção de resultados que permitam estimar com confiança as intensidades de chuvas.

O método de Bell (1969) constitui em uma alternativa para a obtenção da altura pluviométrica de chuva intensa a partir de dados pluviométricos. Esse método associa a altura pluviométrica de uma chuva intensa para um determinado tempo de duração e período de retorno da chuva intensa (Bertoni e Tucci, 1993; Righetto, 1998).

De acordo com Oliveira et al. (2008, p.621) e Righetto (1998), o método de Bell se aplica em situações de ausência de pluviogramas ou que apresentem curta série de dados pluviográficos de pelo menos dois anos para estimar a chuva intensa de 60 minutos de duração e período de retorno de dois anos. Segundo Back (2009), a limitação desse método se deve ao fato de que a mesma foi gerada a partir de dados de chuva de diversas partes do mundo, sendo, portanto, seus resultados, função de valores médios e não específico para um local.

Para contornar essa limitação, Righetto (1998) ajustou os coeficientes do modelo de Bell, empregando várias estações pluviográficas distribuídas no território brasileiro, obtendo assim uma equação geral para o Brasil. Oliveira et al. (2008) compararam a equação ajustada por Righetto (1998) com outras metodologias e verificaram que ela apresentou um bom desempenho na estimativa das precipitações máximas de curta duração, o que representa uma alternativa na determinação das chuvas críticas de projeto.

Mello et al. (2003) ajustaram para as macrorregiões do Estado de Minas Gerais os coeficientes do modelo de Bell e obtiveram desvio porcentual máximo de 7,6% entre os valores das precipitações máximas estimados e observados. Para o Estado de Goiás, Oliveira et al. (2008) ajustaram o modelo de Bell para diferentes localidades e uma equação geral para o estado, para as quais foram observados valores do erro-padrão médio menores que 5%. Para Urussanga, SC, Back (2009) verificou que as relações entre as precipitações intensas de duração entre 10 a 120 minutos, apresentaram diferenças inferiores a 10% pelo emprego do modelo de Bell ajustado localmente.

Até o presente momento há poucas publicações referentes ao ajuste da equação de chuvas intensas para localidades do Estado de Mato Grosso; entre elas estão o trabalho de Pfafstetter (1957), DAEE/CETESB (1980), Silveira (2006), Garcia et al. (2010) e Oliveira et al. (2011). Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de preencher essa lacuna também para o interior do Estado. No entanto nenhum se ateve a obter os coeficientes do modelo de Bell visando a regionalização deste modelo.

Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho calibrar o modelo de Bell para estimativa da equação de chuvas intensas para as estações meteorológicas de Cáceres, Canarana, Cuiabá, Poxoréu, Rondonópolis, Santo Antônio do Leverger e São José do Rio Claro, localizadas no Estado de Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente estudo foram selecionadas sete estações pluviográficas e pluviométricas (Tabela 1) localizadas no Estado de Mato Grosso (Figura 1) pertencentes à rede hidrometeorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) sob a responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA). Os dados pluviográficos foram obtidos junto ao 9º Distrito de Meteorologia do INMET, enquanto os dados pluviométricos foram obtidos da base de dados do Sistema de Informações Hidrológicas - Hidroweb (2014).

Foram utilizadas séries de dados pluviográficos, previamente digitalizados e tabulados no trabalho de Garcia (2010), no qual fez-se a seleção dos pluviogramas e elaboração das séries diárias para precipitações com duração de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 120 minutos para cada uma das estações em estudo. Foram utilizadas as séries com mais de 200 dias de dados.

Foram elaboradas séries de máximos anuais para dados pluviográficos e pluviométricos e feita a análise estatística para identificação do modelo de distribuição de probabilidade que melhor se ajustasse aos dados.

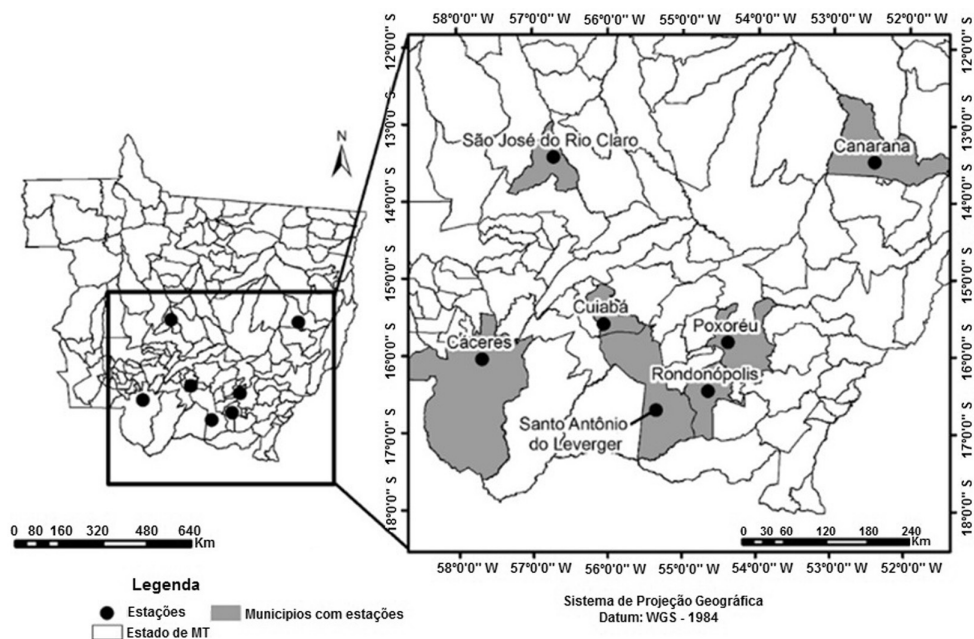


Figura 1 - Distribuição espacial das estações meteorológicas no Estado de Mato Grosso utilizadas no presente estudo

