

ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS A PARTIR DA DESAGREGAÇÃO DAS CHUVAS DIÁRIAS DE LAGES E DE CAMPOS NOVOS (SC)⁽¹⁾

C. O. CARDOSO⁽²⁾, M. N. ULLMANN⁽²⁾ & I. BERTOL^(2, 3)

RESUMO

O conhecimento da magnitude das chuvas intensas é de fundamental importância para a elaboração de projetos hidráulicos e gerenciamento dos recursos hídricos em engenharia, além do dimensionamento de estruturas para o controle de erosão hídrica na conservação do solo. No entanto, informações sobre a intensidade da chuva só podem ser obtidas diretamente de pluviogramas, os quais nem sempre estão disponíveis no local de estudo, sendo mais comum a presença de dados de pluviômetro (chuva de “um dia”). Nesse caso, pode-se utilizar o método que desagrega as chuvas diárias em chuvas de 24 horas de duração e menores, possibilitando, assim, estimar as intensidades correspondentes. O estudo foi desenvolvido na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages (SC), durante o primeiro semestre de 1996. Utilizaram-se séries anuais de chuvas máximas de “um dia”, obtidas de pluviômetros localizados em Lages e Campos Novos (SC), durante um período de 30 anos consecutivos (1966 a 1995). Aplicou-se a distribuição estatística de Gumbel para a obtenção das alturas de chuvas em períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos e, a partir destas, o modelo de desagregação de chuvas diárias, obtendo-se as alturas máximas esperadas para tempos de duração entre 24 horas e 5 minutos e suas respectivas intensidades máximas médias. Foram obtidas as curvas intensidade-duração-freqüência (I-D-F) para os tempos de retorno selecionados, bem como suas relações matemáticas. Para Lages, a equação da família de curvas I-D-F obtida foi: $i = 2050Tr^{0,20} (t + 29,41)^{-0,89}$ e, para Campos Novos, a equação foi: $i = 2157Tr^{0,17} (t + 29,42)^{-0,89}$, em que i é a intensidade máxima média (mm h^{-1}), t a duração (minuto) e Tr o período de retorno (ano) das chuvas.

Termos de indexação: chuvas extremas, curvas intensidade-duração-freqüência, distribuição Gumbel.

⁽¹⁾ Trabalho desenvolvido com a colaboração da Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI. Recebido para publicação em junho de 1996 e aprovado em dezembro de 1997.

⁽²⁾ MSc., Professor da Faculdade de Agronomia do Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Caixa Postal 281, CEP: 88520-000 Lages (SC).

⁽³⁾ Dr., Bolsista de pesquisa do CNPq. E-mail a2ib@cav.udesc.br.

SUMMARY: *INTENSE RAINFALL ANALYSIS FROM DAILY RAINFALL DISAGGREGATION OF LAGES AND CAMPOS NOVOS (SANTA CATARINA, BRAZIL)*

The knowledge of intense rainfall magnitude is very important for the elaboration of hydraulic projects, management of hydric resources in engineering and structure dimensionality for the water erosion control on soil conservation. However, information about the rainfall intensity can only be obtained directly from pluviograms, which quite often are not available at the study site, where the presence of pluviometer data (rainfall of "one day") is more common. In this case, the disaggregation of daily rainfall into 24 hour periods and smaller durations can be used to estimate the correspondent intensity. The study was carried out at Santa Catarina State University (UDESC), in Lages (SC), during the first semester of 1996. Maximum rainfall of "one day" annual series, obtained from pluviometers located in Lages and Campos Novos (SC), during 30 consecutive years (1966-1995), were used. The Gumbel statistic distribution was applied to obtain the rainfall height in the following periods of return: 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 and 100 years. After that, the daily rainfall disaggregation model was applied to provide the expected maximum rainfall height for duration times varying between 24 hours and 5 minutes and their corresponding maximum average intensities. With the results obtained, it was possible to get the intensity-duration-frequency (I-D-F) curves for the selected periods of return as well as their mathematical relations. The I-D-F equations estimated for Lages and Campos Novos were: $i = 2050Tr^{0.20} (t + 29.41)^{-0.89}$ and $i = 2157Tr^{0.17} (t + 29.42)^{-0.89}$, respectively, where i stands for maximum average intensity ($mm h^{-1}$), t for rainfall duration (minute) and Tr for rainfall return period (year).

Index terms: extreme rainfall, intensity-duration-frequency curves, Gumbel distribution.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da distribuição e das variações da chuva, tanto temporal quanto espacial, é importante para subsidiar estudos hidrológicos e o planejamento de uso dos recursos hídricos. A obtenção das características das chuvas extremas é de grande interesse pela sua freqüente aplicação em projetos hidráulicos. O dimensionamento de vertedouros, barragens, canais, desvios de cursos d'água, galerias pluviais, bueiros, sistemas de drenagem e irrigação, práticas mecânicas de controle da erosão hídrica do solo, dentre outros, deve levar em conta a magnitude e a freqüência das enxurradas, caracterizadas pela duração e intensidade das chuvas intensas. Portanto, é necessária a predição das chuvas extremas, o que pode ser feito, valendo-se dos princípios de probabilidade.

