



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS EXTREMAS EM LONDRINA – PR

GLAUCO MARIGHELLA FERREIRA DA SILVA¹
PAULO HENRIQUE CARAMORI²
ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA³

RESUMO

O presente trabalho tem por intuito estimar as máximas pluviométricas para o município de Londrina – PR, através da identificação dos maiores eventos de precipitação diária ocorridos (eventos extremos) em cada ano da série histórica em análise, auxiliando no planejamento e na tomada de decisão principalmente quanto a dimensionamento de estruturas e prevenção de desastres. É de conhecimento comum de que as chuvas em grandes proporções podem gerar transtornos, entretanto, não existem dados atualizados sobre as precipitações máximas estimadas para o município de Londrina e desta forma o trabalho vem a contribuir para que os profissionais e o serviço público possam prevenir a população de eventos inesperados. Os dados utilizados foram coletados de 1961 a 2010 nas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agrônomo do Paraná (IAPAR), localizado no município de Londrina. Para a estimativa de precipitações máximas utilizou-se o método de distribuição de Gumbel, juntamente com a equação geral de duração de precipitações máximas de Holtz (1966). Os resultados possibilitam melhorar o dimensionamento de estruturas nos meios rural e urbano, reduzindo impactos de eventos extremos.

Palavras-chave: Distribuição de Gumbel; precipitações extremas; máximas pluviométricas em Londrina.

¹ Graduando do curso de Geografia da Universidade Estadual de Londrina. Membro Dirigente do CREAjr-PR. Bolsista CNPq – IAPAR. E-mail: glaucomarighella@hotmail.com.

² Eng. Agrônomo, PhD Agrometeorologia. Pesquisador do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) bolsista do CNPq. E-mail: caramori@iapar.br.

³ Eng. Agrônomo, PhD Engenharia Agrícola. Pesquisador aposentado do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), atualmente na UNESP-Campus de Jaboticabal, bolsista do CNPq. E-mail: rtefaria@gmail.com.

EXTREME PLUVIAL PRECIPITATION IN LONDRINA – PR

ABSTRACT

The purpose of this paper is to estimate the maximum rainfall for the municipality of Londrina - PR, by identifying the major daily precipitation events occurred (extreme events) in each year of the series under analysis, assisting in planning and decision making particularly regarding the design of structures and disaster prevention. It is common knowledge that rainfall can cause major disorders; however there are no current data on the estimated maximum rainfall for the municipality of Londrina, so the work is to contribute to the professional and public service to prevent the population of unexpected events. The estimates of return periods of precipitations were performed with the Gumbel distribution, together with the general equation for the duration of precipitations of Holtz (1966). The data were collected from 1961 to 2010 at the weather stations of the National Institute of Meteorology (INMET) and the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR), located in Londrina. The results help to improve the design of structures in rural and urban areas, reducing impacts of extreme events.

Key-words: Gumbel distribution, extreme rainfall, maximum rainfall in Londrina.

1 INTRODUÇÃO

A cultura humana está intimamente ligada aos fenômenos climáticos. As chuvas são essenciais para a manutenção da vida e fator eficaz para o sucesso das safras agrícolas. Entretanto, chuvas em grande quantidade podem gerar problemas relacionados a inundações, perda de safras, enchentes, destruição da infraestrutura urbana e rural, riscos de deslizamentos e conseqüentemente mortes.

Grandes eventos pluviais podem gerar saturação do solo, levando ao aumento do fluxo superficial e causar perda de solo por enxurrada, acúmulo superficial de água, gerando prejuízos para toda a sociedade.

O estudo de eventos extremos se torna essencial para construção de obras de engenharia que suportem também grandes chuvas, pois, apesar de serem excepcionais, tem altas probabilidades de gerar sérios problemas devido a falhas na estimativa de valores críticos nos projetos, seja para o agricultor, cuja produção depende das condições hídricas da sua lavoura, seja para o homem da cidade, que convive com distúrbios gerados por fortes chuvas.

Visando todos esses problemas gerados por excesso de chuva, principalmente em eventos seguidos ou em curtos períodos de tempo, o presente trabalho vem com o intuito de identificar os eventos pluviais extremos e estimar o período de retorno dos mesmos, além de gerar parâmetros estatísticos de probabilidade de limites de chuva a partir de dados dos últimos 50 anos (1961-2010) em Londrina-PR.

2 MÉTODO

A quantidade de chuva depende de diversos fatores climáticos, destacando-se correntes e massas de ar, localização geográfica, condições de estabilidade e relevo.