Tabela 1 - Estações pluviográficas e pluviométricas utilizadas no estudo

Estação	Tipo de dados	Latitude	Longitude	Altitude	Períodos de observação
Cáceres	Pluviográfica	16°05'S	57°68'W	118 m	1990 a 1995, 1997 a 1999, 2001, 2003 e 2005 (12 anos)
	Pluviométrica	16°3'S	57°41'W	118 m	1925 a 1946, 1948 a 1965, 1971, 1972, 1975 a 1987, 1990, 1995 e 1998 (58 anos)
Canarana	Pluviográfica	13°47'S	52°27'W	430 m	1991 a 1993 e 1995 (4 anos)
	Pluviométrica	13°29'S	52°27'W	351 m	1985 a 1988, 1990 a 2013 (28 anos)
Cuiabá	Pluviográfica	15° 62'S	56° 11'W	151 m	1972 a 1977, 1985, 1990 a 1999 e 2003 (18 anos)
	Pluviométrica	15° 36'S	56° 03'W		1989 a 2013 (24 anos)
Poxoréu	Pluviográfica	15°83'S	54°38'W	450 m	1990 a 1994, 2003 e 2005 (7 anos)
	Pluviométrica	15°50'S	54°23'W	450 m	1977 a 1990, 1992, 1993, 1995 e 1998 (18 anos)
Rondonópolis	Pluviográfica	16°45'S	54°57'W	284 m	1992, 1993, 1995, 1997 a 1999, 2005 e 2006 (8 anos)
	Pluviométrica	16°28'S	54°39'W	220 m	1966 a 1991, 1993 a 2013 (47 anos)
Santo Antônio do Leverger	Pluviográfica	15°47'S	56°04'W	140 m	1987, 1989, 1990 e 1991 (4 anos)
	Pluviométrica	16°43'S	55°21'W	165 m	1965 a 1989, 1993 a 2007 (40 anos)
São José do Rio Claro	Pluviográfica	13°43'S	56°72'W	350 m	1991 a 1994 (4 anos)
	Pluviométrica	13°26'S	56°43'W	356 m	2005 a 2013 (9 anos)

Bell (1969) propôs um modelo (Eq.1 e 2) para estimativa de chuvas intensas a partir da chuva de 60 minutos de duração e período de retorno de dois anos. Assim, para aplicação do modelo, determina-se primeiramente os parâmetros $h_{(60,2)}$ e $h_{(dia,2)}$ a partir de dados pluviográficos.

$$h_{(td,Tr)} = (a \cdot \ln Tr + a_1) \cdot (a_2 \cdot td^{b-1} - a_3) \cdot h_{(60,2)} \quad (1)$$

$$h_{(60,2)} = k \cdot h_{(dia,2)} \quad (2)$$

em que: $h_{(td,Tr)}$ = chuva de projeto em milímetros (mm); T_r = tempo de retorno em anos; t_d = tempo de duração em minutos (min); a , a_1 , a_2 , a_3 e b = parâmetros regionais de calibração do modelo; $h_{(60,2)}$ = precipitação intensa padrão que corresponde à duração de 60 min e período de retorno de 2 anos, em mm e $h_{(dia,2)}$ = altura pluviométrica máxima diária anual correspondente ao tempo de retorno de 2 anos, em mm; k = relação regional entre a precipitação pluvial de 60 minutos e um dia de duração para um período de retorno de dois anos.

Para a utilização do modelo de Bell, primeiramente determinou-se os valores dos parâmetros $h_{(60,2)}$ e $h_{(dia,2)}$ a partir de todos os dados pluviográficos. Para tal, foram elaboradas duas séries de dados de precipitação, uma com valores correspondentes a duração de 60 minutos e outra com duração de um dia. Os dados de precipitação pluviográfica foram dispostos em ordem decrescente para a determinação da ordem de cada valor e posterior cálculo do período de retorno. Para as estações que não apresentaram uma chuva associada a um período de retorno exato de dois anos, os parâmetros $h_{(60,2)}$ e $h_{(dia,2)}$ foram determinados pela distribuição de Gumbel. Posteriormente, estimou-se o coeficiente regional k . Com o valor de $h_{(60,2)}$ determinado a partir de dados pluviográficos, obteve-se os coeficientes do modelo de Bell utilizando-se o método dos mínimos quadrados (Gauss-Newton) para encontrar a equação que apresentasse o menor resíduo da regressão, a qual foi realizada no software Statistic 6.1.

De posse da série de dados pluviométricos, foram elaboradas séries de precipitação com duração de um dia para a determinação do parâmetro $h_{(dia,2)}$. Com a multiplicação desse parâmetro pelo coeficiente regional k , estimou-se o valor de $h_{(60,2)}$ a partir dos dados pluviométricos. Com o novo valor de $h_{(60,2)}$ obtido a partir de dados pluviométricos e de posse dos coeficientes de Bell calibrados, estimou-se as alturas pluviométricas para as durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 120 minutos e períodos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos. Com as alturas estimadas e transformadas em intensidades, estimou-se a equação IDF (Eq. 3) que determina a vazão máxima capaz de ocorrer (VILLELA; MATTOS, 1975). Foi feito o mesmo procedimento para determinação de $h_{(60,2)}$ e $h_{(dia,2)}$ e k a partir de apenas dois anos de dados pluviográficos, que conforme Righetto (1998), são necessários apenas dois anos de dados para a calibração do modelo de Bell.

$$i = \frac{k \cdot TR^a}{(t + B)^c} \quad (3)$$

em que: i = intensidade máxima em $mm \cdot h^{-1}$; T_r = período de retorno em anos; t = duração da chuva em minutos; a , B , c , K = parâmetros regionais.