Em geral, a freqüência de valores extremos de grandezas hidrológicas ajusta-se à distribuição do tipo I de Fisher-Tippet (Villela & Mattos, 1975), conhecida como distribuição de Gumbel. Por meio dessa análise estatística, pode-se prever a freqüência de ocorrência das chuvas máximas em certa localidade (Vieira et al., 1994). Entretanto, o conhecimento das características das chuvas é bastante escasso na maior parte do País e, mesmo em regiões que apresentam satisfatória densidade de postos pluviométricos, os dados disponíveis são inadequados para uma utilização imediata. O Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) desenvolveu um estudo de chuvas, abrangendo 98 postos pluviométricos (Pfafstetter, 1957), distribuídos, principalmente, na região Sul, numa densidade aproximada de um posto para cada 85.000 km². Desse modo, restaram muitas áreas, em que os únicos dados disponíveis são as chuvas de "um dia" registradas nos referidos postos.

Dada a importância do conhecimento das características das chuvas de curta duração, é necessário estabelecer as relações intensidade-duração-freqüência dessas chuvas nessas regiões, obtidas em pluviômetros. Nessas regiões, não cobertas por pluviógrafos, podem-se avaliar chuvas de 24 horas de determinada freqüência e, a partir daí, chuvas de menor duração com a mesma freqüência.

As alturas pluviométricas das chuvas máximas de "24 horas" e de "um dia" guardam uma relação quase constante, independentemente do período de retorno, cujo valor encontrado no Brasil é de 1,14 (Occhipinti & Santos, 1966), semelhante ao valor adotado pelo U.S. Weather Bureau, que é de 1,13 (Tucci, 1993). Relações constantes entre chuvas de diferentes durações também foram verificadas no Brasil (CETESB, 1979; Assad et al., 1992; Eltz et al., 1992; Vieira et al., 1994; Pinto et al., 1996), com valores bastante próximos dos adotados pelo Weather Bureau. Outros pesquisadores (Hershfield, 1962; Bell, 1969) têm demonstrado que as relações verificadas nos Estados Unidos são aplicáveis, em geral, em outras partes do mundo. Essas relações independem do período de retorno, pois, para cada uma delas, os valores encontrados para os períodos de retorno de 2 a 100 anos são bastante próximos uns dos outros (Bell, 1969). Portanto, a partir de chuvas diárias, podem-se obter chuvas de 24 horas de duração com determinada freqüência e desagregá-las para durações menores, utilizando as relações propostas em CETESB (1979).

Correlacionando apenas as intensidades com as durações das chuvas, para determinado período de retorno, verifica-se que, quanto maior a intensidade da chuva, menor é sua duração, apresentando a curva genérica um comportamento hiperbólico. Essa relação pode ser representada por dois tipos de equações, ou seja:

$$i = \frac{a}{t + b}, \quad [1]$$

para durações de chuva entre 5 e 120 minutos (equação de Talbot), e

$$i = \frac{c}{t^d}, \quad [2]$$

para durações de chuva superiores a 120 minutos, em que i é a intensidade da chuva, t o tempo de duração da chuva e a , b , c , d são constantes ajustadas estatisticamente para o local.

Após grande número de observações, os hidrólogos chegaram a uma equação que melhor expressa a relação frequência, intensidade e duração das chuvas, para o ajuste de dados experimentais, denominada "equação intensidade-duração-frequência", como a seguir:

$$i = a \text{Tr}^b (t + c)^{-d}, \quad [3]$$

em que, i é a intensidade da chuva para um tempo de duração t e para um período de retorno Tr e a , b , c , d são constantes de ajuste determinadas estatisticamente. O período de retorno Tr é definido como a recíproca da probabilidade, ou seja, o intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou superado, pelo menos em uma vez.

O objetivo geral deste trabalho foi obter relações que permitam avaliar chuvas de 24 horas de duração e, a partir delas, as chuvas de curta duração. Especificamente, o estudo teve os seguintes objetivos: analisar a distribuição de valores máximos de chuva a partir de observações de pluviômetros; desagregar chuvas diárias em chuvas de 24 horas e de durações menores; obter as grandezas características das chuvas intensas, tais como: intensidade, duração e frequência, e obter as relações intensidade-duração-frequência das chuvas de Lages e Campos Novos (SC).

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de chuva máxima de "um dia" foram obtidos das Estações Meteorológicas da Empresa de Pesquisa e Difusão de Tecnologia Agrícola do Estado de Santa Catarina - EPAGRI de Lages (SC), situada a 27°49' de latitude Sul e a 50°20' de longitude Oeste, a 937 metros de altitude; e de Campos Novos (SC), situada a 27°24' de latitude Sul e a 51°12' de longitude Oeste, a 947 metros de altitude. Foram analisadas séries históricas de chuvas máximas de "um dia" dos registros de pluviômetro, das quais foram selecionados 30 anos de observações consecutivas (1966-1995) para cada local.

As análises foram realizadas no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, durante o primeiro semestre de 1996. O processamento dos dados foi feito com um programa computacional, em linguagem BASIC, especialmente desenvolvido para este trabalho.

Para a análise estatística da probabilidade e do período de retorno das chuvas intensas pela

distribuição de Gumbel, obteve-se, em cada ano da série histórica, a altura máxima de chuva de "um dia", constituindo, dessa forma, a série de chuvas máximas anuais. Os valores referentes a essa série foram organizados em ordem decrescente, sendo calculados a média aritmética e o desvio-padrão da amostra. As frequências observadas foram calculadas segundo a equação de Kimbal (Villela & Mattos, 1975), ou seja:

$$F_i = \frac{m_i}{n + 1}, \quad [4]$$

em que F_i é a frequência observada, m_i é o número de ordem da chuva máxima anual, e n é o número de anos da série analisada.

