

IX-005 – OBTENÇÃO DA CURVA DE INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA PARA RIBEIRÃO PRETO USANDO REGISTRO DIÁRIO DE CHUVA

Giovanni Chaves Penner⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Prof. Dr. UNICOC Ribeirão Preto.

Marlon Pontonico Lima

Graduando em Engenharia Ambiental pela UNICOC Ribeirão Preto.

Endereço⁽¹⁾: Rua General Osório, 1000, Ap. 5 - Centro – Ribeirão Preto - SP - CEP: 14010-000 - Brasil - Tel: (16) 3931-5074 - e-mail: giovannipenner@hayoo.com.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise estatística das chuvas ocorridas em Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, de 1940 a 2006, incluindo a relação entre intensidade, duração e frequência. Os dados analisados foram registrados com pluviômetro instalado na estação experimental do Instituto Agrônomo, em Ribeirão Preto. Foram considerados os seguintes intervalos de duração: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos. Para o estudo da frequência de distribuição das chuvas intensas nos tempos de recorrência de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, utilizou-se o método de Chow-Gumbel. A análise dos resultados finais mostrou boa aderência entre os dados e modelo aplicado, assim como os valores de intensidade máxima de chuva obtida em cada duração, resultando no coeficiente de regressão linear 0,99989. Pelos resultados sugere-se que a equação pode ser utilizada nos casos em que as intensidades máximas de chuva são necessárias.

PALAVRAS-CHAVE: Chuvas Intensas, Enchentes, Período de Retorno.

INTRODUÇÃO

As chuvas intensas são responsáveis pela erosão dos solos e pela concentração de águas pluviais em vales e zonas ribeirinhas. Assim, o conhecimento das relações entre intensidade, duração e frequência dessas chuvas é de enorme importância para o projeto de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, como galerias, bueiros, extravasores de barragens, vãos de pontes, etc. (Vieira et al. 1998).

Para utilização dos dados de chuva em projetos de Engenharia de Drenagem, faz-se necessário conhecer as quatro características fundamentais da chuva: Intensidade, Duração, Frequência e Distribuição. A determinação dessa relação é feita a partir de dados históricos (Fendrich, 2003).

Eltz et al. (1992) afirmam que a análise de frequência é uma técnica estatística importante no estudo das chuvas, em razão da grande variabilidade temporal e espacial das precipitações pluviais, as quais não podem ser previstas em bases puramente determinísticas.

O Município de Ribeirão Preto vem já há muitos anos defrontando-se com o problema das inundações. O controle destas enchentes torna-se um desafio cada vez maior, à medida em que o crescimento de nossa área urbana impõe, como contrapartida, o aumento das áreas impermeabilizadas (Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, 2002).

Como agravante, nossa cidade encontra-se quase que totalmente inserida em uma única bacia hidrográfica, a do Ribeirão Preto. O seu núcleo original foi estabelecido próximo a foz deste curso d'água, que emprestou o seu nome ao município, processando-se o seu desenvolvimento no sentido das suas cabeceiras (Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, 2002).

Neste contexto, iniciou-se um estudo que analisou os dados referentes a um período de 66 anos (1940, 1941 e 1943 a 2006), coletados e registrados no pluviômetro localizado na Estação Experimental do Centro de Cana de Ribeirão Preto (Instituto Agrônomo de Campinas), a fim de obter uma equação de intensidade-duração-frequência (I-D-F) que permita aos projetistas prever eventos intensos em diferentes períodos de recorrência.

MATERIAL E MÉTODOS

A Estação Experimental de Ribeirão Preto tem como altitude média 621 metros acima do nível do mar, estando localizada nas coordenadas geográficas de 21°11' de latitude sul e 47°18' de longitude oeste. A precipitação média anual é de 1.492,2 mm, e a temperatura média anual é de 22,4 °C. O tipo climático é Aw, de acordo com a classificação de Köppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

Conforme Porto (1998), a ferramenta básica para os estudos hidrológicos em áreas urbanas é a relação intensidade-frequência-duração das chuvas de curta duração. Infelizmente, nem todas as cidades dispõem de série histórica de dados pluviográficos que possam ser utilizados para o levantamento desta relação. Muitas vezes há a necessidade de se avaliar tais relações, em regiões onde as únicas informações disponíveis são as chuvas de 1 dia. Desta forma foi aplicada a metodologia apresentada em Wilken (1978), onde se obteve uma relação para a cidade de Ribeirão Preto.

