

ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS E ESTIMATIVA DA EQUAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE BAMBUÍ-MG

**Daniel Brasil Ferreira Pinto¹ & ; Luiz Henrique Siqueira Resende²; Lídia Gaudêncio Ribeiro Silva³ & Milena Avelar Dornelas⁴*

Resumo – Neste trabalho foram estimadas as equações de chuvas intensas ou as relações intensidade-duração-frequência (*idf*) para o município de Bambuí-MG, empregando o método de desagregação de chuvas que permite estimar chuvas a partir da chuva máxima diária registrada pelo pluviômetro, onde aos dados foram aplicados à distribuição de probabilidade de Gumbell, considerando o método dos momentos e o da máxima verossimilhança. Para estimativa dos parâmetros da equação de i-d-f foi adotado o método de regressão múltipla não linear de Gauss-Newton. Foi adotado os tempos de duração (td) de 5, 10, 15, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos e 5, 10, 20, 30, 50, 100 e 500 anos para os tempos de retorno (TR). Segundo os testes de aderência de Komolgorov-Smirnov e Filliben os dados se ajustam a distribuição de probabilidade com 5% de nível de significância. Os resultados obtidos mostram-se satisfatórios conforme apresentado pelo erro médio quadrático (EM), valor menor que 2,86. A equação de chuvas intensas para o município de Bambuí pode subsidiar cálculos de chuvas de projeto para obras hidráulicas como barragens, drenagem urbana, manejo de irrigação, entre outros, tornando este trabalho de suma importância para o município.

Palavras-Chave – Recursos Hídricos, Chuvas Intensas, Equação IDF.

ANALYSIS OF INTENSE RAIFALL AND ESTIMATE EQUATION ITENSIVITY-DURATION-FREQUENCY FOR BAMBUÍ CITY IN THE MINAS GERAIS STATE

Abstract – In this paper the equations was estimated heavy rainfall or intensity-duration-frequency (*idf*) for the municipality of Bambui-MG, employing the method of disaggregation of rainfall that allows estimating rainfall from rain gauge recorded by daily maximum, where the data were applied to the probability distribution of Gumbell, considering the method of moments and maximum likelihood. To estimate the parameters of equation *idf* method was adopted multiple regression nonlinear Gauss-Newton. It was adopted the time duration (td) of 5, 10, 15, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 and 1440 minutes and 5, 10, 20, 30, 50, 100 and 500 years for the times return (TR). According to tests of adhesion Komolgorov-Smirnov and Filiben test data fit the probability distribution with a 5% level of significance. The results obtained show is satisfactory as shown by mean square error (MS) value less than 2,86. The rainfall equation for the city of Bambuí-MG can subsidize rain design calculations for hydraulic works such as urban drainage, irrigation management, among others, making this work of great importance to the county.

Keywords – Water Resources, Intense Rainfall, IDF Equation.

¹ *Doutor em Engenharia de Água e Solo. Professor Titular no Centro Universitário de Formiga, UNIFOR-MG, Campus Universitário, e-mail: danielbrasil@uniforg.edu.br

² Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária no UNIFOR-MG, Campus Universitário, e-mail: luiz_henrique_siqueira@hotmail.com

³ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária no UNIFOR-MG, Campus Universitário, e-mail: lidiagr@live.com

⁴ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária no UNIFOR-MG, Campus Universitário, e-mail: milena990@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Em hidrologia, a análise de chuvas intensas consiste em um dos produtos mais aplicados, visto que, sua aplicação está associada ao dimensionamento de obras hidráulicas para controle de cheias, abastecimento e condução de água para usos múltiplos, drenagem urbana e do solo e modelagem e controle da erosão do solo. Chuvas intensas são aquelas cuja intensidade ultrapassa determinado valor tomado como referência, podendo variar de poucos minutos até dezenas de horas (PRUSKI et al., 2006; MELLO & SILVA, 2006).

A ocorrência de uma chuva intensa ocasiona uma lâmina precipitada cujo valor é consideravelmente superior ao normal. Esta lâmina pode promover escoamento superficial direto de grande magnitude, além de erosão e transporte de sedimentos (PINTO, 2011). Estes são os problemas que a drenagem do solo, a drenagem superficial e as práticas conservacionistas se propõem a solucionar. Para isto, a chuva intensa é o elemento básico para o dimensionamento destas estruturas.

