

COMPARAÇÃO DE EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA LOCALIDADES DO ESTADO DE SÃO PAULO

Sergio Nascimento Duarte¹; Jarbas Honório de Miranda²; Everaldo Moreira da Silva³ e Carlos José Gonçalves de Souza Lima⁴

RESUMO: Dada a importância das equações de chuvas intensas para o dimensionamento de obras de controle de enxurradas, esse trabalho teve como objetivo comparar as alturas precipitadas geradas pelas equações de Martinez Junior e Magni (1999) com aquelas obtidas com o programa PLUVIO 2.1, considerando as primeiras como padrão. Foram comparadas chuvas intensas de 10, 20, 30, 60, 120 e 1440 minutos, e períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos, para 30 localidades do Estado de São Paulo. Os resultados revelaram que, principalmente para as chuvas de 24 horas e período de retorno de 100 anos, houve desvios importantes para 4 postos localizados na região central e a leste do Estado. Para as demais localidades o programa apresentou um bom desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: relações intensidade-duração-frequência, precipitações, escoamento superficial.

COMPARING RAINFALL INTENSITY-DURATION RELATIONSHIPS FOR SÃO PAULO STATE SITES

ABSTRACT: Rainfall intensity durations relationships are extremely important in the design of systems for mitigating runoff losses. The objective of this work was to compare rainfall depths generated by the PLUVIO 2.1 software, with depths from the standard intensity duration curves developed by Martinez Junior and Magni (1999). We compared rainfall intensities of 10, 20, 30, 60, 120 and 1440 minute durations for 2, 5, 10, 50 and 100 year return periods for 30 sites in São Paulo state. The results showed that PLUVIO was effective, except in predicting the 24 hours rainfall from 100 year return period events in four locations in the central and eastern regions of the state.

KEYWORDS: intensity-duration-frequency relations, rainfall, surface runoff

INTRODUÇÃO

As chuvas intensas são definidas como o conjunto de chuvas originadas de uma mesma perturbação meteorológica, cuja intensidade ultrapassa certo valor (chuva mínima). Essas perturbações podem variar de minutos até alguma dezena de horas (PRUSKI et al., 2006).

As equações de chuvas intensas são fundamentais para a estimativa do escoamento superficial, em situações onde não há dados medidos de vazão, ou quando a bacia hidrográfica está sofrendo processos de mudanças (OLIVEIRA et al., 2008).

¹ Prof. Dr. Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP Av. Pádua Dias, 11, CEP 13 418-900 Piracicaba-SP, (19) 3447- 8543, e-mail: snduarte@esalq.usp.br

² Prof. Dr. Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP Av. Pádua Dias, 11, CEP 13 418-900 Piracicaba-SP, (19) 3429-4283, e-mail: jhmirand@esalq.usp.br

³ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, e-mail: everaldo@usp.br

⁴ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, e-mail: cjgslima@esalq.usp.br

Por intermédio dos modelos chuva-vazão é possível dimensionar uma série de obras hidráulicas como drenos, bueiros, pontilhões, obras contra cheias e erosão hídrica como os terraços agrícolas e canais escoadouros, galerias de água pluviais, vertedores de barragens, entre outros (OLIVEIRA et al. 2005; PRUSKI et al., 2006; ANA, 2009).

Existem várias fontes de dados de relações intensidade-duração-frequência para o Estado de São Paulo, com o destaque para o trabalho de Martinez Júnior e Magni (1999), convênio do DAEE com a Escola Politécnica de São Paulo, que apresenta equações para 30 localidades do Estado, baseadas em séries em geral superiores a 20 anos. Essas expressões se apresentam segundo a equação (1):

$$i = A(t + B)^C + D(t + E)^F \left\{ G + H \cdot \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{T}{(T - 1)} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

em que:

i - intensidade média da precipitação intensa, mm min⁻¹;

t - duração da precipitação, min;

T - período de retorno, anos; e

A, B, C, D, E, F, G, H - constantes de ajuste locais.

Uma segunda alternativa, que vem facilitando bastante os dimensionamentos, é o Programa PLUVIO 2.1, elaborado pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Alguns trabalhos têm sido conduzidos visando a determinação de equações de chuvas intensas para diversas localidades do Brasil. Segundo Pruski (2006), alguns pesquisadores determinaram elevado número de equações de chuvas intensas para localidades dos seguintes estados: Bahia, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Tocantins. Os valores determinados para os parâmetros de todas estas equações estão disponíveis no banco de dados do PLÚVIO 2.1.

