

# VAZÃO DE PROJETO RESULTANTE DE DOIS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NA LOCALIDADE DE PELOTAS/RS

*Rita de Cássia Fraga Damé<sup>1</sup>; Claudia Fernanda Almeida Teixeira<sup>2</sup>; Eduardo Jacob Lopes<sup>3</sup>; Antony Severo Winkler<sup>4</sup>; José Luiz Costa Rosskoff<sup>5</sup>*

**RESUMO** --- O objetivo do presente trabalho foi quantificar a vazão máxima de escoamento superficial resultante de dois eventos extremos de chuva (07/05/2004–216,8 mm; 28/01/2009–600 mm), na localidade de Pelotas/RS, e compará-las com a obtida a partir da série histórica (1921 a 2008) de chuva máxima diária. Foi estimada a chuva de projeto, utilizando-se a técnica da desagregação de chuva diária, a partir dos dados de precipitação máxima diária anual da série histórica, no período de 87 anos (1921 a 2008), bem como dos eventos extremos ocorridos naquela localidade. Para a estimativa do hidrograma de projeto, bem como da vazão máxima foi utilizado o método do SCS (1972). A quantificação dos desvios encontrados entre os valores históricos e dos eventos foi obtida mediante a equação do Erro Relativo Médio Quadrático (RMS). Os resultados levaram a concluir que: a) a vazão máxima resultante dos eventos de 07/05/2004 e 28/01/2009 foi de  $37,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $399,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. Os valores de vazão máxima decorrentes desses eventos, se comparados com os da série histórica ( $0,82 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), superam em 42 e 1726%; b) a equação de chuva, atualmente utilizada em Pelotas/RS, subestima as precipitações de projeto.

**ABSTRACT** --- The objective of this study was to quantify the peak runoff flow of the two extreme events of rainfall (07/05/2004-216, 8mm; 28/01/2009-600 mm), in the locality of Pelotas/RS, and compare with that obtained from the historical series (1921 to 2008) of maximum daily rainfall. The rain storm was estimated, using the daily rain disaggregation method based on data from the annual maximum daily precipitation time series over the period of 87 years (1921 to 2008) and the extreme events occurring in the area. The SCS (1972) method was used for estimate the design hydrograph and peak runoff flow. The performance of the predictive model was tested by the root mean square error (RMSE). The results indicate that the maximum flow from the events of 07/05/2004 and 28/01/2009 were  $37.41 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  and  $399.31 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , respectively. The values of the peak runoff flow resulting of these events, when compared with the historical series ( $0.82 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

---

<sup>1</sup> Professor Adjunto, Universidade Federal de Pelotas – [cfeixei@ig.com.br](mailto:cfeixei@ig.com.br)

<sup>2</sup> Professor Adjunto, Universidade Federal de Pelotas – [ritah2o@hotmail.com.br](mailto:ritah2o@hotmail.com.br)

<sup>3</sup> Professor Adjunto, Universidade Federal de Pelotas – [jacob.lopes@ufpel.edu.br](mailto:jacob.lopes@ufpel.edu.br)

<sup>4</sup> Professor Associado, Universidade Federal de Pelotas – [rosskoff@ufpel.edu.br](mailto:rosskoff@ufpel.edu.br)

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Pelotas – [antonionysw@hotmail.com](mailto:antonionysw@hotmail.com)

<sup>1</sup>), exceed in 42 and 1726%. Finally, the equation of rain, currently used in Pelotas/RS, underestimates the rain storm.

**Palavras-Chave:** Chuva intensa, desagregação da chuva diária, inundação.

## 1 - INTRODUÇÃO

As chuvas intensas são responsáveis pela erosão dos solos e pela concentração de águas pluviais em vales e zonas ribeirinhas, e estas são definidas como a ocorrência extrema de precipitação com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica. As conseqüências que advém destes eventos podem ser a erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, problemas de operação de obras hidráulicas, entre outros (Zahed Filho & Marcellini, 1995).