O desempenho das equações IDF calibradas pelo modelo de Bell foram avaliadas utilizando-se todos os anos de dados pluviográficos e também somente dois anos de dados. Para avaliação do deste desempenho, utilizou-se como padrão a IDF obtida a partir da Análise de Pluviogramas. Foram utilizados os seguintes estatísticos para avaliar o desempenho do modelo de Bell: coeficiente de correlação (r) (Eq. 4), raiz do quadrado médio do erro (RMSE) (Eq. 5), índice de concordância de Wilmott (d) (Eq. 6), coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) (Eq.7) e o índice de confiança (c) (Eq.8).

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{est_i} - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{obs_i} - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{obs_i} - Y_{est_i})^2}{n}} \quad (5)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{est_i} - Y_{obs_i})^2}{\sum_{i=1}^n (|Y_{est_i} - \bar{Y}| + |Y_{obs_i} - \bar{Y}|)^2} \quad (6)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{obs_i} - Y_{est_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{obs_i} - \bar{Y})^2} \quad (7)$$

$$c = r.d \quad (8)$$

em que: RMSE = raiz do quadrado médio do erro; Y_{obs} = valor observado; Y_{est} = valor estimado; \bar{Y} = média dos valores observados; r = coeficiente de correlação; n = número de pares de valores observados e estimados; d = índice de concordância de Wilmott; NS = coeficiente de Nash-Sutcliffe; \bar{Y} - média dos valores observados.

O índice de confiança (c) é classificado de acordo com o critério estabelecido (Tabela 2) por Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 2 - Classificação do índice de confiança

Valor de c	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média entre os parâmetros $h_{(60,2)}$, $h_{(dia,2)}$ e k para todos os anos de dados pluviográficos disponíveis e dois anos de dados foram bem próximas. Isso mostra que o ciclo das chuvas se mantém constante, o que torna esses valores médios representativos desses parâmetros para a mesorregião Centro-Sul Mato-Grossense. A diferença dos parâmetros $h_{(60,2)}$, $h_{(dia,2)}$ entre as estações foram elevadas, sendo os

maiores coeficientes de variação (CV) de 36,753%, 31,1364% e 24,3664% para $h_{(60,2)}$, $h_{(dia,2)}$ e k , respectivamente. Essa diferença pode ser devido a fatores fisiográficos e climáticos que variam de uma região para outra. O parâmetro k variou de 0,4963 a 0,6794 quando analisado todos os dados pluviográficos e variou de 0,3917 a 0,8190 quando analisado apenas dois anos de dados pluviográficos. Os valores médios de k foram 0,5622 e 0,5581 para k a partir de todos os dados pluviográficos e dois anos de dados, respectivamente. No estudo desenvolvido por Righetto (1998), o valor do coeficiente regional k calibrado para todo o Brasil foi de 0,51. Essa proximidade dos valores médios de k mostra que há semelhança no comportamento hidrológico dos parâmetros $h_{(60,2)}$ e $h_{(dia,2)}$ para o Brasil e para as regiões em que estão localizadas as estações no Estado de Mato Grosso. O CV de k variou de 14,3403% e 24,3664% utilizando todos os dados pluviográficos e dois anos de dados, respectivamente.

Na avaliação dos parâmetros $h_{(60,2)}$, $h_{(dia,2)}$ e k , Mello et al. (2003) obtiveram resultado de CV máximo de 16%, sendo considerado por tal autor como uma baixa variação. No entanto, observamos que existem estações com valores de k bem diferentes desses valores, o que mostra a necessária obtenção de um valor de k local.

Os coeficientes do modelo de Bell calibrados foram significativos para todas as estações (Tabela 4). Além de todos os coeficientes de ajuste do modelo de Bell serem significativos, o coeficiente de determinação, que indica o quanto o modelo se ajusta aos dados observados, foram elevados, variando de 0,9719 a 0,8736 para todos os anos de dados pluviográficos observados e variando de 0,9619 a 0,7441 para dois anos.

Tabela 3 - Parâmetros $h_{(60,2)}$ e $h_{(dia,2)}$ calibrados a partir de dados pluviográficos e pluviométricos e o coeficiente regional k para as sete estações em estudo

Estação	Tipo de dado	Nº de anos	$h_{(60,2)}$	$h_{(dia,2)}$	k
Cáceres	Pluviográfico	12	37,3014	75,1645	0,4963
		2	50,1115	61,1834	0,8190
	Pluviométrico	12	40,7866	82,1874	0,4963
Canarana	Pluviográfico	4	67,3146	50,4729	0,6794
		2	34,2928	60,1868	0,5285
	Pluviométrico	4	31,8111	100,2958	0,6794
Cuiabá	Pluviográfico	2	53,0103	43,6379	0,5285
		2	29,5057	43,6379	0,6761
	Pluviométrico	2	25,6837	43,0667	0,5964
Poxoréu	Pluviográfico	18	55,0345	81,4000	0,6761
		2	48,5444	59,64	0,5964
	Pluviométrico	7	19,1900	38,5800	0,4974
Rondonópolis	Pluviográfico	7	18,1735	31,6471	0,5743
		7	39,2549	78,9189	0,4974
	Pluviométrico	2	45,3195	54,6845	0,5743
Santo Antônio do Leverger	Pluviográfico	8	29,7758	81,5850	0,5445
		2	31,9583	84,2000	0,3917
	Pluviométrico	8	45,8469	46,2753	0,5445
São José do Rio Claro	Pluviográfico	2	32,9826	40,5598	0,5190
		4	24,0151	40,5598	0,4461
	Pluviométrico	2	18,0954	81,4090	0,5190
Média	Pluviográfico	4	42,2513	64,5253	0,4461
		2	36,3200	62,3508	0,5229
	Pluviométrico	4	33,7382	91,3000	0,5229
Desvio padrão	Pluviográfico	4	47,7408	53,3344	0,5507
		2	50,2780	54,3685	0,5622
	Pluviométrico	Todos	29,6884	85,6730	0,5622
CV (%)	Pluviográfico	2	30,0242	12,7367	0,5581
		2	48,4366	16,9284	0,0806
	Pluviométrico	2	47,6814	7,5484	0,0806
CV (%)	Pluviográfico	Todos	6,2982	23,8809	0,1360
		2	11,0348	31,1364	0,1360
	Pluviométrico	Todos	10,1659	8,8107	0,1360
CV (%)	Pluviográfico	2	11,3436	14,3403	0,1360
		2	21,2143	24,3664	0,1360
	Pluviométrico	Todos	36,7530	14,3372	0,1360
CV (%)	Pluviográfico	2	20,9880	14,3372	0,1360
		2	23,7904	24,3664	0,1360
	Pluviométrico	Todos	47,6814	14,3372	0,1360