Partiu-se da relação obtida pelo Instituto Astronômico e Geofísico de São Paulo, que estabeleceu uma relação entre as alturas pluviométricas das chuvas máximas de "1 dia" e de "24 horas", obtidas dos dados pluviométricos e pluviográficos observados simultaneamente na cidade de São Paulo. Os resultados obtidos, resumidos no Quadro 1 mostram as relações entre tais alturas pluviométricas para vários períodos de retorno.

Quadro 1 – Relação entre as alturas de chuva máximas em São Paulo.

	PERÍODO DE RETORNO (ANOS)					
	5	10	25	50	75	100
Relação entre alturas pluviométricas das chuvas de 24 h e de 1 dia	1,13	1,13	1,14	1,15	1,14	1,15

Analisando os dados do Quadro 1 observa-se que as alturas de chuva máximas de "1 dia" e "24 horas", guardam uma relação quase constante independente do período de retorno, cujo valor é da ordem de 1,14, praticamente coincidente com o valor adotado pelo U.S. Weather Bureau para a mesma relação que é de 1,13.

RELAÇÃO ENTRE CHUVAS DE DIFERENTES DURAÇÕES

Já a relação entre chuvas de diferentes durações foi obtida da publicação do extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento-DNOS, "Chuvas Intensas no Brasil". Este trabalho levou ao estabelecimento de relações entre alturas pluviométricas de diferentes durações, para períodos de retorno de 2 a 100 anos, cujos valores médios são apresentados no Quadro 2.

Portanto, em regiões onde as únicas informações mais detalhadas são as chuvas de 1 dia observadas em postos pluviométricos, pode-se avaliar a chuva de 24 horas de determinada frequência, utilizando-se o fator 1,14, e a partir dessas, as chuvas de menor duração com a mesma frequência utilizando-se as relações constantes no Quadro 2.

DADOS DE CHUVA UTILIZADOS

A metodologia até agora descrita foi aplicada à série histórica de alturas pluviométricas máximas anuais, obtida na Experimental do Centro de Cana de Ribeirão Preto (Instituto Agrônomo de Campinas). Os dados foram tratados estatisticamente, determinando-se média, desvio padrão e coeficiente de assimetria da amostra, ordenados os valores em ordem decrescente e calculado as frequências e os períodos de retorno. Na Tabela 1 podem ser observados os dados máximos diários anuais.

Quadro 2 - Relação entre alturas pluviométricas.

Relação entre alturas pluviométricas	Valores médios obtidos no estudo do DNOS	Valores adotados pelo U.S. Weather Bureau
5 min/30 min	0,34	0,34
10 min/30 min	0,54	0,57
15 min/30 min	0,70	0,72
20 min/30 min	0,81	
25 min/30 min	0,91	
30 min/1 h	0,74	0,79
1 h/24 h	0,42	
6 h/24 h	0,72	
8 h/24 h	0,78	
10 h/24 h	0,82	
12 h/24 h	0,85	

Tabela 1 – Dados de precipitação máxima diária para Ribeirão Preto.

Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1940	81,1	1951	88,8	1961	81,1	1971	106,4	1981	84,0	1991	102,2	2001	68,7
1941	62,7	1952	65,2	1962	74,5	1972	73,9	1982	100,7	1992	57,8	2002	73,6
1943	70,0	1953	77,3	1963	105,2	1973	91,4	1983	89,5	1993	120,0	2003	112,1
1944	91,8	1954	76,0	1964	75,4	1974	88,0	1984	88,0	1994	79,0	2004	113,8
1945	98,6	1955	54,9	1965	68,3	1975	99,2	1985	93,9	1995	73,8	2005	59,6
1946	65,0	1956	173,6	1966	75,0	1976	88,1	1986	196,3	1996	97,0	2006	69,6
1947	78,0	1957	66,9	1967	111,3	1977	100,4	1987	76,6	1997	62,6		
1948	102,7	1958	79,9	1968	79,3	1978	63,6	1988	58,5	1998	72,4		
1949	86,5	1959	118,8	1969	70,5	1979	95,0	1989	121,8	1999	64,6		
1950	63,5	1960	92,2	1970	87,0	1980	97,0	1990	61,6	2000	74,1		