A importância do estudo das chuvas intensas reside no fato de que através destas, é possível o conhecimento indireto da vazão de enchente de uma bacia, mediante o uso de modelos de transformação chuva-vazão, visto que dados históricos de vazão referente ao local da obra, não são facilmente disponibilizados, principalmente em pequenas bacias hidrográficas (Genovez, 2001), devido ao seu alto custo de obtenção (Damé, 2001). A conseqüência da escassez de dados reflete-se na qualidade dos projetos, ocasionando obras super ou subdimensionadas, o que representa em última análise, um desperdício econômico, ou, o que é pior, perda de vidas humanas, caso as obras venham a falhar (Tucci et al., 1995).

A estimativa da vazão com determinada freqüência de ocorrência é uma informação básica para o dimensionamento de qualquer obra hidráulica, como por exemplo, canais de drenagem agrícola, bueiros de estradas vicinais, vertedouros de açudes, entre outras.

A ocorrência de um evento extremo, bem como os fatos dele decorrentes, leva a questionar: (a) as ferramentas que se têm disponíveis para a determinação da vazão de projeto, nos processos de transformação chuva-vazão e, (b) o período de retorno para o qual as obras são dimensionadas. Na localidade de Pelotas/RS há um histórico de eventos extremos; em 1956 a precipitação máxima diária anual foi de 210 mm na região da Cascata; no mês de maio de 2004 ocorreu uma chuva de 140 mm em 12 horas, 216,8 mm em 24 horas, sendo que o acumulado mensal foi de 491,4 mm, superando a normal climatológica que é de 100,7 mm. Já no início de 2009 ocorreu um evento de chuva de 268 mm na área urbana de Pelotas, enquanto que na área rural foi de 600 mm, sendo a normal climatológica para o mês de janeiro 119,1 mm.

Em nível mundial existem dados publicados mostrando os maiores registros de chuva para cada duração (Paulhus, 1965), por exemplo, a maior chuva registrada em 42 minutos é de 304,8 mm em Holt, Mississipi, no ano 1947; 4 horas e meia 782,32 mm na Pensilvânia em 1942.

No presente trabalho, o objetivo foi quantificar a vazão máxima de escoamento superficial, resultante de dois eventos extremos de chuva (07/05/2004; 28/01/2009), na localidade de Pelotas/RS, e compará-las com a obtida a partir da série histórica (1921 a 2008) de chuva máxima diária, bem como avaliar o comportamento da equação de chuvas intensas (Goulart et al. 1992) estimada para esta localidade.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se os dados de precipitação diária da localidade de Pelotas/RS, obtidos na Estação Agroclimatológica de Pelotas – Convênio EMBRAPA/UFPel, INMET. O posto selecionado localiza-se na latitude 31° 51', longitude 52° 21', a 13,2 m de altitude e o período de dados utilizados de 1921 a 2008.

Após a seleção do posto de precipitação foi constituída, a partir do software PROCEDA - Processamento de Dados Agroclimatológicos – (Viegas F<sup>o</sup> et al., 2004), a série de precipitação máxima diária anual. A partir da série constituída, ajustaram-se os parâmetros da distribuição de Gumbel (Benjamin & Cornell, 1970) utilizando-se o software WINSTAT (Machado & Conceição, 2006), para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, e após plotados os valores ajustados e observados no papel de probabilidade deste modelo verificando, assim, a adequabilidade do ajuste.

Na metodologia de estimativa da chuva de projeto foram utilizados os dados de precipitação máxima diária anual da série histórica, no período de 87 anos (1921 a 2008), bem como dos eventos extremos ocorridos naquela localidade nos dias 07 de maio de 2004 (216,8 mm) e 28 de janeiro de 2009 (600 mm), de acordo com o Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado.

A partir dos dados da série histórica e dos dois eventos em análise, aplicou-se o método das relações (CETESB, 1979; Oliveira et al., 2005) para desagregar a chuva diária. Foram obtidos inicialmente os coeficientes de desagregação da chuva diária, correspondentes aos valores de lâmina precipitada, entre as diversas durações (15, 30, 60 min, 1, 6, 12 e 24 h) e variados períodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos). O fundamento do método das relações consiste em que a distribuição de probabilidade da chuva máxima, entre diferentes durações, apresenta paralelismo. Uma vez que se conheça a relação entre duas alturas de lâminas precipitadas entre duas durações (24 h/1 dia, 12 h/24 h, 6 h/24 h, 1 h/24 h, 30 min/1 h e 15 min/30 min), utiliza-se este coeficiente, para obter a altura de lâmina na duração imediatamente inferior.