A variável reduzida de Gumbel (y) foi estimada pela expressão:

$$y = \frac{sy}{sx} [x_i - (\bar{x} - sx \frac{\bar{y}}{sy})], \quad [5]$$

em que sx é o desvio-padrão e \bar{x} é a média da amostra da série anual finita de n valores; sy é o desvio-padrão, e \bar{y} é a média da variável reduzida y (tabelado em função do número de dados da amostra).

A probabilidade teórica esperada de um valor extremo dado (x_i) ser atingido ou superado, isto é, de acontecer um valor (X) igual ou superior a x_i , foi obtida por meio da equação:

$$P_{(X \geq x_i)} = 1 - e^{-e^{-y}}, \quad [6]$$

em que X é a variável aleatória (chuva máxima); e é a base do logaritmo neperiano, e y é a variável reduzida de Gumbel.

O período de retorno, definido como a recíproca da probabilidade, ou seja, o intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou superado, pelo menos uma vez nesse caso é:

$$\text{Tr} = \frac{1}{P_{(X \geq x_i)}}, \quad [7]$$

em que Tr é o período de retorno e P é a probabilidade teórica de Gumbel.

No papel de Gumbel, plotaram-se os pontos correspondentes às alturas de chuvas (x_i) na ordenada, em escala aritmética, e, em correspondência na abscissa, em escala logarítmica-probabilística, o período de retorno (Tr) em anos, traçando-se a reta de melhor ajuste. Assim, foi possível extrapolar informações, como a probabilidade de determinado extremo ser igualado ou superado, podendo-se obter a grandeza esperada do evento para determinado período de retorno (Tr), em anos.

Os valores de altura máxima e período de retorno das chuvas de Lages e Campos Novos, respectivamente, foram plotados no papel log-probabilístico da distribuição de Gumbel (Figura 1) para o ajuste à distribuição teórica. Com essa figura, obtiveram-se, graficamente, as alturas máximas de chuvas esperadas para determinado período de retorno.

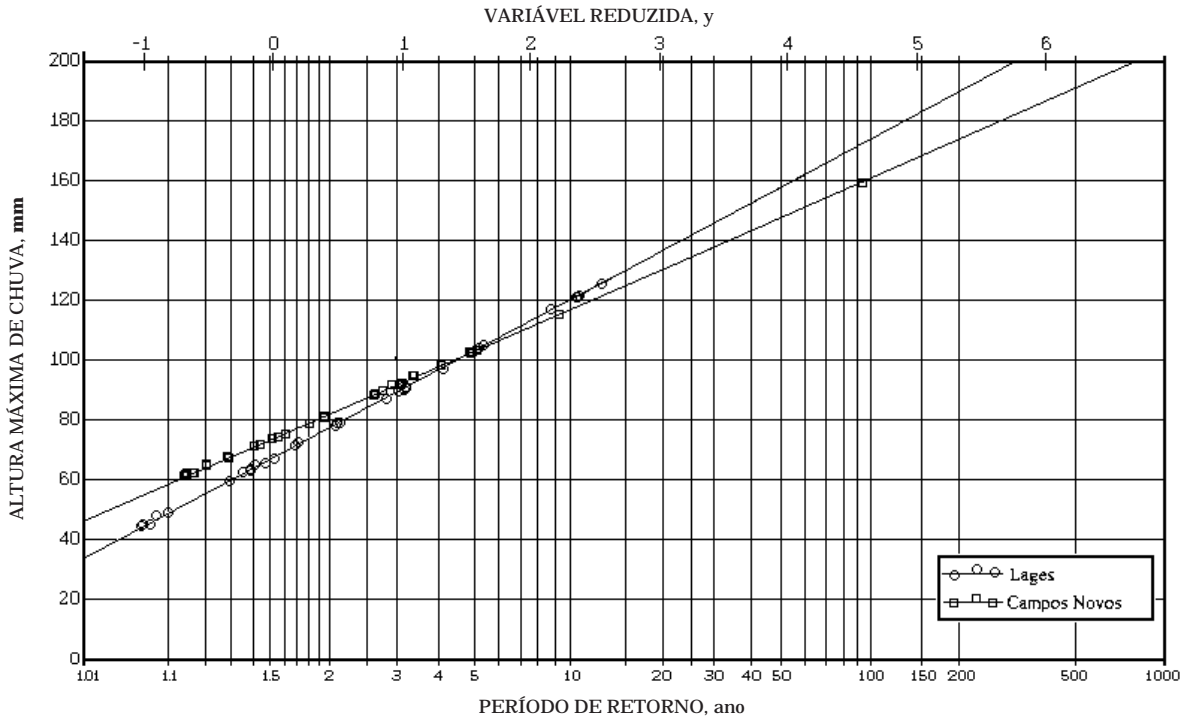


Figura 1. Ajuste gráfico da distribuição de Gumbel para Lages e Campos Novos (SC), no período de 1966-1995.

Foram obtidas, também, a partir desses dados, as retas analíticas de frequência das chuvas, as quais permitiram a determinação das alturas máximas de chuvas esperadas de modo mais fácil e mais preciso do que por meio do método gráfico. Para Lages, esta reta é expressa pela equação:

$$x_i = 22,5073[-\ln(-\ln(1 - \frac{1}{Tr_i}))] + 69,48757 \quad [8]$$

e, para Campos Novos, a reta analítica de frequência, expressa na figura 1, apresentou-se como:

$$x_i = 18,8452[-\ln(-\ln(1 - \frac{1}{Tr_i}))] + 74,66668 \quad [9]$$

Com as equações 8 e 9, estimaram-se as alturas de chuvas máximas de “um dia” para os períodos de retorno selecionados, sobre as quais se aplicou o modelo de desagregação de chuvas.