$h_{(60,2)}$ e $h_{(dia,2)}$ – altura de precipitação com duração de 60 minutos e um dia com dois anos de período de retorno, respectivamente; k – coeficiente regional.

Tabela 4 - Coeficientes do modelo de Bell calibrados a partir de dados pluviográficos

Estação	Nº de anos	a	a ₁	a ₂	B	a ₃	R ²
Cáceres	12	0,3347*	0,5077*	0,5404*	0,3324*	0,8988*	0,9410*
	2	-0,1382*	-0,4998*	6,2296*	-0,5046*	2,1395*	0,9560*
Canarana	4	409,2146*	1293,2393*	1,9407	0,0001*	1,9411*	0,9496*
	2	178,9654*	1281,6531*	1,9518*	0,0002*	1,9524*	0,9619*
Cuiabá	18	3,9449*	3,8058*	0,7745*	0,0564*	0,8362*	0,8736*
	2	676,3249*	534,7239*	1,8004*	0,0002*	1,8005*	0,8645*
Poxoréu	7	1,3271*	1,0947*	0,5817*	0,1806*	0,6549*	0,9719*
	2	143,5343*	981,6732*	1,9218*	0,0001*	1,9217*	0,7441*
Rondonópolis	7	11,8976*	19,6089*	1,1582*	0,0122*	1,1851*	0,9037*
	2	240,7938*	2459,8634*	1,4998*	0,0001*	1,5001*	0,9084*
Santo Antônio do Leverger	4	0,1230*	0,1473*	0,4156*	0,5839*	0,5663*	0,9418*
	2	0,0320*	0,2171*	0,3713*	0,6131*	0,3699*	0,8988*
São José do Rio Claro	4	0,0429*	0,1424*	0,4131*	0,6193*	-0,1865*	0,9504*
	2	0,0163*	0,1360*	0,5621*	0,6333*	0,8482*	0,9609*

* significativo a 5% de probabilidade; a, a₁, a₂, b, a₃ - coeficientes do modelo de Bell calibrados; R² - índice de determinação do modelo de Bell calibrado.

Na tabela 5 estão apresentadas as equações IDF obtidas pelo modelo de Bell calibrado com todos os anos de dados e dois anos de dados pluviográficos locais e as equações obtidas por (GARCIA, 2010). Na Tabela 6 estão apresentados os parâmetros estatísticos para avaliação e classificação do desempenho das metodologias alternativas em relação à IDF padrão obtida a partir da Análise de Pluviogramas, assim como do modelo de Bell com parâmetros locais utilizando todos os anos de dados pluviográficos e dois anos de dados.

Verifica-se que o modelo de Bell com os parâmetros calibrados com todos os anos de dados pluviográficos locais apresentou o melhor desempenho para as estações de Cáceres, Rondonópolis, Santo Antônio do Leverger e São José do Rio Claro. A metodologia que apresentou o melhor desempenho para a estação de Canarana foi a Desagregação de Chuvas de 24 horas e para a estação de Cuiabá e Poxoréu foi a equação IDF obtida a partir do modelo de Bell com parâmetros universais.

De acordo com a classificação de Camargo e Sentelhas (1997), o desempenho do modelo de Bell calibrado com todos os anos de dados locais foi: ótimo para a estação de Cáceres, Poxoréu, Santo Antônio do Leverger e São José do Rio Claro, sofrível para a estação de Canarana, bom para estação de Cuiabá e Rondonópolis.

Com a redução da série pluviográfica para dois anos, conforme recomenda Righetto (1998), o desempenho do modelo de Bell foi superior ao desempenho utilizando todos os anos de dados pluviográficos para as estações de Canarana, Cuiabá, Poxoréu e Rondonópolis, no entanto, foi o melhor desempenho dentre as demais metodologias apenas para as estações de Canarana e Rondonópolis. O desempenho das estações foram: Mau para a estação de Cáceres, ótimo para as estações de Canarana, Poxoréu, e Rondonópolis, muito bom para a estação de Cuiabá e sofrível para as estações de Santo Antônio do Leverger e São José do Rio Claro.

Analisando as equações IDF estimadas pelo modelo de Bell local com todos os dados pluviográficos, o desempenho das metodologias foi: muito bom para a estação de Cáceres, péssimo para a estação de Canarana, mau para a estação de Poxoréu, Rondonópolis, e Santo Antônio do Leverger e bom para a estação de São José do Rio Claro.