Para a estimativa do hidrograma de projeto, bem como da vazão máxima foi utilizado o método do SCS (1972), considerando uma área hipotética de 7 km<sup>2</sup>, com comprimento de rio principal de 6 km e 117 m de desnível, cujo tempo de concentração da área foi de 72,2 min, estimado pela equação de Kirpich. O parâmetro curva número adotado foi 65 (AMC I), em função das características de tipo (C) e uso do solo (pastagem) da área do entorno da estação agroclimatológica.

Para quantificar os desvios encontrados entre os valores históricos e dos eventos foi utilizada a equação do Erro Relativo Médio Quadrático (RMS).

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{P_h - P_e}{P_e} \right)^2}{n}} \quad (1)$$

onde:

RMS = erro relativo médio quadrático;

P<sub>h</sub> = valores de precipitação máxima diária anual obtidos a partir da série histórica (mm);

$P_e$  = valores de precipitação máxima diária anual obtidos a partir dos eventos extremos (mm);

n = número de observações.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores de chuva na duração igual ao tempo de concentração (75 minutos) da área em estudo, obtidos a partir da série histórica ajustada à distribuição de Gumbel e dos eventos dos dias 07/05/2004 e 28/01/2009, para a localidade de Pelotas/RS, nos períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

TABELA 1. Valores de chuva (mm), na duração do tempo de concentração, obtidos a partir da série histórica ajustada à distribuição de Gumbel e dos eventos ocorridos nos dias 07/05/2004 e 28/01/2009, para a localidade de Pelotas/RS, considerando os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Lâmina (mm)	Tr (anos)					
	2	5	10	20	50	100
Série histórica	35,67	46,86	54,25	61,34	70,50	77,37
Evento 07/05/2004	92,30	93,85	94,52	95,00	95,48	95,76
Evento 28/01/2009	260,11	264,51	266,39	267,74	269,08	269,87

Com relação à análise de chuvas intensas, foi realizado por Goulart et al. (1992) um estudo para a localidade de Pelotas/RS e dentre seus resultados encontra-se a equação analítica que representa a relação intensidade-duração-frequência (IDF) de precipitações, com validade para as durações entre 30 min e 1440 min, bem como para os períodos de retorno de 2 a 100 anos. A partir desta equação IDF são consideradas como intensas, as precipitações que, em 75 minutos, sejam iguais ou superiores a 68,81 mm, para o período de retorno de 100 anos, bem como valores iguais ou superiores a 51,67 mm, 59,07 mm e 64,49 mm para as durações de 30, 45 e 60 min, respectivamente, também são classificadas como eventos extremos.

No presente trabalho, em que se analisa a série histórica de precipitação máxima diária anual (1921 a 2008), e os eventos ocorridos em 07 de maio de 2004 e 28 de janeiro de 2009, utilizando a desagregação da chuva diária (Damé et al., 2001), os valores das alturas das lâminas precipitadas foram 77,37 mm, 95,76 mm e 269,87 mm, respectivamente, para a duração de 75 minutos e período de retorno de 100 anos. Para o mesmo período de retorno e nas durações de 30, 45 e 60 minutos, respectivamente, os valores das alturas das lâminas precipitadas foram 57,15 mm, 65,34 mm e

71,86 mm (série histórica); 70,73 mm, 80,88 mm e 88,95 mm (07 de maio de 2004); 199,34 mm, 227,94 mm e de 250,68 mm (28 de janeiro de 2009).