O estudo de chuvas intensas é realizado localmente pelo ajuste de um modelo teórico de probabilidades a séries históricas de precipitações máximas associadas a diferentes durações. Para esses estudos, quando possível, devem ser usados dados oriundos de pluviogramas para garantir melhor precisão. A maneira mais usual e difundida de estimativa de uma chuva intensa consiste do uso de uma equação de chuvas intensas, que deve ser gerada para locais providos de séries históricas pluviográficas (BACK et al., 2011).

Segundo Villela & Matos (1975) faz necessário o conhecimento da intensidade, duração e frequência de uma chuva intensa. Uma das formas de relacionar essas características da chuva é através da equação de chuvas intensa, representada por:

$$i = \frac{K TR^a}{(t_d + b)^c} \quad (1)$$

Onde:

i = intensidade máxima média de precipitação (mm/h);

TR = tempo de retorno (anos);

t_d = tempo de duração; e

K , a , b , c = parâmetros de ajuste relativos à localidade.

A forma de determinação dos parâmetros da equação de chuva intensa normalmente é feita empregando-se o método de regressão múltipla não linear de Gauss-Newton com base nas informações extraídas de pluviogramas. Entretanto a determinação da equação, segundo Silva et al. (1999), Martinez Júnior (1999), Costa & Brito (1999), Mello & Silva (2006), apresenta grandes dificuldades, em função da escassez de registros pluviográficos e de um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação dos dados.

Por esta razão algumas metodologias foram desenvolvidas no Brasil para obtenção de chuvas de menor duração a partir de dados pluviométricos. Dentre essas metodologias destacam-se o método isozonas proposto por Torrico (1975), método de desagregação de chuvas proposto por DAEE-CETESB (1980), método de Bell (1969) descrito em Tucci (2007), entre outros.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, a estimativa da equação de chuvas intensas para o município de Bambuí, estado de Minas Gerais, através da metodologia de desagregação da chuva de 24 horas.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O município de Bambuí localiza-se no centro-oeste mineiro próximo a Serra da Canastra, com uma área de aproximadamente 1454 km² e uma população de 22.709 habitantes. Tem como principal atividade econômica a agropecuária, sendo as culturas de café, milho e cana as de maior expressão dentro do município (IBGE, 2010). Na FIGURA 1 apresenta-se a localização do município de Bambuí dentro do estado de Minas Gerais.



Figura 1 - Localização do município de Bambuí dentro do estado de Minas Gerais.

O clima na região é clima Cwa segundo classificação Köppen, caracterizado como temperado úmido com invernos secos e verões quentes. A temperatura média anual está em torno de 20,7°C, tendo, no mês mais quente e no mês mais frio, temperaturas médias de 28,5°C e 14,6°C respectivamente (INMET, 2013).

Levantamento de dados hidrológicos

Os dados foram obtidos através de observações em campo com auxílio de um pluviômetro tipo ville de Paris localizado na Fazenda Santa Maria nas coordenadas geográficas 20°07'21,5" de latitude Sul e 46°00'41,2" de longitude Oeste, monitorados diariamente, conforme apresentado na FIGURA 2a. A série de dados compreende um período de janeiro de 1992 a abril de 2013, totalizando mais de 21 anos de série histórica. O município apresenta uma precipitação média anual em torno de 1825 mm, sendo entre novembro e março, o período de maior ocorrência de precipitações (FIGURA 2b).