Sendo assim, esses diversos fatores se combinam ao longo dos anos e criam uma dinâmica complexa, cuja compreensão vem sendo exaustivamente buscada pela ciência. Sua regularidade e as interligações entre as diferentes forças da natureza ainda não são totalmente compreendidas, e tão pouco existem séries de dados meteorológicos longas o suficiente para representar os ciclos climáticos. Os eventos climáticos são relacionados principalmente às estações do ano, não se considerando a variação que a mesma pode ter dentro de períodos maiores, chegando alguns autores a afirmarem que esses ciclos podem ser mais longos que os próprios registros humanos (SANT'ANNA NETO, 2007).

As precipitações pluviais extremas estão ligadas principalmente ao aquecimento do ar úmido próximo ao solo, que, ao se perturbar sua estabilidade, sofre rápida ascensão, fazendo com que se precipitem enormes quantidades de água em um curto período de tempo, principalmente durante o verão no Centro-Sul do Brasil. Essas chuvas, geralmente, têm grande intensidade e pequena duração e podem ocasionar inundações (TUCCI, 2000).

Esses grandes eventos pluviais afetam as atividades humanas, pois geram inundações, desmoronamentos, enchentes, perda de lavouras, destruição de infraestrutura e mortes. O conhecimento dos limites máximos de chuva é essencial para dimensionar a capacidade de suporte de estruturas de contenção, escoamento e drenagem e assim minimizar os danos.

O aumento do fator de segurança das obras de engenharia conseqüentemente provoca aumento dos valores das construções, entretanto o risco de falhas se torna menor e o tempo de vida da mesma maior. Desta forma se torna essencial conhecer a quantidade máxima que o projeto terá que suportar ao longo dos anos.

Conforme Farias (1990), as formas diretas de obtenção de dados a respeito de vazão e pluviosidade são mais confiáveis, através de medições diárias, entretanto elas são mais caras e nem sempre é possível obter grandes séries de dados contínuos dependendo da região, além do tempo para obtenção ser muito longo. A grande vantagem de se utilizar séries de dados de precipitações máximas em estudos de chuva-vazão de bacias hidrográficas é a maior disponibilidade de séries históricas de precipitação em comparação com dados de vazão (TUCCI, 2000). Por isso as formas indiretas são as mais utilizadas, por meio do uso de equações matemáticas que estimam os limites dos índices de pluviosidade e vazão para aplicações no dimensionamento de obras hidráulicas (MELLO; SILVA, 2005).

Apesar de não retratarem a realidade, já que não se pode afirmar que uma mesma quantidade de chuva em certo período do ano é equivalente a uma chuva alguns meses mais tarde, pois não necessariamente estão ligados às mesmas condições atmosféricas, os modelos probabilísticos de distribuição de valores extremos são válidos e muito empregados na hidrologia (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

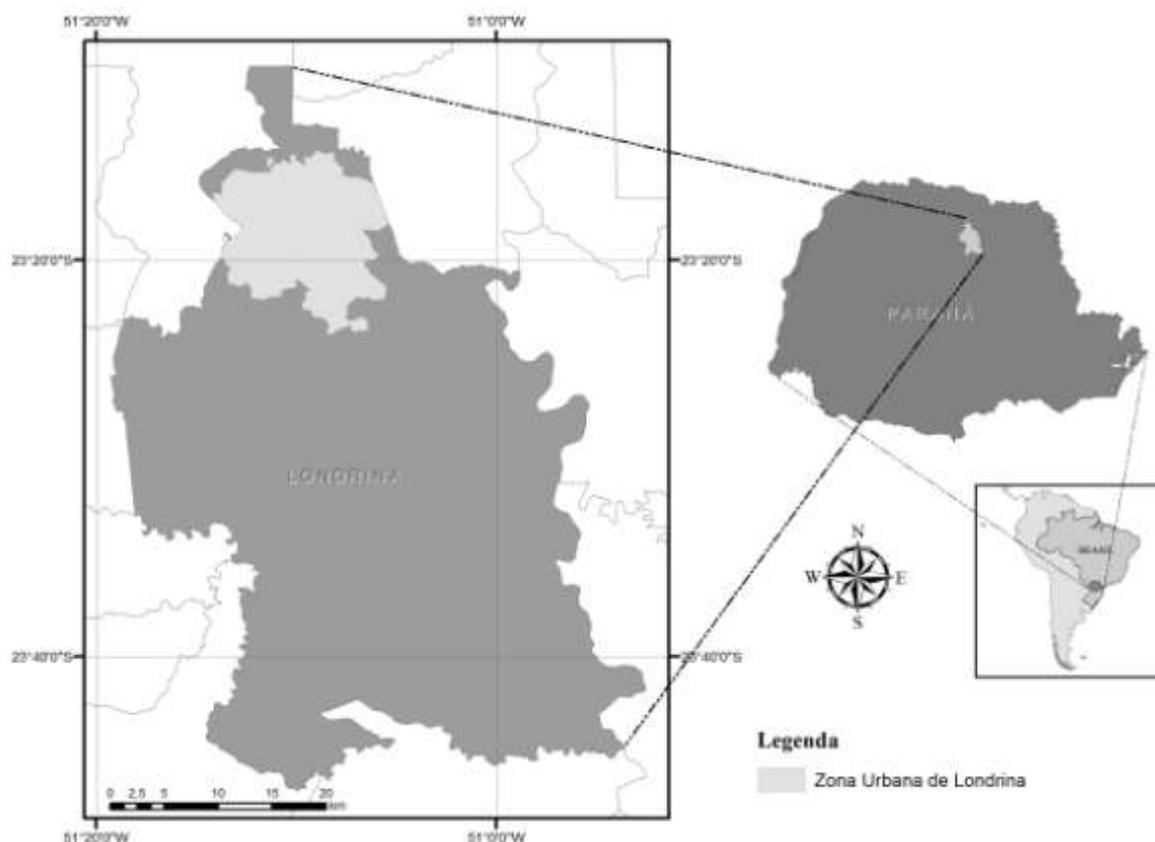
A utilização de linguagem matemática para eventos pluviais se justifica já que a mesma gera a capacidade de prever e estimar a quantidade, a duração e a intensidade, auxiliando no cotidiano e no planejamento, principalmente quando se trata de precipitações pluviais extremas.