Comparando-se os valores obtidos por Goulart et al. (1992) e os encontrados pela técnica da desagregação de chuva diária, considerando a série histórica observa-se que, para as durações de 30, 45, 60 e 75 minutos a diferença percentual foi de 10,61 %, 10,61 %, 11,43 % e 12,44 %, respectivamente. Uma análise superficial levaria a atribuir esta diferença às técnicas analíticas aplicadas, tanto na estimativa dos parâmetros da equação IDF, bem como dos coeficientes de desagregação. No entanto, entende-se que um fator preponderante de análise são os valores de precipitações máximas diárias contidos na série histórica (1961-1991), no período em que a equação de chuva de Pelotas/RS foi apresentada. Neste período não constam na série histórica eventos diários com magnitude superior a 188, 2 mm, e na série histórica de precipitação máxima diária utilizada no presente trabalho (1921-2008) encontram-se eventos diários de magnitude superior àquele, ou seja, 216,8 mm, 208 mm e 200 mm. Assim, é possível compreender de maneira conceitual as diferenças percentuais encontradas entre os valores obtidos por Goulart et al. (1992) e os aqui apresentados, quando do uso da desagregação de chuva diária. Além disso, o presente trabalho mostra que a equação de chuva, atualmente utilizada em Pelotas/RS, subestima, sistematicamente, as precipitações de projeto, o que implica em subdimensionamentos das obras hidráulicas e, conseqüentemente, as enchentes urbanas se multiplicam na cidade. Este trabalho mostra a necessidade de revisões periódicas e atualizações nas equações de chuvas para evitar os subdimensionamentos das obras hidráulicas urbanas e rurais contra as enchentes.

Quanto ao evento de precipitação de 216,5mm que ocorreu em Pelotas-RS no dia 07 de maio de 2004 pode-se observar através da (Figura 1) que a cidade entrou em estado de calamidade pública, visto que houve o rompimento de um trecho do canal Santa Bárbara provocando alagamentos em muitas áreas da cidade. Além disto, a água invadiu a estação de tratamento deixando a cidade sem água potável por alguns dias (Damé et al., 2005). Comparando-se este evento com o estudo de chuvas intensas realizado por Goulart et al. (1992), a diferença percentual para as mesmas durações foi de 36,89 %, 36,92 %, 37,93 % e 39,16 %.

No entanto, nenhum episódio de precipitação na região de Pelotas/RS foi tão severo, dentro dos registros que se tem disponível, do que aquele ocorrido na bacia do arroio Fragata entre Capão do Leão e Pelotas, no Rio Grande do Sul em 28 de janeiro de 2009. Como a chuva anual nesta região é da ordem de 1300 mm, em 1 dia choveu quase a metade do que se espera, em média, num ano inteiro. Para a duração de 30 minutos a altura de lâmina precipitada superou em 285,79 % a esperada para àquela localidade no que diz respeito a chuvas intensas. Assim como para as durações

de 45 min, 60 min e 75 min as alturas de lâmina superestimaram em 285,88 %, 288,71 % e 292,19 %, respectivamente, os valores obtidos por Goulart et al. (1992).



FIGURA 1. Efeitos do evento de precipitação de 216,5mm ocorrido na localidade de Pelotas-RS no dia 07 de maio de 2004.

Considerando a magnitude do evento analisado, o resultado foi um grande desastre de proporções incalculáveis. No caso específico, ocorreu a queda de uma ponte na BR116, a interrupção da mesma rodovia em outras pontes, e ocorreu o descarrilamento de um trem, em função do rompimento de um trecho do aterro sob a ferrovia, junto ao Arroio Fragata. Além disso, morreram 12 pessoas, e foram atingidas cerca de 3.000 pessoas (Figura 2).

Justifica-se que as análises referentes às diferenças percentuais foram realizadas para o período de retorno de 100 anos, em função de que há um reservatório, denominado de complexo Santa Bárbara que abastece em torno de 50% a população da cidade de Pelotas-RS. O reservatório possui um vertedor de serviço que foi projetado para um período de retorno de 100 anos.

Na Figura 3 são apresentados os hidrogramas resultantes da série histórica e dos eventos analisados, o que permite observar os efeitos de *armazenamento* e de *translação*. Observa-se que para todos os períodos de retorno analisados, os valores de vazão máxima volume de escoamento

superficial, decorrentes dos eventos analisados encontram-se superestimados, quando comparados aos valores correspondentes da série histórica.





FIGURA 2. Efeitos do evento de precipitação de 600,0 mm ocorrido na localidade de Pelotas-RS no dia 29 de janeiro de 2009.