Para tal, foi desenvolvida uma metodologia para obtenção de equações de chuvas intensas em localidades em que essa não é conhecida, adaptada de Pruski et al. (1997), a qual está fundamentada no uso de um interpolador que permite obter os parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação a partir das informações disponíveis. Dessa forma, é possível quantificar os parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para qualquer localidade desses estados e, conseqüentemente, obter a própria equação de chuvas intensas para essa área. Segundo Pruski (2006), nessa interpolação, consideram-se apenas as informações inerentes às equações de chuvas intensas disponíveis, não sendo feita a análise do efeito da altitude do local e da

presença de qualquer outro fator que possa ser condicionador da precipitação (presença de serras, represas, oceano etc.) nos valores dos parâmetros de ajuste da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação. A interpolação é realizada, independentemente, para cada um dos parâmetros desta equação (K, a, b, c), sendo utilizadas na interpolação todas as informações das localidades dos estados em que as equações são conhecidas. O fator de ponderação empregado na consideração de cada localidade corresponde ao inverso da quinta potência da distância entre as localidades em que os parâmetros são conhecidos e o local (latitude e longitude) para o qual a equação é pretendida.

Assim, tendo em vista a maior facilidade de se operar o Programa PLUVIO 2.1, e considerando a maior robustez dos dados de Martinez Junior e Magni (1999), esse trabalho teve como objetivo comparar essas duas fontes de valores de precipitação intensa, tomando a segunda como padrão.

MATERIAL E MÉTODOS

Modelo Pluvio 2.1

O software Pluvio 2.1 espacializa os dados de chuvas intensas pelo método do inverso da quinta potência da distância, por ser esta uma das 28 combinações entre formas de interpolação que apresentaram melhores resultados na estimativa da intensidade máxima média de precipitação (CECÍLIO e PRUSKI, 2003). Segundo esses autores o erro médio percentual é igual a 19,37% e erro máximo igual a 88,34%, valores aceitáveis em se tratando de chuvas intensas. (Figura 1).



FIGURA 1. Tela do Programa Pluvio 2.1

Além disso, o uso da quinta potência da distância faz com que localidades mais próximas às aquelas de interesse tenham maior peso na interpolação dos parâmetros da equação, uma vez que são consideradas todas as localidades em que a equação de chuvas intensas é conhecida nos Estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Tocantins (PRUSKI, 2006).

Dessa forma, é permitido gerar a equação de chuva intensa para qualquer coordenada do Estado. Entretanto, seus dados de base (SILVA et al., 1999) não possuem séries tão longas quanto o trabalho de Martinez Junior e Magni (1999). As expressões do programa PLUVIO 2.1 seguem o modelo apresentado na equação (2):

$$i = \frac{k T^a}{(t + b)^c} \quad (2)$$

em que:

i - intensidade média da precipitação intensa, mm h⁻¹;

t - duração da precipitação, min;

T - período de retorno, anos; e

k, a, b, c - constantes de ajuste locais.

Localidades do Estado de São Paulo

Foram calculadas, pelas equações (1) e (2), citadas anteriormente, as alturas precipitadas para as 30 localidades apresentadas por Martinez Junior e Magni (1999) (Figura 2), contemplando 6 durações e 5 períodos de retorno, totalizando 30 precipitações para cada localidade. As durações foram de 10, 20, 30, 60, 120 e 1440 minutos; os períodos de retorno foram de 2, 5, 10, 50 e 100 anos.



Figura 2. Localidades do Estado de São Paulo contempladas no estudo

As precipitações calculadas com as equações geradas pelo PLUVIO 2.1 foram comparadas com as de Martinez Junior e Magni (1999) por meio de gráficos de dispersão, utilizando regressão linear, passando pela a origem, e coeficiente de determinação (R^2).

Com o objetivo de avaliar o desvio da reta de regressão em relação à reta 1:1, foi calculado o índice d de Willmott para as 30 localidades dado pela equação (3). Esse índice assume o valor máximo de 1,0 quando a reta de regressão coincide com a reta 1:1.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (E_i - P_i)^2}{\sum (|E_i - P| + |P_i - P|)^2} \right] \quad (3)$$

em que:

E_i - Valor estimado pelo PLUVIO 2.1;

P_i - Valor padrão dado por Martinez Junior e Magni (1999); e

P - média dos valores padrão.

Foi calculado o índice de concordância c, proposto por Allen et al.(1998), como o produto do índice c de Willmott e o coeficiente de correlação R. Foram considerados aceitáveis os gráficos em que o PLUVIO 2.1 gerou dados cujo índice c foi maior que 0,85, o que indica um desempenho ótimo, segundo Acosta et al.(2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores de coeficiente angular da reta de regressão e de coeficiente de determinação para as 30 localidades contempladas. Observando-se a Tabela 1 verifica-se que das 30 localidades analisadas apenas 4 se encontram fora da faixa de adequação estabelecida ($c < 0,85$), sendo as 4 por superestimativa das precipitações. Na Figura 3 é apresentada a localização dessas estações. Pode-se observar que as mesmas estão localizadas no centro e a leste do Estado de São Paulo.