Os resultados do presente trabalho foram gerados por meio da análise de diários de precipitação coletados nas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de 1961 a 1975 e do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), de 1976 a 2010, ambas localizadas no município de Londrina, a 3km de distância em linha reta. A série de dados corresponde a 50 anos de registros ininterruptos, quantidade acima do recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), que recomenda uma série de pelo menos 30 anos para uma análise consistente. Antes de se utilizar os dados, foram realizados testes de

homogeneidade das séries, conforme WMO (1983), verificando-se que os mesmos podem ser analisados como uma série contínua. Desta forma, os registros foram organizados em uma planilha eletrônica, verificados e consistidos quanto a possíveis erros de digitação e posteriormente analisados.

Os cálculos foram realizados com a aplicação da metodologia de Kessler & Raad (1980 apud FARIA e WAGNER, 1990). Deste modo, foram considerados períodos de precipitação de 1 a 6 dias ($t= 1, 2, 3, 4, 5$ e 6). Assim, a pluviosidade para 1 dia foi obtida pelo registro diário da estação, enquanto de 2 a 6 dias a quantidade de chuva foi a soma dos dias adjacentes (2 dias de chuva são equivalentes à soma do dia anterior com o dia em questão, 3 dias equivale à soma dos dois dias anteriores e o dia em questão, etc.). Dos dados obtidos para cada período em análise, foram selecionados os maiores eventos pluviométricos dos anos, que foram tratados como as precipitações pluviais extremas em Londrina.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DE LONDRINA NO NORTE PARANAENSE



Elaboração: SILVA, G. M. F.

Esses valores extremos foram ordenados em valores decrescentes para cada período, sendo o maior valor denotado como 1. O resultado correspondeu às precipitações máximas observadas com durações de um a seis dias.

Assim, determinaram-se as precipitações máximas esperadas e os períodos de recorrência observados. Para a determinação do tempo de recorrência, utilizou-se a distribuição de Gumbel (ou distribuição de extremos do tipo I), que consiste na fórmula básica (TUCCI, 2000):

$$P(X \leq x) = \exp(-\exp(-y))$$

em que **P** a probabilidade de um dado valor ser igualado ou excedido e **y** é a variável reduzida dada por:

$$y = (x - x_f) \frac{S_n}{S_x}$$

$$x_f = \bar{x} - S_x \left(\frac{Y_n}{S_n} \right)$$

em que **x_f** é a moda dos valores extremos, **S_n** é o desvio padrão da variável reduzida **Y**, **S_x** é o desvio padrão da variável **x**, e \bar{x} e \bar{y} , as médias das variáveis **x** e **y**, respectivamente.

Os valores **Y_n** e **S_n** são obtidos em função do número de dados (Tabela 1).

TABELA 1 - VALORES TABELADOS DAS VARIÁVEIS REDUZIDAS **Y_N** E **S_N** E DESVIO PADRÃO DA VARIÁVEL REDUZIDA **Y**, EM FUNÇÃO DO NÚMERO **n** DE VARIÁVEIS.

n	Y _n	S _n
20	0,52	1,06
30	0,54	1,11
40	0,54	1,14
50	0,55	1,16
60	0,55	1,17
70	0,55	1,19
80	0,56	1,19
90	0,56	1,20
100	0,56	1,21
150	0,56	1,23
200	0,57	1,24
∞	0,57	1,28

Fonte: (Villela, 1975).