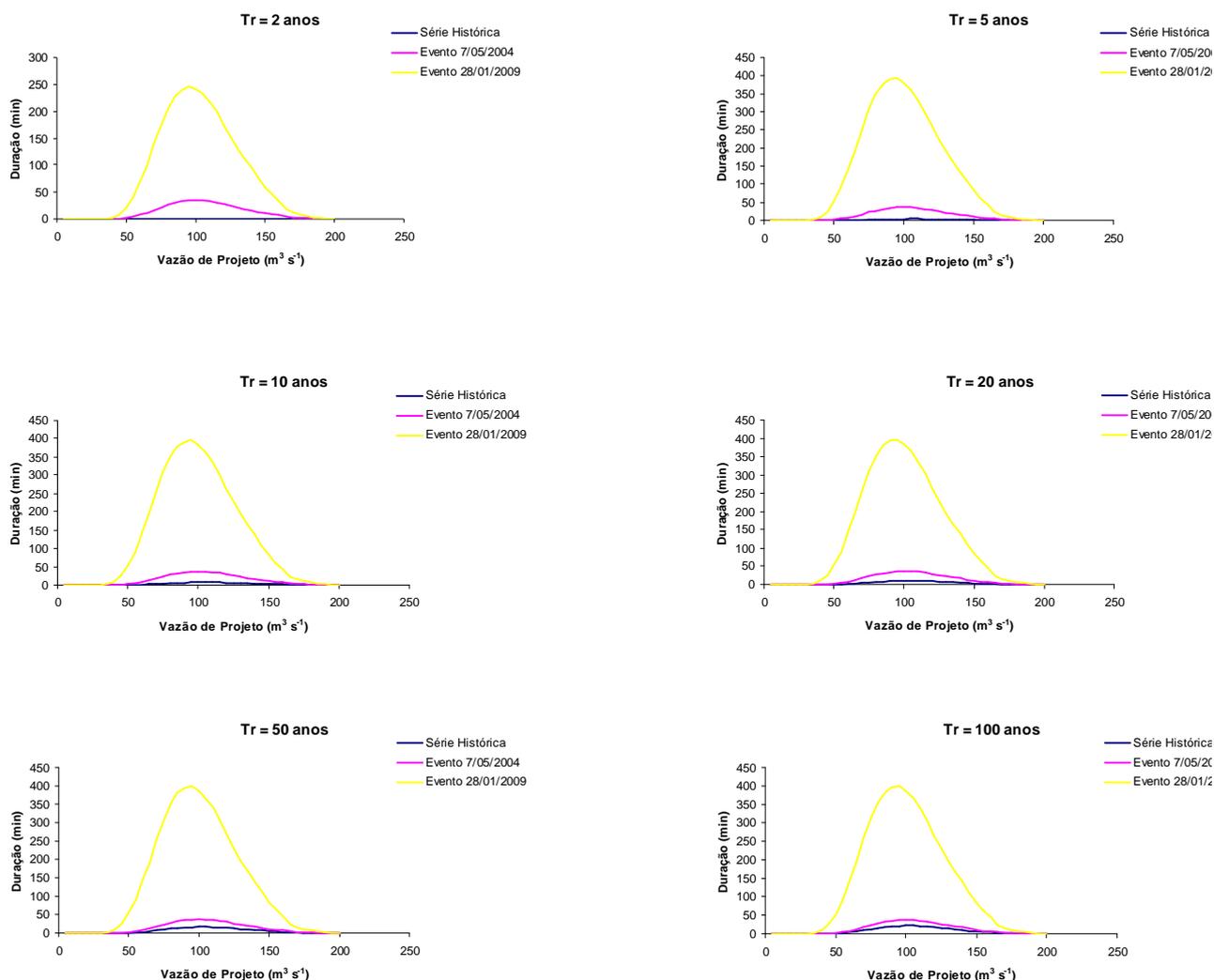


FIGURA 3. Hidrogramas de projeto obtidos a partir da série histórica ajustada à distribuição de Gumbel e dos eventos ocorridos nos dias 07/05/2004 e 28/01/2009, para a localidade de Pelotas/RS.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os valores de vazão máxima e volume de escoamento superficial. Aplicando-se a estatística RMSE entre os valores de vazão máxima dos eventos e da série histórica, para os períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, o erro relativo foi 25,08 e 364,95, respectivamente. Esses resultados explicam a magnitude da tragédia decorrente do evento de 28 de janeiro de 2009 (Figura 2), em que houve perdas materiais e sobremaneira, humanas.