TABELA 1. Localidades analisadas, coeficiente angular da reta de regressão (a), índice de Willmott (d), índice de Allen (1998) (c) e coeficiente de determinação (R^2)

Localidade	a	d	c	R^2
Andradina	1,0662	0,9876	0,9708	0,9663
Araraquara	1,0992	0,9704	0,9375	0,9333
Bauru	1,0946	0,9617	0,9115	0,8984
Botucatu	1,4800	0,8589	0,8158*	0,9022
Bragança Paulista	0,9704	0,9932	0,9799	0,9734
Cachoeira Paulista	1,4465	0,8392	0,7025*	0,8695
Campos do Jordão	0,8047	0,9346	0,8645	0,8557
Cubatão	1,0196	0,9885	0,9676	0,9582
Eldorado	1,0846	0,9665	0,9201	0,9062
Garça	1,5249	0,7592	0,6531*	0,7401
Iacri	1,1347	0,9748	0,9517	0,9532
Iguape	1,0959	0,9697	0,9272	0,9142
Itararé	0,8658	0,9581	0,9272	0,9145
Itu	1,1560	0,9617	0,9316	0,9383
Leme	1,0280	0,9746	0,9325	0,9154
Lins	0,8204	0,9525	0,9218	0,9366
Martinópolis	0,9713	0,9770	0,9545	0,9545
Piracicaba	1,1810	0,9555	0,9221	0,9313
Piraju	1,1056	0,9910	0,9879	0,9937
Salto Grande	0,9960	0,9948	0,9837	0,9779
S. José do Rio Pardo	1,5239	0,8472	0,8001*	0,8921
S. José do Rio Preto	1,1817	0,9315	0,8729	0,8781
São Paulo	1,1518	0,9504	0,8729	0,9044
Serrana	1,0442	0,9780	0,9426	0,9290
Tapiraí	0,9695	0,9871	0,9632	0,9521
Tatuí	1,3737	0,9179	0,8933	0,9472
Taubaté	1,0151	0,9780	0,9386	0,9211
Teodoro Sampaio	1,0883	0,9848	0,9695	0,9692
Ubatuba	0,8494	0,9804	0,9677	0,9744
Votuporanga	1,1820	0,9658	0,9506	0,9687

* índice c de Allen(1998) menor que 0,85



Figura 3. Localidades do Estado de São Paulo onde não houve um bom desempenho do Programa PLUVIO 2.1

Por meio da Figura 4A pode-se verificar a comparação das chuvas para a estação de Garça, onde ocorreu a maior superestimativa (52,49%). Pode-se notar que os maiores desvios se deram para as maiores alturas precipitadas, ou seja, as chuvas de 1440 minutos. Isto significa que o uso do PLUVIO 2.1 para o dimensionamento de estruturas cuja área de contribuição tenha um tempo de concentração pequeno não é muito problemático. Enquadram-se nesse caso os terraços em desnível e as galerias de água pluvial (PINTO et al., 1996). Já para estruturas com área de captação grande, como vertedores de barragens, bueiros e outras travessias, o uso do PLUVIO 2.1, para essas localidades, pode encarecer as obras.

Na Figura 4B é apresentada a correlação para a localidade onde ocorreu a maior subestimativa (19,53%), ou seja, a localidade de Campos do Jordão. Verifica-se que também para essa localidade os maiores desvios se deram para as chuvas de 1440 minutos.

Na Figura 4C pode-se observar a correlação que apresentou o melhor ajuste ocorrido, que foi obtido para localidade de Taubaté. Nesse caso a reta 1:1 praticamente coincide com a reta de regressão.