Apesar dos coeficientes do modelo de Bell serem diferentes entre as estações, quando relaciona-se os dados estimados pelo modelo de Bell local com os dados observados a partir da análise de pluviogramas, os resultados do teste de identidade de modelos evidenciam que não existe diferença entre as estimativas para algumas estações (Figura 2). Desta forma, pode-se afirmar que as estimativas obtidas pelo teste de identidade de modelos para a estação de Canarana diferem apenas das estimativas da estação de São José do Rio Claro. As estimativas obtidas para a estação de Cáceres diferem apenas das estimativas da estação de Cuiabá. As estimativas obtidas para a estação de Poxoréu não diferem das estimativas de nenhuma das estações estudadas. As estimativas obtidas para a estação de São José do Rio Claro diferem das estimativas das estações de Canarana, Cuiabá e Rondonópolis.

Tabela 5 - Equações IDF calibradas pelas metodologias de Bell com coeficientes locais, Bell com coeficientes universais, Análise de Pluviogramas e Desagregação de chuvas de 24 horas

Estação	IDF Análise de Pluviogramas ¹	R ²	IDF Bell (local)	R ²	IDF Bell (universal) ²	R ²	IDF Desag. Ch.24 horas ³	R ²
1	$i = \frac{5378,8670 * T_r^{0,2151}}{(t + 93,2440)^{1,0568}}$	0,96	$i = \frac{8,4371 * 10^{12} * T_r^{0,2959}}{(t + 622,7608)^{1,0282}}$	0,97	$i = \frac{531,2959 * T_r^{0,2283}}{(t + 4,1845)^{0,6708}}$	0,99	$i = \frac{2031,85 * T_r^{0,2248}}{(t + 13,2308)^{0,9582}}$	0,98
	$i = \frac{2,0779 * 10^{19} * T_r^{0,1829}}{(t + 981,8276)^{3,8353}}$	0,97	$i = \frac{2,778 * 10^{14} * T_r^{0,1996}}{(t + 468,1676)^{1,6624}}$	0,97	$i = \frac{497,862 * T_r^{0,2203}}{(t + 4,1845)^{0,6708}}$	0,99	$i = \frac{1356,61 * T_r^{0,1475}}{(t + 13,2308)^{0,9582}}$	0,99
2	$i = \frac{14487,62 * T_r^{0,1057}}{(t + 92,6319)^{1,2174}}$	0,96	$i = \frac{1,1371 * 10^{16} * T_r^{0,1111}}{(t + 584,9570)^{5,1102}}$	0,92	$i = \frac{416,7657 * T_r^{0,2323}}{(t + 4,1845)^{0,6708}}$	0,99	$i = \frac{288,46 * T_r^{0,2248}}{(t - 1,5858)^{0,7555}}$	0,94
	$i = \frac{1382,435 * T_r^{0,3002}}{(t + 27,7109)^{0,9315}}$	0,94	***	$i = \frac{871,3044 * T_r^{0,3708}}{(t + 11,5877)^{0,7347}}$	0,99	$i = \frac{327,8681 * T_r^{0,2224}}{(t + 4,1845)^{0,6708}}$	0,99	$i = \frac{1100,17 * T_r^{0,2033}}{(t + 12,9675)^{0,9471}}$
4	$i = \frac{589,54 * T_r^{0,2409}}{(t + 11,8048)^{0,8812}}$	0,97	$i = \frac{1285,379 * T_r^{0,1152}}{(t + 2,8608)^{0,8157}}$	0,99	$i = \frac{488,2158 * T_r^{0,2224}}{(t + 4,1845)^{0,6708}}$	0,99	$i = \frac{1798,46 * T_r^{0,1979}}{(t + 13,2308)^{0,9582}}$	0,98
	$i = \frac{7589,6828 * T_r^{0,1513}}{(t + 108,0431)^{1,0919}}$	0,97	$i = \frac{1,6417 * 10^{17} * T_r^{0,2850}}{(t + 843,7975)^{5,29412}}$	0,85	$i = \frac{5083,379 * T_r^{0,2970}}{(t + 1,6073)^{1,3758}}$	0,98	$i = \frac{9692,37 * T_r^{0,3823}}{(t + 1,6485)^{1,5327}}$	0,97
5	$i = \frac{3,7627 * 10^{15} * T_r^{0,0829}}{(t + 1463,873)^{4,4616}}$	0,22	$i = \frac{236,2413 * T_r^{0,3265}}{(t + 19,9685)^{0,4473}}$	0,99	$i = \frac{489,8767 * T_r^{0,2208}}{(t + 4,1845)^{0,6708}}$	0,99	$i = \frac{7490,61 * T_r^{0,3863}}{(t + 2,3478)^{1,6329}}$	0,97
	$i = \frac{3950,50 * T_r^{0,2839}}{(t + 83,3249)^{1,0815}}$	0,91	$i = \frac{170,2055 * T_r^{0,1160}}{(t + 8,5392)^{0,3819}}$	0,99	$i = \frac{347,9854 * T_r^{0,0983}}{(t + 32,7848)^{0,4440}}$	0,99		
6	$i = \frac{3950,50 * T_r^{0,2839}}{(t + 83,3249)^{1,0815}}$	0,91	$i = \frac{170,2055 * T_r^{0,1160}}{(t + 8,5392)^{0,3819}}$	0,99				
	$i = \frac{110,16 * T_r^{0,1654}}{(t - 7,5653)^{0,4054}}$	0,96	$i = \frac{197,4178 * T_r^{0,1935}}{(t - 1,1785)^{0,3951}}$	0,99				
7	$i = \frac{110,16 * T_r^{0,1654}}{(t - 7,5653)^{0,4054}}$	0,96	$i = \frac{347,9854 * T_r^{0,0983}}{(t + 32,7848)^{0,4440}}$	0,99				

1 = Cáceres; 2 = Canarana; 3 = Cuiabá; 4 = Poxoréu; 5 = Rondonópolis; 6 = Santo Antônio do Leverger e 7 = São José do Rio Claro. ^{1, 2, e 3} – Equações IDF obtidas por (GARCIA, 2010); **Não estimou equação IDF.