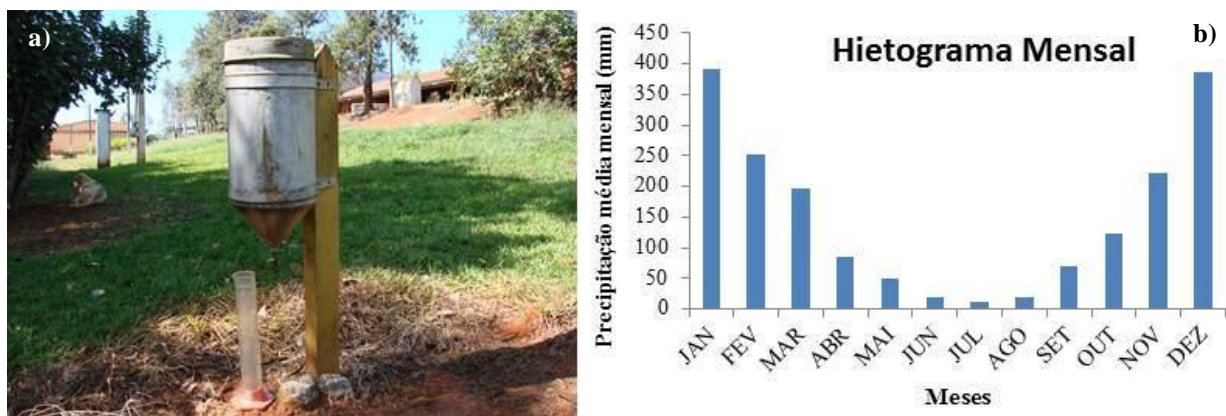


Figura 2 - a) Pluviômetro instalado na Fazenda Santa Maria, b) Hietograma mensal.

Análise da homogeneidade dos dados hidrológicos

Para verificar a homogeneidade dos dados foi utilizado dados disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) das estações pluviométricas listadas na TABELA 1.

Tabela 1 - Postos pluviométricos utilizados na análise de dupla massa.

Código	Nome	Município	Responsável	Operadora
2045001	BambuÍ	BambuÍ	ANA	CPRM
2045023	BambuÍ	BambuÍ	INMET	INMET
2045032	BambuÍ	BambuÍ	COPASA	COPASA
2046007	Fazenda Ajudas	BambuÍ	ANA	CPRM
2046010	Porto Sabino	BambuÍ	ANA	ANA
2046017	Fazenda Ajudas	BambuÍ	CEMIG	CEMIG

Fonte: ANA (2013).

A homogeneidade dos dados foi verificada pela metodologia descrita por Tucci (2012, p. 185) e Villela & Mattos (1975, p.44). Estes autores indicam a utilização da curva dupla acumulativa ou curva de dupla massa. Na FIGURA 3 apresenta-se a curva de dupla massa dos dados adotados neste estudo com a média das estações na região.

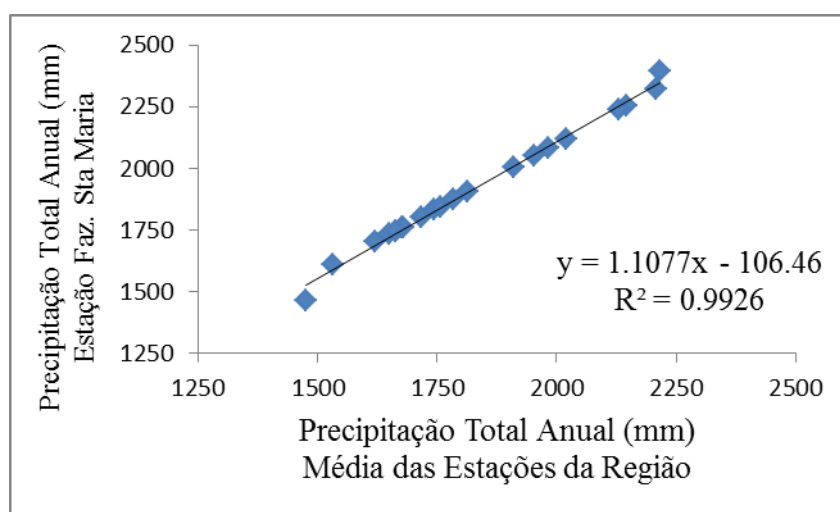


Figura 3 - Curva de dupla massa.

Distribuição de probabilidades

A variação da intensidade com a frequência está relacionada com a probabilidade de ocorrência ou superação do evento chuva, obtida, portanto, através de uma função de distribuição de probabilidade, que permite a extrapolação para um número maior de anos de observação.

Em geral, as distribuições de valores extremos de grandezas hidrológicas ajustam-se satisfatoriamente a distribuição de Gumbel (VILLELA & MATOS, 1975), função esta aplicada neste trabalho. Segundo Naghettini e Pinto (2007) a Função Densidade de Probabilidade (FDP) de Gumbel é dada por:

$$FDP = \alpha \cdot e^{\{-\alpha(x-\mu) - e^{-\alpha(x-\mu)}\}} \quad (2)$$

Integrando a FDP tem-se a Função Cumulativa de Probabilidade (FCP) dada por:

$$FCP = e^{-s^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (3)$$

A distribuição Gumbel apresenta os parâmetros de uma distribuição de probabilidades (α e μ), que neste trabalho foram estimados por dois métodos distintos: Método dos Momentos (MM) e Método da Máxima Verossimilhança (MV). Para o Método dos Momentos temos (NAGHETTINI & PINTO, 2007):

$$\alpha = \frac{1,2826}{s} \quad (4)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,45.s \quad (5)$$

Onde \bar{x} e s são, respectivamente, a média e desvio padrão da série histórica.