Para aplicação desse modelo para diferentes durações, utilizaram-se as relações de desagregação de alturas pluviométricas para diferentes durações, como consta no quadro 1.

Obtidas as alturas das chuvas, estimaram-se as prováveis intensidades máximas médias para todas as durações de chuva consideradas e para o período de retorno desejado. Nesse caso, a “intensidade máxima média” foi o quociente entre a altura máxima de chuva, ocorrida no intervalo de tempo considerado, e o respectivo intervalo, ou seja:

$$i_{mm} = \frac{\Delta h(\Delta t)}{\Delta t}, \quad [10]$$

Quadro 1. Constantes do modelo de desagregação de chuvas diárias (Occhipinti & Santos, 1966)

Relação	Constante	Multiplicada por	Desagrega para
24 h/1 d	1,14	x(dia,Tr)	x(24 h, Tr)
12 h/24 h	0,85	x(24 h, Tr)	x(12 h, Tr)
10 h/24 h	0,82	x(24 h, Tr)	x(10 h, Tr)
8 h/24 h	0,78	x(24 h, Tr)	x(8 h, Tr)
6 h/24 h	0,72	x(24 h, Tr)	x(6 h, Tr)
4 h/24 h	0,63	x(24 h, Tr)	x(4 h, Tr)
2 h/24 h	0,52	x(24 h, Tr)	x(2 h, Tr)
1 h/24 h	0,42	x(24 h, Tr)	x(1 h, Tr)
30 min/1 h	0,74	x(1 h, Tr)	x(30 min,Tr)
25 min/30 min	0,91	x(30min,Tr)	x(25 min,Tr)
20 min/30 min	0,81	x(30min,Tr)	x(20 min,Tr)
15 min/30 min	0,70	x(30min,Tr)	x(15 min,Tr)
10 min/30 min	0,54	x(30min,Tr)	x(10 min,Tr)
5 min/30 min	0,34	x(30min,Tr)	x(5 min,Tr)

em que i_{mm} é a intensidade máxima média da chuva; Δh é a altura máxima de chuva no intervalo de tempo, e Δt o intervalo de tempo considerado.

Para expressar a relação entre intensidade e duração, em determinado período de retorno, para durações de chuva de até 120 minutos, usou-se a Equação de Talbot (Equação 1). Nas durações de chuva superiores a 120 minutos, a equação 2 foi a que melhor se ajustou aos dados observados. Na

estimativa das constantes de ajuste das equações, aplicou-se o processo de anamorfose, mediante a linearização das equações. Após a linearização, as constantes **a**, **b**, **c**, **d** foram obtidas por meio do método estatístico dos mínimos quadrados.

A equação genérica que descreve a relação entre intensidade, duração e frequência (períodos de retorno) das chuvas foi obtida para cada local, mediante o ajuste das constantes da equação 3. Procurou-se estabelecer as constantes de uma equação que fornecesse a intensidade para os vários tempos de duração de chuva considerados, em qualquer período de retorno nos locais estudados. A constante **c** da equação 3 foi obtida por meio da média aritmética dos coeficientes **b** das equações de Talbot, que foram obtidas para os períodos de retorno selecionados. As constantes **a**, **b**, **d** da equação 3 foram obtidas pelo processo dos mínimos quadrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As chuvas máximas de “um dia” foram, em média, cerca de 4% superiores em Campos Novos do que em Lages, no período considerado (Quadros 2 e 3). Em Lages, variaram de 44,6 a 127,2 mm, enquanto, em Campos Novos, essa variação foi de 61,8 a 159,4 mm em sua altura diária. A diferença de variação na magnitude das alturas das chuvas máximas de “um dia”, entre os dois locais estudados, refletiu-se na variável reduzida, na probabilidade de ocorrência e, conseqüentemente, no período de retorno das referidas chuvas. Assim, dentro do período de 30 anos estudado, as chuvas de Lages apresentaram um período de retorno de 1,05 ano, para uma chuva de 44,6 mm, e de 13,5 anos, para uma chuva de 127,2 mm. Em Campos Novos, o período de retorno foi de 1,16 ano, para uma chuva de 61,8 mm, e de 90,19 anos, para

Quadro 2. Distribuição de Gumbel para chuvas máximas de um dia no período de 1966 a 1995 para Lages (SC)