A probabilidade inversa, ou seja, a possibilidade do evento não ser igualado ou excedido é dado por:

$$P(X \geq x) = 1 - P$$

O tempo de recorrência (**T**) corresponde a:

$$T = \frac{1}{1-P}$$

Tendo-se as equações ajustadas à distribuição de Gumbel para cada tempo de duração, ajustou-se a equação geral de estimativa de precipitações máximas prováveis para períodos de retorno $T = 2, 5, 10, 20$ e 30 anos e de tempo de duração $t = 1, 2, 3, 4, 5$ e 6 dias de Holtz (1966 apud FARIA e WAGNER, 1990):

$$H = a.T^b.(t - c)^d,$$

em que **H** representa a pluviosidade máxima estimada ou observada, **T** o tempo de recorrência calculado e **t** o número de dias de duração do evento pluvial. O ajuste desta equação foi realizado com o auxílio do software *SigmaPlot®*, utilizando procedimentos de ajuste de modelo de regressão não linear para obtenção dos coeficientes **a**, **b**, **c** e **d**.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tabelas 2 a 7 apresentam as precipitações máximas observadas, **Y** a variável reduzida, **P** a probabilidade da precipitação não ser excedida, $1-P$ a probabilidade de ser excedida.

TABELA 2 - VALORES OBTIDOS PARA PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS COM DURAÇÃO DE 1 DIA

ANO	Precipitação em 1 dia	Y	P	(1-P)	Período de Recorrência em anos (T)	Ordem: 1 dia (r)
1997	161,0	4,295	0,986	0,014	73,864	1
1984	151,2	3,802	0,978	0,022	45,313	2
1992	142,7	3,375	0,966	0,034	29,723	3
1991	119,1	2,188	0,894	0,106	9,424	4
1989	117,1	2,087	0,883	0,117	8,572	5
1977	116,3	2,047	0,879	0,121	8,254	6
1993	113,5	1,906	0,862	0,138	7,239	7
2010	108,2	1,639	0,824	0,176	5,668	8
1994	106,4	1,549	0,809	0,191	5,224	9
2007	104,8	1,468	0,794	0,206	4,861	10
1982	102,0	1,328	0,767	0,233	4,294	11
1975	98,9	1,172	0,734	0,266	3,753	12
1985	98,2	1,136	0,725	0,275	3,642	13
1996	96,1	1,031	0,700	0,300	3,333	14
2009	96,0	1,026	0,699	0,301	3,319	15
1974	92,8	0,865	0,656	0,344	2,909	16
1972	85,0	0,472	0,536	0,464	2,155	17
2005	84,2	0,432	0,522	0,478	2,094	18
1987	83,2	0,382	0,505	0,495	2,021	19
1988	83,0	0,372	0,502	0,498	2,007	20
1964	82,8	0,362	0,498	0,502	1,993	21
1998	82,8	0,362	0,498	0,502	1,993	22
1962	82,4	0,342	0,491	0,509	1,966	23
1978	81,4	0,291	0,474	0,526	1,900	24
1963	81,0	0,271	0,466	0,534	1,874	25
1980	80,0	0,221	0,448	0,552	1,813	26
1968	78,7	0,155	0,425	0,575	1,739	27
1990	77,8	0,110	0,408	0,592	1,690	28
1961	77,0	0,070	0,394	0,606	1,649	29
2002	77,0	0,070	0,394	0,606	1,649	30
1969	76,6	0,050	0,386	0,614	1,629	31
1973	76,6	0,050	0,386	0,614	1,629	32
2001	76,4	0,040	0,382	0,618	1,619	33
1976	75,0	-0,031	0,357	0,643	1,554	34
1983	74,8	-0,041	0,353	0,647	1,545	35
1999	74,8	-0,041	0,353	0,647	1,545	36
2003	73,8	-0,091	0,334	0,666	1,502	37
1965	73,4	-0,111	0,327	0,673	1,486	38
1970	73,2	-0,121	0,323	0,677	1,478	39
2000	68,9	-0,338	0,246	0,754	1,327	40
1995	68,8	-0,343	0,244	0,756	1,324	41
2004	68,8	-0,343	0,244	0,756	1,324	42
1981	65,9	-0,488	0,196	0,804	1,244	43
1966	65,2	-0,524	0,185	0,815	1,227	44
1986	62,5	-0,659	0,145	0,855	1,169	45