Para o Método da Máxima Verossimilhança tem-se (NAGHETTINI & PINTO, 2007):

$$\mu = -\alpha \cdot \text{Ln} \left[\frac{1}{n} \cdot \sum \left(-\frac{x_i}{\alpha} \right) \right] \quad (6)$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\sum x_i}{n} - \frac{\sum s \left(-\frac{x_i}{\alpha} \right)}{\sum \left(-\frac{x_i}{\alpha} \right)} \quad (7)$$

Onde n é o tamanho da amostra.

Testes de aderência estatística para a distribuição de probabilidade de Gumbel

Os testes de aderência analisam se a distribuição de probabilidade representa bem a relação entre valores do evento e a respectiva frequência de ocorrência dos mesmos. Para obter esta comprovação, foram aplicados os testes de Kolmogorov-Smirnov e o Teste de Filliben (NAGHETTINI & PINTO, 2007; TUCCI, 2007; MELLO & SILVA, 2006).

Segundo Naghettini e Pinto (2007) o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov é um teste não paramétrico, cuja estatística de teste tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas. Consiste fundamentalmente na análise da máxima diferença entre a frequência observada e a frequência calculada pela distribuição de probabilidades. Se esta diferença for menor que a estatística nula do teste, significará que o modelo de distribuição é adequado às séries históricas (NAGHETTINI & PINTO, 2007; MELLO & SILVA, 2006).

$$D_{n,\alpha} = \frac{\sup}{-\infty < x < \infty} |F_n(x) - F_x(x)| \quad (8)$$

Outro teste adotado neste trabalho foi o teste de Filliben. Este teste foi introduzido por Filliben em 1975 (FILLIBEN, 1975), para testar (verificar) a hipótese H_0 de normalidade, tendo sido adaptada para outras distribuições sob a condição de H_0 . Isto significa que o teste verificará se uma dada amostra $y_1, y_2, y_3, \dots, y_N$, extraída de uma população Y com distribuição de probabilidade $F(x)$ também poderá ser representada pela mesma distribuição. Para isto, o teste de aderência estimará o coeficiente de correlação (r) entre as observações y_i e os quantis teóricos W_i . Os valores de W_i são obtidos pela inversa da FCP, ou seja:

$$W_i = F_x^{-1}(1 - q_i) \quad (9)$$

Sendo F_x^{-1} a função inversa da distribuição F (x). Isto significa obter o valor da variável hidrológica associada à frequência observada q. A frequência observada q_i é obtida pela seguinte equação (NAGHETTINI & PINTO, 2007):

$$q_i = \frac{i-a}{N+1-2a} \quad (10)$$

Sendo i a posição ocupada pelo valor na série amostrada, de preferência em ordem crescente, N é o tamanho da amostra e a um parâmetro a ser adotado de acordo com a distribuição em teste. Para a distribuição Normal e log-normal, a = 0,375; para Weibull, a = 0; Gumbel, a = 0,44; GEV e outras, a = 0,40 (STEDINGER *et al.*, 1993, citado por NAGHETTINI & PINTO, 2007). O coeficiente de correlação entre W_i e y_i é dado por:

$$r_{calc} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}) \cdot (W_i - \bar{W})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (W_i - \bar{W})^2}} \quad (11)$$

Este valor deverá ser comparado a um valor crítico de r, considerado a distribuição em questão. Se $r_{calc} > r_{critico}$, a amostra poderá ser representada pela distribuição.

Ajuste da equação de chuvas intensas

O ajuste da equação de chuvas intensas para o município de Bambuí-MG, foi pelo método de desagregação de chuvas descrito por DAEE-CETESB (1980). Esta metodologia emprega coeficientes para transformar chuvas de 24 horas em chuvas de menor duração. Os coeficientes de transformação encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes de desagregação da chuva de 24 horas em menores tempos de duração.