Ano	Ordem	Chuva máxima mm	Frequência %	Variável reduzida adimensional	Probabilidade %	Período de retorno ano
1981	1	127,20	3,23	2,56	7,41	13,50
1979	2	122,00	6,45	2,33	9,24	10,82
1984	3	121,40	9,68	2,31	9,49	10,55
1987	4	121,30	12,90	2,31	9,52	10,51
1971	5	117,20	16,13	2,12	11,31	8,84
1993	6	104,90	19,35	1,57	18,72	5,34
1991	7	103,90	22,58	1,53	19,48	5,13
1983	8	99,20	25,81	1,32	23,44	4,27
1980	9	92,70	29,03	1,03	29,99	3,34
1990	10	92,70	32,26	1,03	29,99	3,34
1992	11	92,00	35,48	1,00	30,77	3,25
1994	12	90,30	38,71	0,92	32,74	3,05
1977	13	87,90	41,94	0,82	35,68	2,80
1988	14	81,70	45,16	0,54	44,08	2,27
1976	15	80,90	48,39	0,51	45,24	2,21
1989	16	80,70	51,61	0,50	45,53	2,20
1972	17	72,60	54,84	0,14	58,14	1,72
1969	18	71,80	58,06	0,10	59,44	1,68
1973	19	68,10	61,29	-0,06	65,48	1,53
1975	20	66,80	64,52	-0,12	67,60	1,48
1986	21	64,90	67,74	-0,20	70,66	1,42
1982	22	64,00	70,97	-0,24	72,09	1,39
1966	23	64,00	74,19	-0,24	72,09	1,39
1968	24	63,90	77,42	-0,25	72,25	1,38
1974	25	60,00	80,65	-0,42	78,22	1,28
1970	26	51,00	83,87	-0,82	89,71	1,11
1985	27	48,80	87,10	-0,92	91,85	1,09
1995	28	47,60	90,32	-0,97	92,89	1,08
1978	29	45,00	93,55	-1,09	94,86	1,05
1967	30	44,60	96,77	-1,11	95,13	1,05
	\bar{X}	81,64	\bar{y}	0,54 ⁽¹⁾		
	sx	24,98	sy	1,11 ⁽¹⁾		

⁽¹⁾Tucci (1993).

uma chuva de 159,4 mm. Essa variação nas chuvas máximas de um dia entre os locais é explicada pela diferença climática entre eles. Isto indica que, do ponto de vista do volume total das chuvas, há necessidade de maior preocupação com o controle de enxurradas e conservação do solo em Lages do que em Campos Novos, já que, dentro de um período de retorno de apenas 13,5 anos, pode-se esperar pelo menos uma chuva com 127,20 mm em Lages. Apesar de se esperar uma chuva máxima maior em Campos Novos (159,40 mm), ela deverá ocorrer pelo menos uma vez dentro de um período de retorno de 90,19 anos, considerado bastante longo do ponto de vista de projeção de práticas conservacionistas de suporte para controle de enxurradas.

Para um período de retorno de dois anos, cuja probabilidade de ocorrência é de 50%, as chuvas de Lages, obtidas por desagregação para todas as durações estudadas, são ligeiramente inferiores às de

Campos Novos (Quadro 4). Para os períodos de retorno de 5 a 100 anos, no entanto, as chuvas de Lages, estimadas pelo método de desagregação, são ligeiramente superiores às de Campos Novos. Em condições semelhantes de umidade do solo antecedente às chuvas, pode-se esperar maior probabilidade de inundação decorrente das chuvas de Campos Novos do que das de Lages, com períodos de retorno inferior a 4,6 anos. Isto indica, também, que as chuvas com baixos períodos de retorno de Campos Novos podem ser mais erosivas do que as de Lages, como demonstram os trabalhos de Bertol (1993; 1994). Com base nesses dados, pode-se inferir que, no município de Campos Novos, há necessidade de se implementarem medidas mais rigorosas de controle da erosão hídrica.

A intensidade máxima média das chuvas de Lages aumentou, em média, 2,2 vezes no intervalo do período de retorno de 2 a 100 anos, enquanto, nas chuvas de

Quadro 3. Distribuição de Gumbel para chuvas máximas de um dia no período de 1966 a 1995 para Campos Novos (SC)

Ano	Ordem	Chuva máxima	Freqüência	Variável reduzida	Probabilidade	Período de retorno
		mm	%	adimensional	%	ano
1990	1	159,40	3,23	4,50	1,11	90,19
1977	2	115,20	6,45	2,15	10,99	9,10
1975	3	103,80	9,68	1,55	19,19	5,21
1992	4	102,70	12,90	1,49	20,22	4,95
1983	5	102,40	16,13	1,47	20,51	4,88
1968	6	102,30	19,35	1,47	20,61	4,85
1970	7	99,00	22,58	1,29	24,04	4,16
1986	8	94,90	25,81	1,07	28,95	3,45
1969	9	94,70	29,03	1,06	29,21	3,42
1991	10	93,00	32,26	0,97	31,48	3,18
1987	11	92,50	35,48	0,95	32,17	3,11
1984	12	90,60	38,71	0,85	34,91	2,86
1994	13	89,60	41,94	0,79	36,41	2,75
1971	14	88,60	45,16	0,74	37,96	2,63
1981	15	81,00	48,39	0,34	51,06	1,96
1972	16	80,70	51,61	0,32	51,62	1,94
1989	17	79,00	54,84	0,23	54,82	1,82
1980	18	75,20	58,06	0,03	62,17	1,61
1978	19	74,20	61,29	-0,03	64,12	1,56
1966	20	73,00	64,52	-0,09	66,46	1,51
1993	21	71,40	67,74	-0,17	69,55	1,44
1979	22	70,80	70,97	-0,21	70,70	1,41
1973	23	67,00	74,19	-0,41	77,73	1,29
1985	24	66,80	77,42	-0,42	78,09	1,28
1982	25	64,20	80,65	-0,56	82,49	1,21
1988	26	64,10	83,87	-0,56	82,66	1,21
1967	27	62,70	87,10	-0,64	84,85	1,18
1995	28	62,50	90,32	-0,65	85,15	1,17
1974	29	62,20	93,55	-0,66	85,60	1,17
1976	30	61,80	96,77	-0,68	86,18	1,16
	\bar{x}	84,84	\bar{y}	0,54 ⁽¹⁾		
	sx	20,92	sy	1,11 ⁽¹⁾		

⁽¹⁾Tucci (1993).