MÉTODO DE GUMBEL-CHOW

Em outro estudo os dados foram testados quanto a melhor distribuição. Por se tratar de uma série de eventos anuais extremos, foi utilizada a distribuição de frequência de Gumbel-Chow, normalmente empregada em Hidrologia, e expressa como:

$$P_{Tr} = P_{med} + K_{Tr} \sigma_p$$

Onde $P_{med} = 86,30$ mm e $\sigma_p = 24,39$ mm são, respectivamente a média e o desvio padrão da série histórica analisada, K_{Tr} o fator de frequência que depende do tamanho da amostra, do período de retorno e do tipo de distribuição e P_{Tr} o valor esperado da altura de chuva. Para a distribuição Gumbel-Chow, com $N = 66$ anos, a referência Reis (2000) fornece os valores de K_{Tr} em função do período de retorno.

Tabela 2 - Alturas de chuva máxima diária pelo método de Gumbel-Chow.

Período de retorno anos	Fator de frequência K	Altura de chuva P _T (mm)
2	-0,159	82,4
5	0,801	105,8
10	1,436	121,3
15	1,794	130,1
20	2,045	136,2
25	2,239	140,9
50	2,834	155,4
75	3,180	163,9
100	3,425	169,9

Os valores de P_T da Tabela 2, para cada período de retorno, foram multiplicados pelo fator 1,14 para se obter as alturas de chuva de "24 horas" e a partir daí usando-se as relações do Quadro 2 foram determinadas as precipitações, em milímetros, para durações menores, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Alturas de chuva (mm), para várias durações e períodos de retorno.

Duração	Período de Retorno (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	75	100
5 mim	9,9	12,7	14,6	15,7	16,4	17,0	18,7	19,7	20,5
10 mim	15,8	20,2	23,2	24,9	26,1	27,0	29,7	31,4	32,5
15 mim	20,4	26,2	30,1	32,3	33,8	34,9	38,6	40,6	42,1
20 mim	23,7	30,4	34,8	37,3	39,1	40,4	44,6	47,0	48,7
25 mim	26,6	34,1	39,1	41,9	43,9	45,4	50,1	52,8	54,8
30 mim	29,2	37,5	43,0	46,1	48,3	49,9	55,1	58,1	60,2
1h	39,5	50,7	58,1	62,3	65,2	67,5	74,4	78,5	81,3
6h	67,7	86,9	99,6	106,8	111,8	115,7	127,6	134,5	139,4
8h	73,3	94,1	107,9	115,7	121,1	125,3	138,2	145,7	151,0
10h	77,1	98,9	113,4	121,6	127,3	131,7	145,3	153,2	158,8
12h	79,9	102,6	117,6	126,0	132,0	136,5	150,6	158,8	164,6
24h	94,0	120,7	138,3	148,3	155,3	160,6	177,2	186,8	193,6
1 dia	82,4	105,8	121,3	130,1	136,2	140,9	155,4	163,9	169,9

Com os valores de precipitação obtidos na última transformação (Tabela 3), foram calculadas as intensidades de chuva em mm/min para as mesmas durações e períodos de retorno, ver Tabela 4.

RELAÇÃO INTENSIDADE-FREQUENCIA-DURAÇÃO

Os dados de intensidades de chuva foram utilizados para a determinação da relação intensidade-freqüência-duração. A expressão geral da relação é dada por:

$$i = \frac{K \cdot Tr^m}{(t+b)^n}$$

Onde: i é a intensidade em mm/min;

Tr o período de retorno em anos;

t a duração da chuva em min;

b é a correção do termo referente a duração;

K, m e n coeficientes determinados por análise de regressão.