(h_{t1}/h_{t2})	h_{24}/h_{dia}	h_{12}/h_{24}	h_{10}/h_{24}	h_8/h_{24}	h_6/h_{24}	h_1/h_{24}
K	1.14	0.85	0.82	0.78	0.72	0.42
(h_{t1}/h_{t2})	$h_{0,5}/h_1$	h_{25}/h_{30}^*	h_{20}/h_{30}	h_{15}/h_{30}	h_{10}/h_{30}	h_5/h_{30}
K	0.74	0.91	0.81	0.7	0.54	0.34

Fonte: DAEE-CETESB (1980).

Para estimativa dos parâmetros da equação idf foi adotados os seguintes tempos de duração (td) e tempo de retorno (TR): de 5, 10, 15, 25, 30, 60, 360 480, 600, 720 e 1440 minutos e 5, 10, 20, 30, 50, 100 e 500 anos respectivamente. Com isso gerou-se pontos suficientes na curva intensidade-duração para os respectivos tempos de retorno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição Gumbell se mostrou adequada na estimativa dos valores de precipitação ao nível de significância de 1% e 5% tanto por Kolmogorov-Smirnov quanto pelo teste de Filliben conforme pode ser verificado pelo Gráfico 1. No Gráfico 1 apresenta-se o ajuste da distribuição de probabilidade.

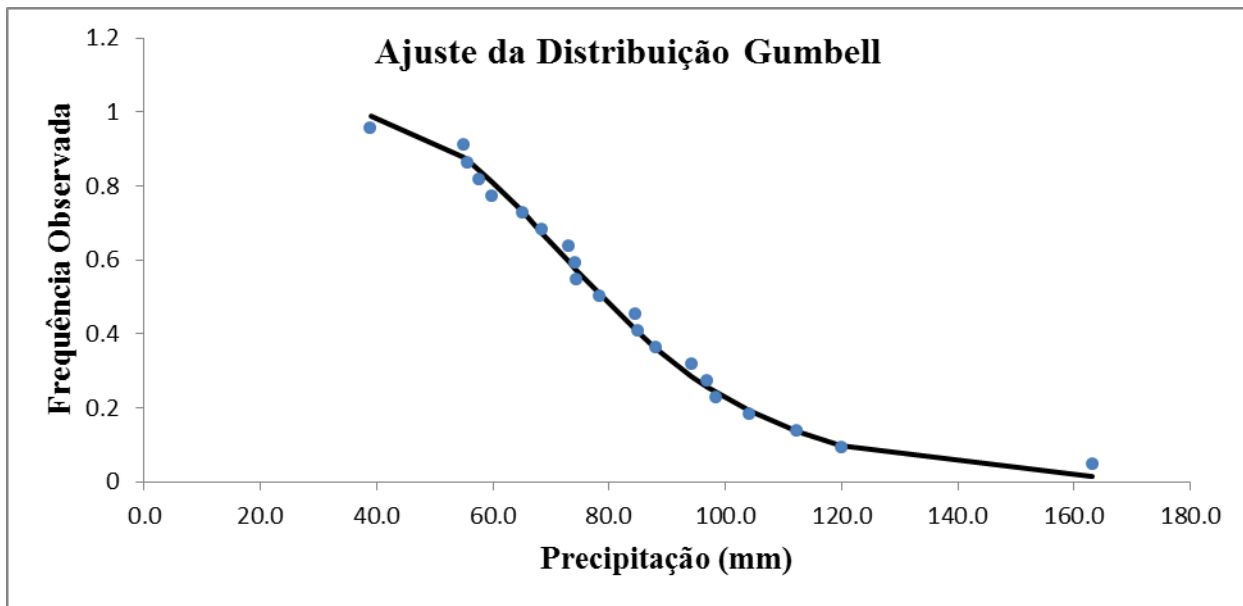


Gráfico 1 – Ajuste da Distribuição Gumbell para valores máximos

Após o ajuste da distribuição de probabilidades, adotou-se o método de regressão não linear múltipla de Gaus-Newton para estimativa dos parâmetros da equação de idf. A equação de chuvas intensas gerada encontra-se abaixo:

$$i = \frac{860,573 * TR^{0,154}}{(td + 9,787)^{0,724}} \quad (12)$$

A equação gerada apresenta um excelente ajuste comprovado pelo coeficiente de correlação ($R^2=0,99$). O erro médio quadrático, considerando todos os tempos de duração e de retorno foi abaixo de 2,86%, fato este que comprova a boa estimativa da equação de idf. Oliveira et al. (2000) geraram os parâmetros da equação de chuvas intensas para diversas localidades do estado de Goiás. Estes autores encontraram erros médios na faixa de 11%. O fato de Oliveira et al (2000) terem encontrado erros maiores se deve ao fato da estimativa dos parâmetros através de linearização da equação idf e neste trabalho a estimativa por regressão múltipla não linear de Gaus-Newton. Segundo Mello & Silva (2006) o método de Gaus-Newton é o que melhor estima os parâmetros da equação de idf.