Quadro 4. Alturas máximas médias de chuvas para as durações e períodos de retorno selecionados, obtidas por meio da desagregação de chuvas diárias, em Lages e Campos Novos (SC)

Duração	Período de retorno (ano)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
mm								
Lages								
1 d	77,74	103,25	120,14	129,67	136,34	141,48	157,31	173,02
24 h	88,62	117,71	136,96	147,82	155,43	161,29	179,33	197,24
12 h	75,33	100,05	116,42	125,65	132,11	137,09	152,43	167,66
10 h	72,67	96,52	112,31	121,22	127,45	132,26	147,05	161,74
8 h	69,13	91,81	106,83	115,30	121,23	125,80	139,88	153,85
6 h	63,81	84,75	98,61	106,43	111,91	116,13	129,12	142,01
4 h	55,83	74,15	86,28	93,13	97,92	101,61	112,98	124,26
2 h	46,08	61,21	71,22	76,87	80,82	83,87	93,25	102,57
1 h	37,22	49,44	57,52	62,09	65,28	67,74	75,32	82,84
30 min	27,54	36,58	42,57	45,94	48,31	50,13	55,74	61,30
25 min	25,07	33,29	38,74	41,81	43,96	45,62	50,72	55,79
20 min	22,31	29,63	34,48	37,21	39,13	40,60	45,15	49,66
15 min	19,28	25,61	29,80	32,16	33,81	35,09	39,02	42,91
10 min	14,87	19,75	22,99	24,81	26,09	27,07	30,10	33,10
5 min	9,37	12,44	14,47	15,62	16,42	17,04	18,95	20,84
Campos Novos								
1 d	81,57	102,93	117,08	125,05	130,64	134,94	148,20	161,36
24 h	92,99	117,34	133,47	142,56	148,93	153,84	168,95	183,95
12 h	79,05	99,74	113,45	121,18	126,59	130,76	143,60	156,35
10 h	76,26	96,22	109,44	116,90	122,12	126,15	138,54	150,84
8 h	72,54	91,53	104,10	111,20	116,17	119,99	131,78	143,48
6 h	66,96	84,49	96,10	102,64	107,23	110,76	121,64	132,44
4 h	58,59	73,93	84,08	89,81	93,83	96,92	106,44	115,89
2 h	48,36	61,02	69,40	74,13	77,44	79,99	87,85	95,65
1 h	39,06	49,28	56,06	59,88	62,55	64,61	70,96	77,26
30 min	28,90	36,47	41,48	44,31	46,29	47,81	52,51	57,17
25 min	26,30	33,19	37,75	40,32	42,12	43,51	47,78	52,03
20 min	23,41	29,54	33,60	35,89	37,49	38,73	42,53	46,31
15 min	20,23	25,53	29,04	31,02	32,40	33,47	36,76	40,02
10 min	15,61	19,69	22,40	23,93	25,00	25,82	28,35	30,87
5 min	9,83	12,40	14,10	15,06	15,74	16,26	17,85	19,44

Campos Novos, esse aumento foi da ordem de 2,0 vezes (Quadro 5). Isto deveu-se ao fato de, em todos os períodos de retorno estudados, com exceção daquele de dois anos, as chuvas de Lages apresentaram intensidade máxima média ligeiramente superior àquelas de Campos Novos, provavelmente decorrente de variações climáticas entre os dois locais. Dentre as características básicas da chuva, a intensidade é aquela que melhor se correlaciona com o seu potencial erosivo e, conseqüentemente, com a erosão hídrica do solo (Wischmeier, 1959), o que torna importante determiná-la para subsidiar o planejamento de práticas conservacionistas básicas e de suporte. Assim, levando em conta apenas a intensidade máxima média, pode-se esperar maior potencial erosivo das chuvas no município de Lages do que em Campos Novos.

Os valores de coeficiente de determinação resultantes da relação entre intensidade e duração

das chuvas, para os períodos de retorno selecionados, foram altos e demonstram o bom nível de ajuste dos dados às equações obtidas para ambos os locais estudados (Quadro 6), semelhantes aos valores obtidos por Vieira et al. (1994).

Os valores das constantes **a**, **b**, **c** e **d**, das equações de regressão utilizadas para ajustar os dados estudados, expressos no quadro 6, indicam que, no período de retorno de 2 anos, as intensidades máximas médias de chuva esperadas são menores para Lages do que para Campos Novos, enquanto, nos períodos de retorno de 5 a 100 anos, as referidas intensidades são menores para Campos Novos do que para Lages, tanto para as chuvas com durações entre 5 e 120 minutos quanto para aquelas com durações maiores do que 120 minutos. Isto confirma as tendências desses dados apresentados no quadro 5 e discutidos anteriormente.