1979	62,0	-0,685	0,138	0,862	1,160	46
1971	60,7	-0,750	0,120	0,880	1,137	47
2008	59,8	-0,795	0,109	0,891	1,123	48
2006	59,0	-0,836	0,100	0,900	1,111	49
1967	50,5	-1,263	0,029	0,971	1,030	50
MÉDIA (x)	86,55					
DESVIO PADRÃO (Sx)	23,061					
Sn	1,16					
Yn	0,55					
Xf	75,612					

TABELA 3 - VALORES OBTIDOS PARA PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS COM DURAÇÃO DE 2 DIAS

ANO	Precipitação em 2 dias	Y	P	(1-P)	Período de Recorrência em anos (T)	Ordem: 2 dias (r)
1989	212,40	3,87	0,98	0,02	48,55	1
1992	185,20	2,88	0,95	0,05	18,35	2
1997	182,30	2,78	0,94	0,06	16,56	3
1991	169,70	2,32	0,91	0,09	10,66	4
1984	162,60	2,06	0,88	0,12	8,35	5
1993	159,00	1,93	0,86	0,14	7,39	6
1998	157,00	1,86	0,86	0,14	6,91	7
2007	151,40	1,65	0,83	0,17	5,73	8
1980	148,30	1,54	0,81	0,19	5,17	9
1990	147,50	1,51	0,80	0,20	5,04	10
2009	146,40	1,47	0,79	0,21	4,86	11
1987	144,20	1,39	0,78	0,22	4,53	12
1985	142,50	1,33	0,77	0,23	4,29	13
1988	139,50	1,22	0,74	0,26	3,90	14
2002	139,00	1,20	0,74	0,26	3,84	15
1961	137,70	1,15	0,73	0,27	3,69	16
1964	135,20	1,06	0,71	0,29	3,42	17
2001	131,00	0,91	0,67	0,33	3,01	18
1977	130,70	0,90	0,67	0,33	2,99	19
1975	130,00	0,87	0,66	0,34	2,93	20
1982	126,90	0,76	0,63	0,37	2,68	21
1983	124,80	0,68	0,60	0,40	2,52	22
1974	124,40	0,67	0,60	0,40	2,49	23
1969	120,60	0,53	0,56	0,44	2,25	24
1978	120,30	0,52	0,55	0,45	2,23	25
1972	118,70	0,46	0,53	0,47	2,14	26
1996	116,20	0,37	0,50	0,50	2,00	27
1994	115,00	0,33	0,49	0,51	1,94	28
1973	113,20	0,26	0,46	0,54	1,86	29
1976	111,80	0,21	0,44	0,56	1,80	30

2010	108,40	0,09	0,40	0,60	1,66	31
1962	108,20	0,08	0,40	0,60	1,66	32
2003	105,30	-0,03	0,36	0,64	1,56	33
1971	103,20	-0,10	0,33	0,67	1,49	34
1981	102,30	-0,14	0,32	0,68	1,47	35
1965	102,00	-0,15	0,31	0,69	1,46	36
2005	100,40	-0,21	0,29	0,71	1,41	37
1963	94,80	-0,41	0,22	0,78	1,28	38
1995	94,80	-0,41	0,22	0,78	1,28	39
2000	94,20	-0,43	0,21	0,79	1,27	40
1986	91,80	-0,52	0,19	0,81	1,23	41
1970	90,60	-0,56	0,17	0,83	1,21	42
2004	88,60	-0,64	0,15	0,85	1,18	43
1968	87,90	-0,66	0,14	0,86	1,17	44
1999	85,30	-0,76	0,12	0,88	1,14	45
1966	81,70	-0,89	0,09	0,91	1,10	46
1979	79,40	-0,97	0,07	0,93	1,08	47
1967	69,80	-1,32	0,02	0,98	1,02	48
2006	63,00	-1,57	0,01	0,99	1,01	49
2008	62,80	-1,57	0,01	0,99	1,01	50
MÉDIA (x)	121,16					
DESVIO PADRÃO (Sx)	31,86					
Sn	1,16					
Yn	0,55					
Xf	106,056					

TABELA 4 - VALORES OBTIDOS PARA PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS COM DURAÇÃO DE 3 DIAS

ANO	Precipitação em 3 dias	Y	P	(1-P)	Período de Recorrência em anos (T)	Ordem: 3 dias (r)
1989	264,00	4,41	0,99	0,01	83,03	1
1997	205,70	2,58	0,93	0,07	13,71	2
2002	197,30	2,32	0,91	0,09	10,65	3
1980	195,10	2,25	0,90	0,10	9,97	4
1991	193,30	2,19	0,89	0,11	9,45	5
1993	192,20	2,16	0,89	0,11	9,15	6
1992	185,40	1,94	0,87	0,13	7,49	7
1964	174,00	1,58	0,81	0,19	5,39	8
1977	172,50	1,54	0,81	0,19	5,17	9
1990	172,20	1,53	0,80	0,20	5,13	10
2009	168,00	1,40	0,78	0,22	4,56	11
1998	166,40	1,35	0,77	0,23	4,36	12
1984	166,10	1,34	0,77	0,23	4,33	13
1974	163,80	1,26	0,75	0,25	4,06	14
1987	159,60	1,13	0,72	0,28	3,63	15