A tabela 3 apresenta a estimativa da intensidade de precipitação para o município de Bambuí com um tempo de duração de 1440 minutos e 5, 10, 30, 30, 50, 100 e 500 anos de tempo de retorno.

Tabela 3 - Intensidade de precipitação estimada através da equação idf.

Precipitação (mm)	Int. Obs(mm/h)	TR	td (min)	Int. Est. (mm/h)	EM
117.45	4.89	5	1440	5.66	0.59
135.80	5.66	10	1440	6.30	0.41
153.40	6.39	20	1440	7.01	0.38
163.53	6.81	30	1440	7.46	0.41
176.19	7.34	50	1440	8.07	0.53
193.26	8.05	100	1440	8.97	0.85
232.72	9.70	500	1440	11.50	3.25

Int. Obs – Intensidade de precipitação observada; TR – Tempo de retorno; td – Tempo de duração; Int. Est.- Intensidade de precipitação estimada; EM – Erro médio quadrático.

Conforme pode ser observado pela Tabela 3 o erro quadrático médio foi baixo independente do tempo de retorno adotado mostrando que a equação gerada é confiável. Machado e Silva (2011) estudaram as chuvas intensas no entorno do lago de FURNAS, MG. Para o município de Bambuí, estes autores encontraram os seguintes parâmetros: $K = 978,2$; $b = 17,83$, $a = 0,187$, $c = 0,722$. A equação gerada por estes autores superestima os valores de intensidade de precipitação em relação a equação gerada neste trabalho. Esta estimativa varia de 2,5% a 17,8% dependendo do tempo de duração e do tempo de retorno.

Este trabalho é suma importância para o município visto que a partir da equação de chuvas intensas gerada, é possível estimar chuva de projeto para qualquer obra hidráulica que venha ocorrer em Bambuí. Como exemplo cita-se o projeto de drenagem urbana, no qual segundo Mello & Silva (2006), adota-se um tempo de retorno de 100 anos. Para o projeto de drenagem urbana a intensidade de precipitação obtida varia de 8,97 mm/h (td=1440 minutos) a 248,54 mm/h (td=5 minutos).

CONCLUSÃO

- A distribuição de Gumbell foi adequada aos níveis de significância de 1% e 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e pelo teste de Filliben.
- A metodologia de desagregação de chuvas mostra-se eficiente na geração dos parâmetros da equação idf.
- A equação gerada por regressão múltipla não linear de Gaus-Newton apresentou EM inferior a 2,86.
- Os parâmetros da equação de idf encontrados foram: $K = 860,573$; $a = 0,154$; $b = 9,787$; $c = 0,724$.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Centro Universitário de Formiga - UNIFOR-MG pelos recursos disponibilizados para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br> Acesso em: 22/04/2013.
- DAEE-Cetesb. 1980. **Drenagem urbana: manual de projeto**. DAEE/Cetesb, São Paulo, SP. 466p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE Cidades**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=mg>. Acesso em: 21/04/2013.
- MACHADO, M. A. de M.; SILVA, E. D. B. da. Estimativa de chuvas intensas para o oeste de Minas Gerais e o entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Furnas. **Conexão Ciência**. v. 6, n. 2 (2011).
- MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. **Princípios de hidrologia**. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 2006. 140p. Apostila da disciplina DER – 507 Hidrologia Aplicada.
- OLIVEIRA, L. F. C. *et al.* – **Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas**. Pesquisa Agropecuária Tropical, 30(1): 23-27, jan./jun. 2000.
- PINTO, D. B. F. **Aplicação do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação hidrossedimentológica em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira**. 2011. 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- PRUSKI, F. F.; TEIXEIRA, A. F.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, M. L. N. **Dimensionamento de sistemas hidroagrícolas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006.