Quadro 5. Intensidades máximas médias de chuva para os tempos de retorno e durações selecionados para Lages e Campos Novos (SC)

Duração	Período de retorno (ano)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
mm								
Lages								
24 h	3,69	4,90	5,71	6,16	6,48	6,72	7,47	8,22
12 h	6,28	8,34	9,70	10,47	11,01	11,42	12,70	13,97
10 h	7,27	9,65	11,23	12,12	12,75	13,23	14,71	16,17
8 h	8,64	11,48	13,35	14,41	15,15	15,73	17,49	19,23
6 h	10,63	14,12	16,44	17,74	18,65	19,35	21,52	23,67
4 h	13,96	18,54	21,57	23,28	24,48	25,40	28,25	31,07
2 h	23,04	30,60	35,61	38,43	40,41	41,93	46,63	51,28
1 h	37,22	49,44	57,52	62,09	65,28	67,74	75,32	82,84
30 min	55,09	73,17	85,13	91,89	96,61	100,26	111,47	122,61
25 min	60,16	79,90	92,97	100,34	105,50	109,48	121,73	133,88
20 min	66,93	88,90	103,44	111,64	117,39	121,81	135,44	148,97
15 min	77,12	102,43	119,19	128,64	135,26	140,36	156,06	171,65
10 min	89,24	118,53	137,91	148,85	156,51	162,41	180,58	198,62
5 min	112,38	149,26	173,67	187,45	197,09	204,52	227,41	250,12
Campos Novos								
24 h	3,87	4,89	5,56	5,94	6,21	6,41	7,04	7,66
12 h	6,59	8,31	9,45	10,10	10,55	10,90	11,97	13,03
10 h	7,63	9,62	10,94	11,69	12,21	12,61	13,85	15,08
8 h	9,07	11,44	13,01	13,90	14,52	15,00	16,47	17,93
6 h	11,16	14,08	16,02	17,11	17,87	18,46	20,27	22,07
4 h	14,65	18,48	21,02	22,45	23,46	24,23	26,61	28,97
2 h	24,18	30,51	34,70	37,07	38,72	40,00	43,93	47,83
1 h	39,06	49,28	56,06	59,88	62,55	64,61	70,96	77,26
30 min	57,81	72,94	82,96	88,62	92,58	95,62	105,02	114,34
25 min	63,12	79,65	90,59	96,77	101,09	104,42	114,68	124,86
20 min	70,23	88,62	100,80	107,67	112,48	116,18	127,60	138,93
15 min	80,93	102,12	116,15	124,06	129,61	133,87	147,02	160,08
10 min	93,64	118,16	134,40	143,56	149,97	154,91	170,12	185,23
5 min	117,92	148,80	169,24	180,78	188,85	195,07	214,24	233,26

Quadro 6. Constantes *a*, *b*, *c* e *d* das equações intensidade-duração e respectivos coeficientes de determinação (r^2) para os períodos de retorno (T_r) selecionados, para as durações (*t*) entre 5 e 120 minutos e maiores do que 120 minutos, em Lages e Campos Novos (SC)

T_r	<i>t</i> entre 5 e 120 minutos			<i>t</i> maior que 120 minutos		
	<i>a</i>	<i>b</i>	r^2	<i>c</i>	<i>d</i>	r^2
Lages						
2	3399,1939	29,4086	0,9963	786,9692	0,7341	0,9992
5	4514,5925	29,4057	0,9962	1045,7723	0,7342	0,9990
10	5253,8096	29,4150	0,9961	1214,5008	0,7339	0,9989
15	5669,8793	29,4082	0,9963	1311,3606	0,7340	0,9991
20	5962,0077	29,4127	0,9963	1377,5979	0,7338	0,9988
25	6186,1234	29,4071	0,9963	1431,0147	0,7340	0,9991
50	6879,8570	29,4191	0,9962	1592,9584	0,7342	0,9990
100	7565,6057	29,4098	0,9963	1750,2190	0,7340	0,9990
Campos Novos						
2	3567,6020	29,4186	0,9962	827,0024	0,7344	0,9991
5	4501,3479	29,4157	0,9963	1041,2792	0,7340	0,9992
10	5119,6406	29,4128	0,9962	1185,3414	0,7342	0,9992
15	5469,4432	29,4200	0,9962	1265,2417	0,7340	0,9989
20	5712,5899	29,4102	0,9962	1320,0692	0,7338	0,9990
25	5901,6619	29,4196	0,9962	1365,3380	0,7340	0,9988
50	6481,5419	29,4193	0,9963	1499,2753	0,7340	0,9986
100	7056,9089	29,4185	0,9963	1634,2964	0,7342	0,9991

Obtiveram-se, também, para cada local estudado, as equações intensidade-duração-freqüência (I-D-F), as quais permitem prever intensidades máximas médias de chuva ligeiramente maiores para Lages do que para Campos Novos, a partir da sua duração e do seu período de retorno. A equação obtida para Lages apresenta-se como: $i = 2050Tr^{0,20} (t + 29,41)^{-0,89}$ e para Campos Novos: $i = 2157Tr^{0,17} (t + 29,42)^{-0,89}$.

Para as chuvas de 10 anos de período de retorno, as alturas máximas médias de chuva estimadas neste estudo (desagregação, I-D e I-D-F) foram, em geral, superestimadas em relação ao método das isoietas nos dois municípios (Quadro 7). As maiores superestimativas ocorreram para as chuvas de Campos Novos, provavelmente porque, dentre outros fatores, as chuvas estimadas pelo método das isoietas para aquele local foram menores do que as estimadas para Lages. Para as chuvas com períodos de retorno de 25 e 50 anos, no entanto, todos os valores de alturas máximas médias de chuva estimados pelos métodos utilizados neste estudo (desagregação, I-D e I-D-F) foram subestimados em relação àqueles estimados pelo método das isoietas. Em todos os métodos utilizados, a subestimação aumentou com o aumento do período de retorno das chuvas, tendo sido, ainda, maior para Lages do que para Campos Novos. Os dados do quadro 7 mostram que, especialmente para Lages, os métodos da desagregação de chuva diária, equação I-D e equação I-D-F podem ser utilizados para estimar as alturas máximas médias de chuva num período de retorno de 10 anos, com pequena variação percentual em relação ao método das isoietas. Para Campos Novos, as variações são maiores, mas ainda aceitáveis.