Tabela 4 – Intensidade de chuva (mm/min)

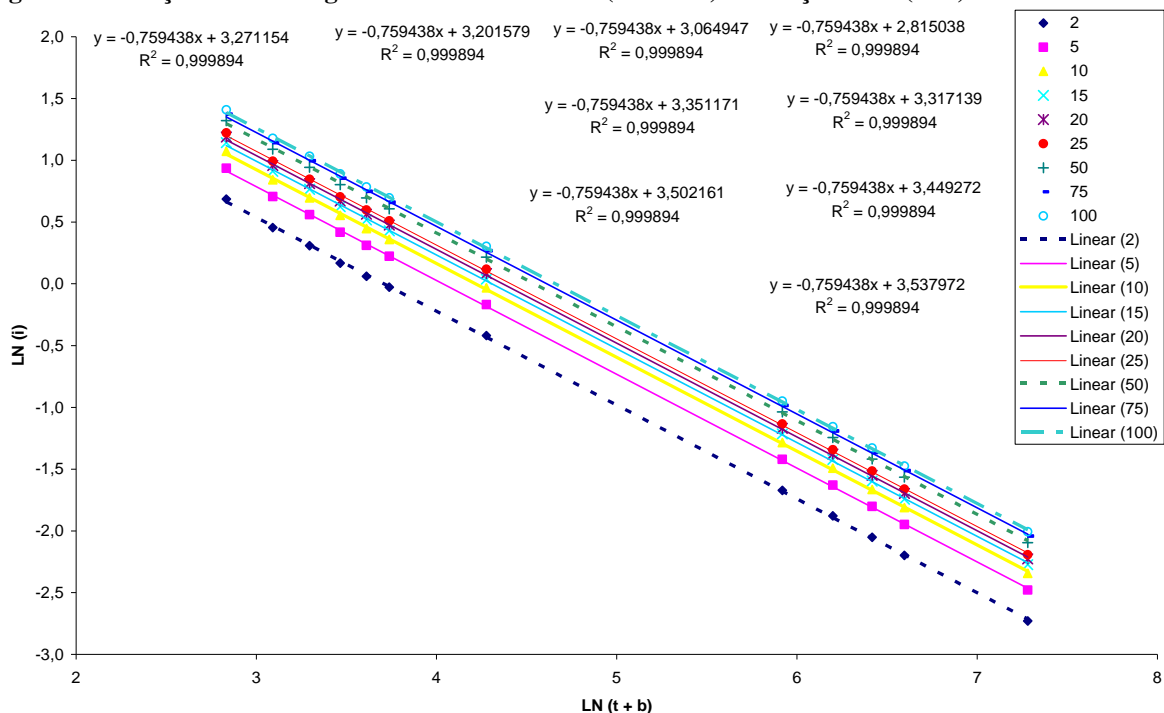
Intensidade (mm/min)	Período de Retorno (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	75	100
5	1,986	2,550	2,923	3,134	3,281	3,395	3,745	3,948	4,092
10	1,577	2,025	2,321	2,489	2,606	2,696	2,974	3,135	3,250
15	1,363	1,750	2,006	2,151	2,252	2,330	2,570	2,710	2,808
20	1,183	1,519	1,741	1,867	1,954	2,022	2,230	2,352	2,437
25	1,063	1,365	1,565	1,678	1,757	1,817	2,005	2,114	2,191
30	0,974	1,250	1,433	1,536	1,609	1,664	1,836	1,935	2,006
60	0,658	0,845	0,968	1,038	1,087	1,124	1,240	1,308	1,355
360	0,188	0,241	0,277	0,297	0,311	0,321	0,354	0,374	0,387
480	0,153	0,196	0,225	0,241	0,252	0,261	0,288	0,304	0,315
600	0,128	0,165	0,189	0,203	0,212	0,220	0,242	0,255	0,265
720	0,111	0,142	0,163	0,175	0,183	0,190	0,209	0,221	0,229
1440	0,065	0,084	0,096	0,103	0,108	0,112	0,123	0,130	0,134

A determinação dos parâmetros K, m, n, e b, é feita por análise de regressão. A relação gráfica entre os logaritmos das intensidades em mm/min e a duração $t + b$ com $b = 11$ min, conforme Tabela 4, é mostrada na Tabela 5 e na Figura 1. O valor $b = 11$ min foi o que forneceu o melhor coeficiente de determinação $R^2 = 0,99989$, para todos os períodos de retorno, ver Figura 1.