2007	156,80	1,04	0,70	0,30	3,37	16
1983	156,00	1,02	0,70	0,30	3,30	17
1961	147,90	0,76	0,63	0,37	2,69	18
2001	146,80	0,73	0,62	0,38	2,61	19
1975	146,20	0,71	0,61	0,39	2,58	20
1965	144,20	0,65	0,59	0,41	2,46	21
1985	142,50	0,59	0,58	0,42	2,36	22
1976	141,60	0,57	0,57	0,43	2,31	23
1973	141,40	0,56	0,56	0,44	2,30	24
1988	139,90	0,51	0,55	0,45	2,22	25
2003	138,00	0,45	0,53	0,47	2,13	26
1996	137,80	0,45	0,53	0,47	2,12	27
1982	136,30	0,40	0,51	0,49	2,05	28
2005	135,50	0,37	0,50	0,50	2,01	29
1978	134,80	0,35	0,50	0,50	1,98	30
1981	131,90	0,26	0,46	0,54	1,86	31
1994	128,30	0,15	0,42	0,58	1,73	32
1995	121,90	-0,05	0,35	0,65	1,53	33
1971	121,50	-0,07	0,34	0,66	1,52	34
1969	120,60	-0,09	0,33	0,67	1,50	35
1970	120,60	-0,09	0,33	0,67	1,50	36
1972	118,70	-0,15	0,31	0,69	1,45	37
2010	117,40	-0,19	0,30	0,70	1,42	38
1962	114,60	-0,28	0,27	0,73	1,36	39
2004	111,10	-0,39	0,23	0,77	1,29	40
2006	107,50	-0,51	0,19	0,81	1,24	41
2000	102,70	-0,66	0,15	0,85	1,17	42
1963	101,00	-0,71	0,13	0,87	1,15	43
1999	97,40	-0,82	0,10	0,90	1,11	44
2008	96,20	-0,86	0,09	0,91	1,10	45
1966	90,90	-1,03	0,06	0,94	1,07	46
1967	86,80	-1,16	0,04	0,96	1,04	47
1968	85,50	-1,20	0,04	0,96	1,04	48
1979	79,40	-1,39	0,02	0,98	1,02	49
1986	79,00	-1,40	0,02	0,98	1,02	50
MÉDIA (x)	141,09					
DESVIO PADRÃO (Sx)	36,91					
Sn	1,16					
Yn	0,55					
Xf	123,588					

TABELA 5 - VALORES OBTIDOS PARA PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS COM DURAÇÃO DE 4 DIAS

ANO	Precipitação em 4 dias	Y	P	(1-P)	Período de Recorrência em anos (T)	Ordem: 4 dias (r)
1989	291,50	4,41	0,99	0,01	82,47	1
1997	226,50	2,55	0,92	0,08	13,31	2
2002	217,80	2,30	0,90	0,10	10,49	3
1980	218,50	2,32	0,91	0,09	10,70	4
1991	193,30	1,60	0,82	0,18	5,48	5
1993	219,20	2,34	0,91	0,09	10,90	6
1992	190,40	1,52	0,80	0,20	5,08	7
1964	191,00	1,54	0,81	0,19	5,16	8
1977	174,90	1,08	0,71	0,29	3,46	9
1990	267,50	3,72	0,98	0,02	41,80	10
2009	182,60	1,30	0,76	0,24	4,18	11
1998	175,50	1,09	0,72	0,28	3,51	12
1984	166,10	0,82	0,64	0,36	2,82	13
1974	168,10	0,88	0,66	0,34	2,95	14
1987	160,40	0,66	0,60	0,40	2,48	15
2007	156,80	0,56	0,56	0,44	2,30	16
1983	193,80	1,62	0,82	0,18	5,55	17
1961	149,80	0,36	0,50	0,50	1,99	18
2001	146,80	0,27	0,47	0,53	1,88	19
1975	156,80	0,56	0,56	0,44	2,30	20
1965	145,40	0,23	0,45	0,55	1,83	21
1985	142,50	0,15	0,42	0,58	1,73	22
1976	147,20	0,28	0,47	0,53	1,89	23
1973	156,20	0,54	0,56	0,44	2,27	24
1988	140,60	0,10	0,40	0,60	1,68	25
2003	166,70	0,84	0,65	0,35	2,86	26
1996	157,90	0,59	0,57	0,43	2,35	27
1982	143,10	0,17	0,43	0,57	1,75	28
2005	155,50	0,52	0,55	0,45	2,23	29
1978	138,20	0,03	0,38	0,62	1,61	30
1981	139,90	0,08	0,40	0,60	1,66	31
1994	128,40	-0,25	0,28	0,72	1,38	32
1995	148,10	0,31	0,48	0,52	1,92	33
1971	128,10	-0,26	0,27	0,73	1,38	34
1969	120,60	-0,48	0,20	0,80	1,25	35
1970	128,50	-0,25	0,28	0,72	1,38	36
1972	166,00	0,82	0,64	0,36	2,81	37
2010	130,00	-0,21	0,29	0,71	1,41	38
1962	122,00	-0,44	0,21	0,79	1,27	39
2004	122,80	-0,41	0,22	0,78	1,28	40
2006	139,80	0,07	0,39	0,61	1,65	41
2000	121,80	-0,44	0,21	0,79	1,27	42
1963	118,70	-0,53	0,18	0,82	1,22	43
1999	127,20	-0,29	0,26	0,74	1,36	44
2008	96,20	-1,17	0,04	0,96	1,04	45