Para os períodos de retorno maiores do que 10 anos (25 e 50 anos), as alturas máximas médias obtidas pelos métodos adotados neste estudo também podem

ser utilizadas, embora com menor precisão em relação àquelas obtidas pelo método das isoietas, uma vez que a maior variação situou-se em torno de 13% de subestimação (Quadro 7).

A predição de alturas máximas médias de chuva no período de retorno de 10 anos é fundamental no planejamento conservacionista, dentre outras aplicações, para estimar o volume de enxurrada aplicado no dimensionamento de canais de terraços de absorção, bacias de armazenagem de enxurrada e estruturas de minimização de enxurrada para a estabilização de estradas rurais em bacias hidrográficas. Assim, essas estruturas mecânicas de contenção de água deverão ser dimensionadas, de maneira que tenham capacidade para armazenar o volume total de enxurrada decorrente das chuvas que ocorrem dentro desse período de retorno.

CONCLUSÕES

1. As relações altura-duração-freqüência e intensidade-duração-freqüência das chuvas de curta duração de Lages e Campos Novos (SC) podem ser estimadas a partir das chuvas de "um dia" dos referidos locais.

2. Em um período de retorno de 4,6 anos, espera-se que uma altura de chuva igual ou superior a 101,32 mm ocorra pelo menos uma vez em qualquer um dos locais estudados.

3. Em períodos de retorno inferiores a 4,6 anos, as chuvas esperadas de Campos Novos são ligeiramente superiores às de Lages, sendo ligeiramente inferiores nos períodos de retorno maiores.

4. A equação intensidade-duração-freqüência das chuvas de Lages é: $i = 2050Tr^{0,20} (t + 29,41)^{-0,89}$ e de Campos Novos é: $i = 2157Tr^{0,17} (t + 29,42)^{-0,89}$.

5. As equações obtidas podem ser usadas para prever a magnitude das chuvas de Lages e Campos Novos, nos períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos.

Quadro 7. Alturas máximas de chuva para 30 minutos de duração, segundo isoietas de Souza Pinto (1966), modelo de desagregação, equações I-D e I-D-F, para Lages e Campos Novos (SC), e diferenças percentuais em relação às isoietas

Método	Período de retorno (ano)					
	10			25		
	Altura da Chuva			Diferença percentual		
	mm			%		
Lages						
Isoietas	43,00	55,00	64,00	0,00	0,00	0,00
Desagregação	42,57	50,13	55,74	-1,00	-8,91	-12,97
Equação I-D	44,21	52,06	57,89	2,81	-5,27	-9,53
Equação I-D-F	42,85	51,47	59,13	-0,35	-6,01	-7,19
Campos Novos						
Isoietas	40,00	51,00	58,00	0,00	0,00	0,00
Desagregação	41,48	47,81	52,51	3,70	-6,25	-9,47
Equação I-D	43,09	49,66	54,54	7,73	-2,63	-5,97
Equação I-D-F	42,07	49,17	55,32	5,18	-3,59	-4,62

AGRADECIMENTOS

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina, pela cessão dos dados de chuva utilizados neste estudo.

LITERATURA CITADA

- ASSAD, E.D.; MASUTOMO, R. & ASSAD, M.L.L. Estimativa das precipitações máximas prováveis com duração de 24 horas e de 30 minutos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 27:677-686, 1992.
- ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M. & CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas de Santa Maria, RS. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:265-269, 1992.

- BELL, F.C. Generalized rainfall duration frequency relationships. *J. Hydr. Div.*, 95:15-33, 1969.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC) - 1ª aproximação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:515-521, 1993.
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:1453-1458, 1994.
- CETESB. Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo, 1979. 479p.
- HERSHFIELD, D.M. Extreme rainfall relationships. *J. Hydr. Div.*, 88:73-92, 1962.
- OCCHIPINTI, A.G. & SANTOS, P.M. Relações entre as precipitações máximas de "um dia" e de "24 horas" na cidade de São Paulo. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, USP. 1966. 26p.
- PFAFSTETTER, O. Chuvas intensas no Brasil. Rio de Janeiro, DNOS, 1957. 419p.
- PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F.; ALVES, A.R. & CECON, P.R. Estimativa de chuvas intensas no estado de Minas Gerais utilizando registros diários. *Eng. Agr.*, 16:8-21, 1996.
- SOUZA PINTO, N.L. Hidrologia básica. São Paulo, Edgard Blücher, 1966. 278p.
- TUCCI, C.E.M. Hidrologia, ciência e aplicação. Porto Alegre, UFRGS. EDUSP/ABRH, 1993. 943p.
- VIEIRA, D.B.; LOMBARDI NETO, F. & SANTOS, R.P. Análise das intensidades máximas de chuva em Pindorama (SP). *R.Bras. Ci. Solo*, 18:255-260, 1994.
- VILLELA, S.M. & MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall index for a universal soil loss equation. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 23:246-249, 1959.