Tabela 5 – Valores os logaritmos das intensidades em mm/min e a duração $t + 13$ min, para cada período de retorno.

Ln (t+b)	Período Retorno								
	2	5	10	15	20	25	50	75	100
	Ln (Intensidade)								
2,8332	0,6862	0,9361	1,0727	1,1423	1,1883	1,2223	1,3204	1,3733	1,4091
3,0910	0,4557	0,7056	0,8422	0,9118	0,9578	0,9918	1,0899	1,1428	1,1786
3,2958	0,3097	0,5596	0,6962	0,7658	0,8118	0,8458	0,9439	0,9968	1,0326
3,4657	0,1680	0,4179	0,5545	0,6241	0,6701	0,7041	0,8022	0,8551	0,8909
3,6109	0,0612	0,3111	0,4478	0,5174	0,5633	0,5974	0,6955	0,7484	0,7842
3,7377	-0,0268	0,2231	0,3598	0,4293	0,4753	0,5094	0,6075	0,6603	0,6962
4,2767	-0,4188	-0,1689	-0,0323	0,0373	0,0833	0,1173	0,2154	0,2683	0,3041
5,9189	-1,6716	-1,4217	-1,2850	-1,2155	-1,1695	-1,1354	-1,0373	-0,9845	-0,9486
6,1985	-1,8792	-1,6293	-1,4927	-1,4231	-1,3771	-1,3431	-1,2450	-1,1921	-1,1563
6,4167	-2,0524	-1,8024	-1,6658	-1,5962	-1,5503	-1,5162	-1,4181	-1,3652	-1,3294
6,5958	-2,1987	-1,9488	-1,8122	-1,7426	-1,6966	-1,6626	-1,5645	-1,5116	-1,4758
7,2807	-2,7294	-2,4795	-2,3428	-2,2733	-2,2273	-2,1932	-2,0951	-2,0422	-2,0064

Figura 1 – Relação entre os logaritmos da intensidade (mm/min) e duração t + b (min).



Observe o bom ajuste das retas, para todos os períodos de retorno, adotando o valor $b = 13$ min.

Os parâmetros K e m , do numerador da equação básica, podem ser determinados por regressão, conforme a Tabela 6 e a Figura 2, usando os valores dos coeficientes (a_1) das retas da Figura 1.

Tabela 6 – Valores dos logaritmos de Tr e $C = K \cdot Tr^m$.

Período de Retorno (Tr)	$Ln(Tr)$	$Ln(C)$	C
100	4,605	3,538	34,397
75	4,317	3,502	33,187
50	3,912	3,449	31,477
25	3,219	3,351	28,536
20	2,996	3,317	27,581
15	2,708	3,271	26,342
10	2,303	3,202	24,571
5	1,609	3,065	21,433
2	0,693	2,815	16,694