1966	91,90	-1,30	0,03	0,97	1,03	46
1967	87,30	-1,43	0,02	0,98	1,02	47
1968	135,50	-0,05	0,35	0,65	1,54	48
1979	123,30	-0,40	0,23	0,77	1,29	49
1986	108,30	-0,83	0,10	0,90	1,11	50
MÉDIA (x)	156,50					
DESVIO PADRÃO (Sx)	40,61					
Sn	1,16					
Yn	0,55					
Xf	137,243					

TABELA 6 - VALORES OBTIDOS PARA PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS COM DURAÇÃO DE 5 DIAS

ANO	Precipitação em 5 dias	Y	P	(1-P)	Período de Recorrência em anos (T)	Ordem: 5 dias(r)
1989	308,30	4,12	0,98	0,02	62,22	1
1990	295,00	3,78	0,98	0,02	44,43	2
1980	249,50	2,62	0,93	0,07	14,24	3
1997	243,50	2,47	0,92	0,08	12,28	4
2002	233,60	2,21	0,90	0,10	9,65	5
1993	225,80	2,01	0,88	0,12	8,00	6
1964	218,70	1,83	0,85	0,15	6,76	7
2009	216,40	1,77	0,84	0,16	6,41	8
1992	210,70	1,63	0,82	0,18	5,61	9
2003	204,00	1,46	0,79	0,21	4,81	10
1974	199,90	1,35	0,77	0,23	4,39	11
1972	199,50	1,34	0,77	0,23	4,35	12
1983	194,10	1,20	0,74	0,26	3,86	13
1991	193,30	1,18	0,74	0,26	3,79	14
2005	185,80	0,99	0,69	0,31	3,23	15
1998	184,90	0,97	0,68	0,32	3,16	16
1968	182,30	0,90	0,67	0,33	3,00	17
1977	175,30	0,72	0,62	0,38	2,60	18
1973	170,40	0,60	0,58	0,42	2,36	19
1996	166,90	0,51	0,55	0,45	2,21	20
1984	166,10	0,49	0,54	0,46	2,18	21
2007	162,90	0,41	0,51	0,49	2,06	22
1969	161,00	0,36	0,50	0,50	1,99	23
1987	160,40	0,34	0,49	0,51	1,97	24
1995	159,50	0,32	0,48	0,52	1,94	25
1975	156,80	0,25	0,46	0,54	1,85	26
1965	150,30	0,08	0,40	0,60	1,66	27
1961	149,80	0,07	0,39	0,61	1,65	28
2006	147,80	0,02	0,38	0,62	1,60	29