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos para avaliação do desempenho das metodologias alternativas em relação à IDF padrão obtida a partir da Análise de Pluviogramas

Metodologias	Nº de anos	RMSE	d	NS	r	c	Avaliação de Desempenho
Cáceres							
IDF Bell local	12	14,4013	0,8402	-0,0113	0,9701	0,8150	Muito Bom
	2	29,0772	0,5540	-31,226	0,9946	0,5511	Sofrível
Modelo de Bell local	12	9,6954	0,9144	0,5417	0,9518	0,8703	Ótimo
	2	17,7267	0,7114	-0,5322	0,6516	0,4635	Mau
IDF Bell universal	12	44,2977	0,5384	-85,681	0,9321	0,5019	Mau
IDF Desagregação de Chuvas de 24 horas	12	41,6961	0,5586	-74,772	0,9076	0,5071	Mau
Canarana							
IDF Bell local	4	54,8862	0,31854	-19,687	0,9698	0,3089	Péssimo
	2	25,7191	0,5645	-35,423	0,9949	0,5617	Sofrível
Modelo de Bell local	4	16,3801	0,6933	-0,8424	0,8477	0,5878	Sofrível
	2	3,1153	0,9840	0,9334	0,9702	0,9547	Ótimo
IDF Bell universal	4	31,9232	0,6007	-5,998	0,9480	0,5695	Sofrível
IDF Desagregação de Chuvas de 24 horas	4	12,1029	0,8788	-0,0059	0,9545	0,8388	Muito Bom
Cuiabá							
Modelo de Bell local	18	15,4177	0,8755	0,5666	0,8046	0,7044	Bom
	2	25,0915	0,8571	-0,1480	0,9901	0,8486	Muito Bom
IDF Bell universal	18	10,6442	0,9589	0,7934	0,9713	0,9313	Ótimo
IDF Desagregação de Chuvas de 24 horas	18	18,7098	0,8617	0,3617	0,9099	0,7841	Muito Bom
Poxoréu							
IDF Bell local	7	78,1939	0,4263	0,2322	0,9741	0,4153	Mau
	2	59,5691	0,5393	0,3179	0,9532	0,5141	Sofrível
Modelo de Bell local	7	15,0076	0,9084	0,4670	0,9702	0,8813	Ótimo
	2	9,6115	0,9462	0,8081	0,9526	0,9014	Ótimo
IDF Bell universal	7	3,5438	0,9932	0,9749	0,9975	0,9907	Ótimo
IDF Desagregação de Chuvas de 24 horas	7	3,1097	0,9948	0,9811	0,9946	0,9895	Ótimo
Rondonópolis							
IDF Bell local	8	31,0276	0,4606	-80,341	0,9319	0,4293	Mau
	2	15,8701	0,3539	-13,635	0,9861	0,3489	Sofrível
Modelo de Bell local	8	9,1342	0,8658	0,2171	0,8491	0,7352	Bom
	2	4,5018	0,9574	0,8099	0,9374	0,8975	Ótimo
IDF Bell universal	8	3,3383	0,5187	-10,065	0,9313	0,4831	Mau
IDF Desagregação de Chuvas de 24 horas	8	42,4051	0,0318	-15,874	0,8006	0,0254	Péssimo
Santo Antônio do Leverger							
IDF Bell local	4	38,5478	0,4647	0,2441	0,9881	0,4592	Mau
	2	12,9452	0,7736	0,4197	0,9192	0,7111	Bom
Modelo de Bell local	4	5,1019	0,9660	0,8871	0,9837	0,9503	Ótimo
	2	15,3358	0,5480	-0,1059	0,9184	0,5033	Sofrível
IDF Bell universal	4	10,9884	0,2452	0,1295	0,7421	0,1820	Péssimo
IDF Desagregação de Chuvas de 24 horas	4	18,5526	0,1560	0,0806	0,7430	0,1159	Péssimo

(continua)

(continuação)

São José do Rio Claro							
IDF Bell local	4	28,9372	0,7680	0,4386	0,9501	0,7297	Bom
	2	24,3816	0,6450	-0,4765	0,8573	0,5529	Sofrível
Modelo de Bell local	4	12,2312	0,9291	0,6238	0,9493	0,8819	Ótimo
	2	21,0366	0,6233	-47,581	0,8507	0,5303	Sofrível
IDF Bell universal	4	23,6334	0,8600	0,6378	0,9605	0,8260	Muito Bom
IDF Desagregação de Chuvas de 24 horas	4	71,8475	0,6572	0,4497	0,9841	0,6467	Mediano

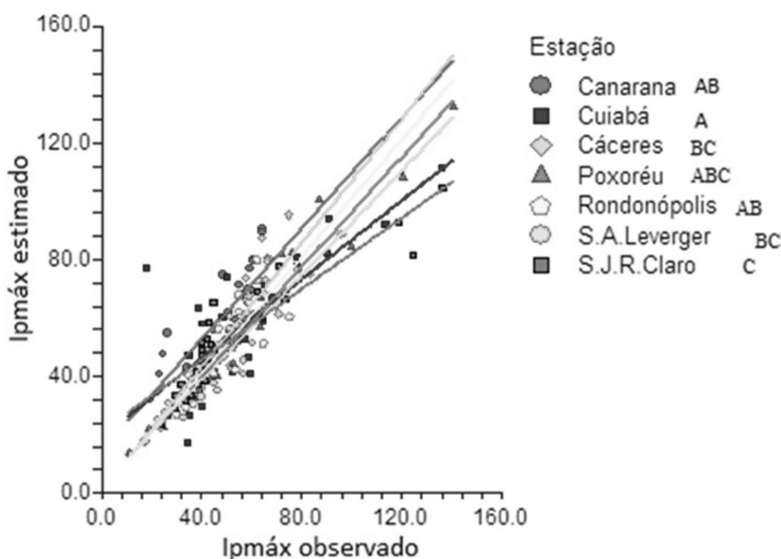


Figura 2 - Relação linear entre os valores de intensidades de precipitação máximas ($I_{pmáx}$) observados a partir de análise de pluviograma e estimados pelo modelo de Bell a partir das séries de dados pluviográficos de sete estações do estado de Mato Grosso. Estações seguidas de mesma letra não houve diferença significativa ($p < 0,1$) pelo teste de identidade de modelos

No trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (2011, p.288), diferentemente ao obtido no presente trabalho, verificaram que o modelo de Bell apresentou ótimo desempenho para 136 estações pluviométricas do Estado de Mato Grosso. No entanto, no referido trabalho, a avaliação do desempenho foi realizada baseada nos dados obtidos pelo método de Desagregação de Chuvas de 24 horas, os quais foram utilizados para calibrar os parâmetros de Bell para as respectivas estações. Enquanto na presente pesquisa, os dados foram contrastados com os dados obtidos a partir de dados pluviográficos.

Nenhuma das metodologias para estimativa de chuvas intensas utilizadas no presente trabalho mostrou mais eficientes para todas as localidades e situações estudadas. No entanto fazendo uma avaliação de forma geral, pôde-se verificar que a

utilização do modelo de Bell com o ajustes dos parâmetros do modelo para cada localidade maior proporção das estimativas com melhor desempenho (índice de confiança \geq bom) em comparação às outras metodologias (Figura 3).

Quanto ao comprimento das série de dados utilizados para ajuste dos parâmetros dos modelos, de maneira geral, para todas as metodologias, os piores desempenhos das estimativas (índice de confiança pior ou igual a mediano) foram observadas quando utilizava apenas dois anos de dados pluviográficos. Sendo esta diferença mais expressiva para a metodologia na qual fez-se a estimativa de chuva intensas utilizando o modelo de Bell com ajuste local (Figuras 4 e 5). Evidenciando, desta forma, que apesar da afirmativa que o modelo de Bell pode ser ajustado com apenas dois anos de dados pluviográficos, há uma melhoria expressiva do modelos em caso que exista uma serie de dados pluviográficos mais longas.

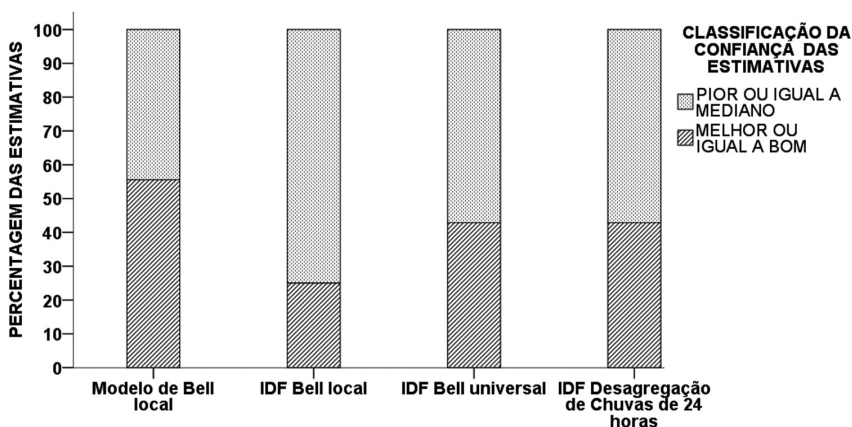


Figura 3 - Classificação geral da confiança das estimativas dos modelos utilizados para estimativa de chuvas intensas

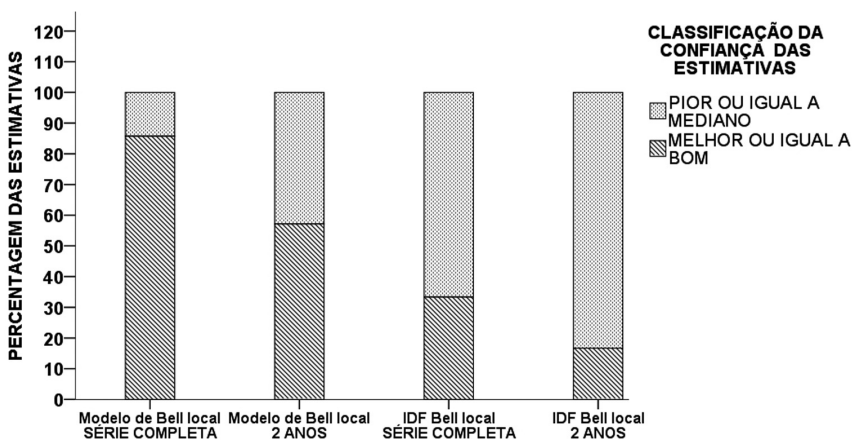


Figura 4 - Classificação da confiança das estimativas dos modelos utilizados para estimativa de chuvas intensas quanto ao comprimento da serie de dados com ajuste local