É sabido que as enchentes e inundações dependem de fatores relacionados com a magnitude e a duração da precipitação, conforme discutido em parágrafos anteriores, bem como das características fisiográficas da bacia hidrográfica e sua cobertura. No entanto, no caso específico dos resultados encontrados, observa-se que no caso específico desses eventos, o fator preponderante

foi a altura de lâmina precipitada na duração em que ocorreu, e não propriamente devido às características da bacia hidrográfica. Esta constatação decorre dos efeitos causados pelas inundações, tanto no meio urbano, quanto rural (Figuras 1 e 2).

TABELA 2. Valores de vazão máxima de projeto ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) obtida mediante chuva de projeto a partir da série histórica e dos eventos dos dias 07/05/2004 e 28/01/2009, para a localidade de Pelotas/RS, nos períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Tr (anos)	Q <sub>máx</sub> ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )		
	Série histórica	Evento 07/05/2004	Evento 28/01/2009
2	0,82	34,41	245,39
5	4,01	35,76	392,70
10	7,26	36,33	395,04
20	11,07	36,75	396,70
50	16,89	37,17	398,35
100	21,86	37,41	399,31

TABELA 3. Valores de volume de escoamento superficial ( $\text{m}^3$ ) obtidos mediante chuva de projeto a partir da série histórica e dos eventos dos dias 07/05/2004 e 28/01/2009, para a localidade de Pelotas/RS, nos períodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Tr (anos)	Volume de escoamento superficial ( $\text{m}^3$ )		
	Série histórica	Evento 07/05/2004	Evento 28/01/2009
2	3.203,2	140.648,3	986.634,8
5	16.372,6	146.318,5	1.584.503,0
10	29.756,5	148.898,0	1.596.548,0
20	45.531,5	150.688,7	1.606.725,0
50	69.653,6	152.459,2	1.615.770,0
100	90.139,0	153.506,8	1.621.096,0

#### 4 – CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos concluí-se que:

a) a vazão máxima resultante dos eventos de 07 de maio de 2004 e 28 de janeiro de 2009, ocorridos na localidade de Pelotas/Rs foi de  $37,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $399,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. Os valores

de vazão máxima decorrentes desses eventos, se comparados com os da série histórica ( $0,82 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), superam em 42 % e 1726 %;

b) a equação de chuva, atualmente utilizada em Pelotas/RS, subestima as precipitações de projeto.

## BIBLIOGRAFIA

BENJAMIN, J.R.; CORNELL, C.A. *Probability, statistics, and decision theory for civil engineers*. New York: McGraw-Hill, 1970. 685p.

CETESB. *Drenagem Urbana: manual de projeto*. São Paulo 1979. 476p.

DAMÉ, R.C.F. Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 131p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), IPH/UFRGS, 2001.

GENOVEZ, A.M. Vazões máximas. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2001, p. 33-112.

GOULART, J.P.; MAESTRINI, A.P.; NEBEL, A.L. Relação Intensidade-Duração-Frequência das Chuvas em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.7, n.1, p.543-552, 1992.

MACHADO, A.A.; CONCEIÇÃO, A.R. *WinStat: Sistema de Análise Estatística para Windows*. Universidade Federal de Pelotas. 2006. <http://www.ufpel.edu.br/~amachado>. 26 JAN. 2008.

OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; BARBOSA, F.O.A.; ROMÕES, P.A.; CARVALHO, D.F. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 35, n. 1, p. 13-18, 2005.

PAULHUS, J.L.H. Indian ocean and taiwan rainfalls set new records. *Monthly Weather Review*. v.93, n.5, maio. 1965.

SOIL CONSERVATION SERVICE. *National engineering handbook*. Section 4. Washington: USDA, 1972. p 101- 1023.

TUCCI, C.E.M; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. (orgs) *Drenagem Urbana*, Editora da Universidade, ABRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. 428p.

VIEGAS Fº, J.S.; CONCEIÇÃO, A.R.; MACHADO, A.A.; LANNA, A.E.L.; DAMÉ, R.C.F. *PROCEDA – Processador de Dados do SAGBAH*. 2004.

ZAHED FILHO, K.; MARCELLINI, S.S. Precipitações Máximas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T.L. (Org.). *Drenagem Urbana*. 1 ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, p. 37-73.