RESULTADO FINAL

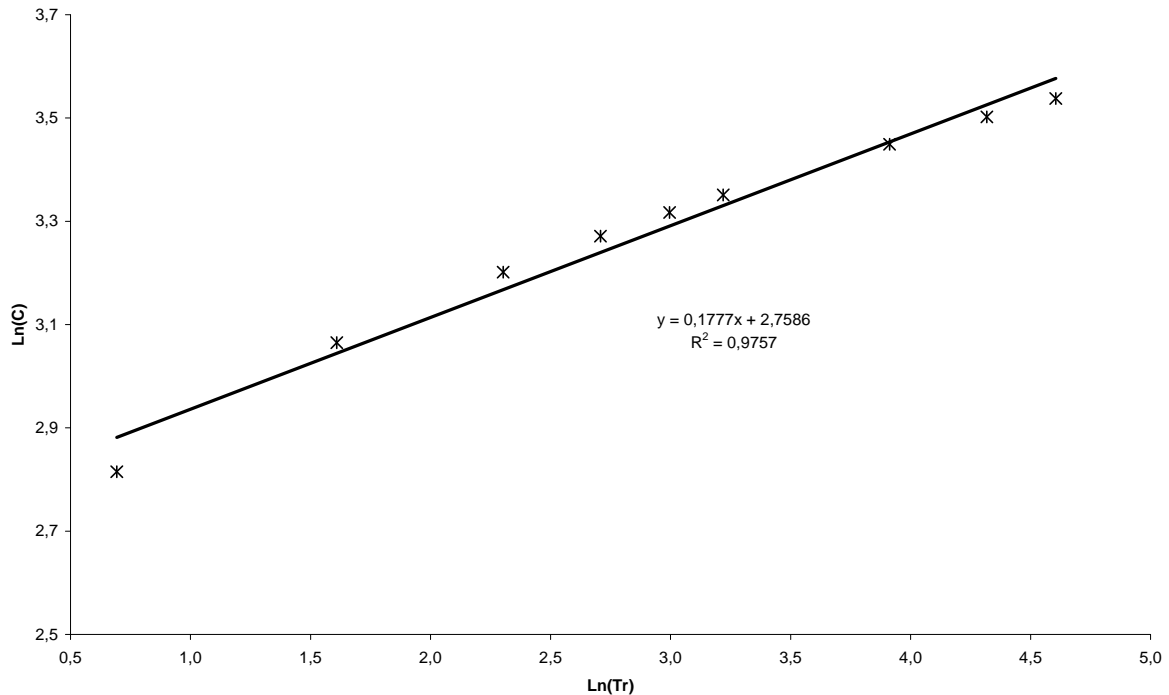
Recapitulando os valores encontrados $b = 12$ min; $n = 0,7594$ (coeficiente a_1 das retas da Figura 1); $m = 0,178$ (coeficiente a_1 da reta da Figura 2 e $Ln(K) = 2,7586$ (coeficiente a_2 da reta da Figura 2), daí $K = 15,78$.

Desta forma, a equação determinada foi:

$$I \text{ (mm/min)} = \frac{15,78 \cdot \text{Tr}^{0,178}}{(t + 12)^{0,7594}} \quad \text{Tr} \leq 100 \text{ anos}$$

$$I \text{ (mm/h)} = \frac{946,8 \cdot \text{Tr}^{0,178}}{(t + 12)^{0,7594}} \quad \text{Tr} \leq 100 \text{ anos}$$

Figura 2 – Relação entre os logaritmos de Tr e C.



CONCLUSÕES

As equações obtidas permitem o cálculo da intensidade máxima de chuvas com diferentes durações e períodos de retorno, com aproximação adequada a projetos de engenharia. Todavia os trabalhos estão sendo continuados para que seja obtida uma curva baseada também nos dados de diferentes durações extraídos dos pluviogramas.

Pode-se observar que os ajustes mostrados nas Figuras ficaram acima de 97% comprovando a validade da equação obtida.

AGRADECIMENTOS

Os autores desta pesquisa agradecem à FUNADESP que apóia esta pesquisa com o processo 3300142. Esse recurso permite a continuidade dos trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ELTZ, F.L.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.16, p.265-269, 1992.
2. FENDRICH, R. Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná. Curitiba-PR, 2003. 101p.



3. PORTO, R. Determinação da relação Intensidade-Frequência-Duração de chuvas para a cidade de Pirassununga, 1998. 7p.
4. PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO. Plano Diretor de Macrodrenagem de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, 2002. 56p.
5. REIS, L. F. R. Notas de Aula Disciplina SHS 403 – Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos-SP, 2000. 122 p.
6. VIEIRA, D.B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R.P. Relação entre Intensidade, Duração e Frequência de Chuvas em Mococa, SP. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Campinas, v.33, n. 8, 7p., 1998.
7. WILKEN, P. S. Engenharia de Drenagem Superficial. São Paulo-SP, 1978. 476p.