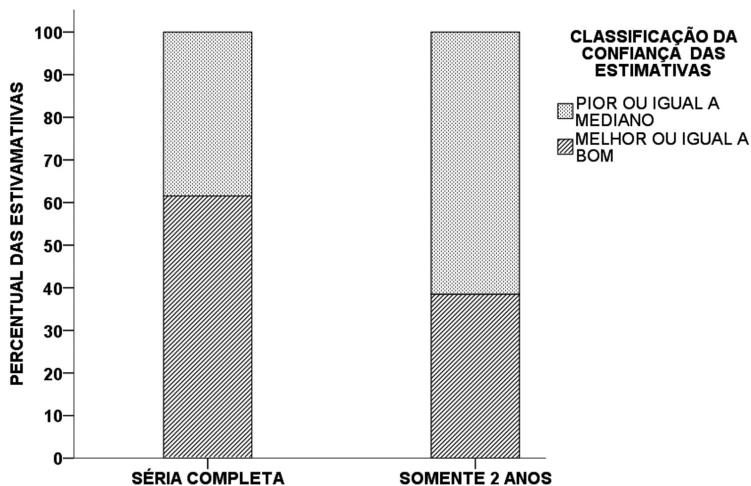


Figura 5 - Classificação da confiança das estimativas dos modelos utilizados para estimativa de chuvas intensas quanto ao comprimento da série de dados com ajuste local

CONCLUSÃO

1. Para todas as localidades estudadas os coeficientes do modelo de Bell assim como os parâmetros das equações IDF ajustados a partir do modelo de Bell apresentaram elevada significância e coeficiente determinação.
2. O modelo de Bell com ajuste dos parâmetros para cada localidade apresentou o melhor desempenho para a maioria dos casos estudados (55%), especialmente quando se utiliza todos os anos da série de dados pluviográficos disponível.
3. Para maioria das estações estudadas, os melhores desempenhos das metodologias são obtidos quando se utiliza mais de dois anos de dados, especialmente quando se utiliza o modelo de Bell com ajustes dos coeficientes para cada localidade (85%). Evidenciando desta forma que, somente na ausência de uma série de dados pluviográficos mais longa, deve-se utilizar este modelo com uma série de apenas dois anos de dados para estudos de chuvas intensas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), pelo auxílio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo aos discentes envolvidos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. O. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; ELTZ, F. L. F.; BORGES, L. E. C. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 178-184, 2011.
- ÁRTICO, B. D. C.; CORDEIRO, J. S. O estudo de áreas vulneráveis a enchentes/: o caso de São José do Rio Preto. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 8, p. 1-13, 2013.
- BACK, A. J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 170-175, 2009.
- BELL, F. G. Generalized rainfall-duration- frequency relationships. **Journal of the Hydraulics Division**, v. 95, n. 1, p. 311-27, 1969.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 1993. p.177-242.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia ciência e aplicação**. p.177-231, 2004. Porto Alegre: UFRGS/ABRH.
- CAMARGO, P. A.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PRUSKI, F. F.; HOLLANDA, M. P. DE; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, n. 3, p. 82-92, 2009.
- CRISTO, S. S. V. DE. Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis - SC. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 76-82, 2002.
- DAEE/CETESB. - **Drenagem urbana**: manual de projeto. São Paulo: DAEE/CETESB, 2o. ed. 1980. p. 466.
- FROELICH, D. C. Short-duration-rainfall intensity equations for drainage design. **Journal of Irrigation and Drainage**, v. 119, p. 814-828, 1993.
- GARCIA, S. S. **Equações de chuvas intensas para sete localidades do Estado de Mato Grosso**. Cuiabá: Dissertação (Mestrado), 2010.
- GARCIA, S. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; STOPA, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 65, p. 575-581, 2010.
- HIDROWEB. Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10/1/2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=>>>. Acesso em: 27 nov. 2013.
- KOBAYASHI, F. Y.; FAGGION, F. H. M.; BOSCO, L. M. DEL; CHIRINÉA, M. L. B. **Drenagem Urbana Sustentável**. São Paulo: Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, 2008.
- MALUTTA, S. Estudo hidrossedimentológico da bacia hidrográfica do rio Negrinho - SC com o modelo SWAT. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ, I. A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em santa maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 475-483, 2001.

MELLO, C. R.; SILVAR, A. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, M. S. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.121-128, 2003.

MIN, S.-K.; ZHANG, X.; ZWIERS, F. W.; HEGERL, G. C. Human contribution to more-intense precipitation extremes. **Nature**, v. 470, n. 7334, p. 378-81, 2011. Nature Publishing Group. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21331039>>. Acesso em: 29/4/2014.

OLIVEIRA, L. F. C. DE; ANTONINI, J. C. ARLOS A.; FIOREZE, A. P.; SILVA, M. A. S. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 35, p. 620-625, 2008.

OLIVEIRA, L. F. C. DE; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. L. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidade no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 1, p. 13-18, 2005.

OLIVEIRA, L. F. C. DE; VIOLA; MARCELO, R. V.; PEREIRA, S.; MORAIS, N. R. DE. Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso , Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 6, n. 3, p. 274-290, 2011.

PINTO, F.R.L. **Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo**: Estimativa e espacialização. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 1999. 70p.

PFASFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas, registradas com pluviógrafos, em 98 postos meteorológicos. Rio de Janeiro: DNOS, 1957. p. 426.

PRUSKI, F. F.; AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, J. M. A. **Conservação de solo e água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 240 p.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos - SP: EESC/USP, 1998.

SIDORCHUK, A. A third generation erosion model: The combination of probabilistic and deterministic components. **Geomorphology**, v. 110, n. 1-2, p. 2-10, set. 2009.

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

SILVEIRA, A. **Curva intensidade-duração-frequência das precipitações extremas para o município de Cuiabá**. Cuiabá: Tecnosan Engenharia, 2006. 12p.

SOBRINHO, V. F. **Aplicação do método das isozonas na obtenção da equações IDF de chuvas intensas dos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Crato - CE**. Juazeiro do Norte: Dissertação (Mestrado), 2011.

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

Recebido em setembro de 2015

Revisado em fevereiro de 2016

Aceito em abril de 2016