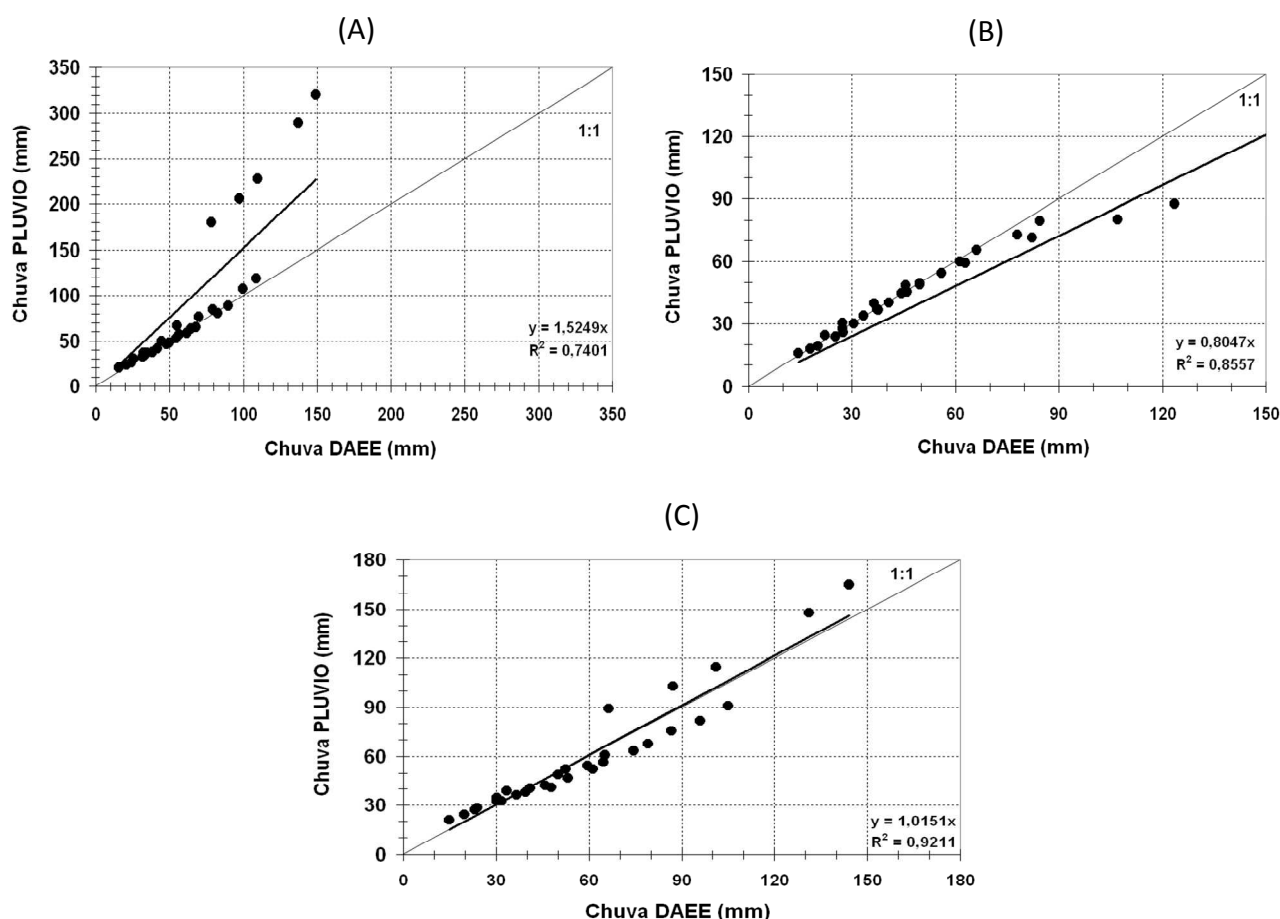


FIGURA 4. Gráficos de dispersão entre as precipitações calculadas pela equação do DAEE (MARTINEZ JUNIOR e MAGNI, 1999) e as calculadas com o programa PLUVIO 2.1. Em (A) a maior superestimativa (Cidade de Garça); em (B) a maior subestimativa (Cidade de Campos do Jordão) e em (C) o coeficiente angular mais próximo da unidade (Cidade de Taubaté).

CONCLUSÕES

O programa PLUVIO 2.1 pode ser utilizado para o Estado de São Paulo, com exceção das regiões central e leste, onde existem desvios para as precipitações geradas, principalmente para as de duração de 24 horas e período de retorno de 100 anos. Nessas regiões o programa superestima as precipitações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia de Irrigação pelo apoio fornecido.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, J.F.; CARDOZO, N.P.; MARIN, F.R. Avaliação do desempenho de um modelo de estimativa de saldo de radiação em algumas culturas. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Belo Horizonte. CDROM, 2009.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56)

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Hidro Web: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em 01 de dezembro de 2009.

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.501-504, 2003.

MARTINEZ JUNIOR, F.; MAGNI, N.L.G. Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo. Convênio Departamento de Águas e Energia Elétrica e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999. 125 p.

OLIVEIRA, L.F.C. et al. Intensidade-duração-frequência de chuvas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, n.35, p.13-18, 2005.

OLIVEIRA, L.F.C.; ANTONINI, J.C.A.; GRIEBELER, N.P. Estimativa de chuvas intensas para o Estado de Goiás. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.1. p.22-33, 2008.

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.

PRUSKI, F.F.; CALIJURI, M.L.; BHERING, E.M.; SILVA, J.M.A. Metodologia baseada no uso de sistemas de informações geográficas para obtenção de equações de chuvas intensas em qualquer

localidade do Estado do Paraná. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.5, n.3, p.254-265, 1997.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; TEIXEIRA, A.F.; CECÍLIO, R.A.; SILVA, J.M.A.; GRIEBELER, N.P. Hidros. Dimensionamento de sistemas hidroagrícolas. Editora UFV. Viçosa. 2006. 259 p.

SILVA, D.D. et al. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência para o Estado de São Paulo. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.7, n.2, p.70-87, 1999.