1976	147,20	0,00	0,37	0,63	1,59	30
2001	146,80	-0,01	0,37	0,63	1,58	31
1982	144,40	-0,07	0,34	0,66	1,52	32
1994	143,10	-0,10	0,33	0,67	1,49	33
1985	142,50	-0,12	0,33	0,67	1,48	34
1970	142,00	-0,13	0,32	0,68	1,47	35
1971	141,10	-0,15	0,31	0,69	1,45	36
1988	140,60	-0,16	0,31	0,69	1,44	37
1981	140,50	-0,17	0,31	0,69	1,44	38
1978	138,50	-0,22	0,29	0,71	1,41	39
2010	137,60	-0,24	0,28	0,72	1,39	40
1963	136,40	-0,27	0,27	0,73	1,37	41
2004	135,60	-0,29	0,26	0,74	1,36	42
1999	129,90	-0,44	0,21	0,79	1,27	43
1979	128,30	-0,48	0,20	0,80	1,25	44
1962	126,40	-0,53	0,18	0,82	1,23	45
2000	121,80	-0,64	0,15	0,85	1,17	46
1986	113,30	-0,86	0,09	0,91	1,10	47
2008	107,90	-1,00	0,07	0,93	1,07	48
1967	97,50	-1,27	0,03	0,97	1,03	49
1966	93,00	-1,38	0,02	0,98	1,02	50
MÉDIA (x)	168,54					
DESVIO PADRÃO (Sx)	45,38					
Sn	1,16					
Yn	0,55					
Xf	147,023					

TABELA 7 - VALORES OBTIDOS PARA PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS COM DURAÇÃO DE 6 DIAS

ANO	Precipitação em 6 dias	Y	P	(1-P)	Período de Recorrência (T)	Ordem: 6 dias (r)
1990	311,80	3,76	0,98	0,02	43,25	1
1989	308,30	3,67	0,97	0,03	39,82	2
1980	266,90	2,68	0,93	0,07	15,11	3
2009	266,80	2,68	0,93	0,07	15,07	4
1997	246,50	2,19	0,89	0,11	9,47	5
2002	238,60	2,00	0,87	0,13	7,93	6
1964	236,20	1,95	0,87	0,13	7,52	7
1993	227,10	1,73	0,84	0,16	6,15	8
2003	225,30	1,69	0,83	0,17	5,91	9
2005	220,90	1,58	0,81	0,19	5,38	10
1992	210,70	1,34	0,77	0,23	4,33	11
1974	204,70	1,19	0,74	0,26	3,82	12
2007	203,40	1,16	0,73	0,27	3,72	13
1983	201,80	1,12	0,72	0,28	3,60	14

1972	200,90	1,10	0,72	0,28	3,54	15
1968	200,60	1,10	0,72	0,28	3,52	16
1991	193,30	0,92	0,67	0,33	3,04	17
1984	186,90	0,77	0,63	0,37	2,69	18
1998	185,10	0,72	0,62	0,38	2,60	19
1973	181,80	0,65	0,59	0,41	2,45	20
1975	181,40	0,64	0,59	0,41	2,43	21
1969	175,70	0,50	0,55	0,45	2,20	22
1977	175,30	0,49	0,54	0,46	2,18	23
1996	170,50	0,38	0,50	0,50	2,01	24
1995	169,00	0,34	0,49	0,51	1,96	25
1970	162,90	0,19	0,44	0,56	1,78	26
1978	160,60	0,14	0,42	0,58	1,72	27
1987	160,40	0,13	0,42	0,58	1,71	28
1965	159,50	0,11	0,41	0,59	1,69	29
1971	157,00	0,05	0,39	0,61	1,63	30
2001	153,70	-0,03	0,36	0,64	1,56	31
1961	153,20	-0,04	0,35	0,65	1,55	32
1994	150,10	-0,11	0,33	0,67	1,48	33
1982	148,40	-0,15	0,31	0,69	1,45	34
2006	147,80	-0,17	0,31	0,69	1,44	35
1976	147,20	-0,18	0,30	0,70	1,43	36
1985	145,10	-0,23	0,28	0,72	1,39	37
2010	144,00	-0,26	0,27	0,73	1,38	38
1963	143,50	-0,27	0,27	0,73	1,37	39
1988	143,40	-0,27	0,27	0,73	1,37	40
1981	140,50	-0,34	0,24	0,76	1,32	41
2004	136,20	-0,45	0,21	0,79	1,27	42
2000	136,00	-0,45	0,21	0,79	1,26	43
1999	134,10	-0,50	0,19	0,81	1,24	44
1979	129,10	-0,62	0,16	0,84	1,19	45
1962	126,90	-0,67	0,14	0,86	1,17	46
1986	114,00	-0,98	0,07	0,93	1,08	47
2008	109,20	-1,09	0,05	0,95	1,05	48
1967	101,20	-1,28	0,03	0,97	1,03	49
1966	97,20	-1,38	0,02	0,98	1,02	50
MÉDIA (x)	177,81					
DESVIO PADRÃO (Sx)	48,49					
Sn	1,16					
Yn	0,55					
Xf	154,824					

A partir dos dados obtidos de precipitação, período de recorrência e do tempo de duração do evento pluvial, utilizou-se o software *SigmaPlot* para obtenção dos valores das variáveis para o ajuste à equação não linear de Holtz (1966), resultando na seguinte equação geral para Londrina:

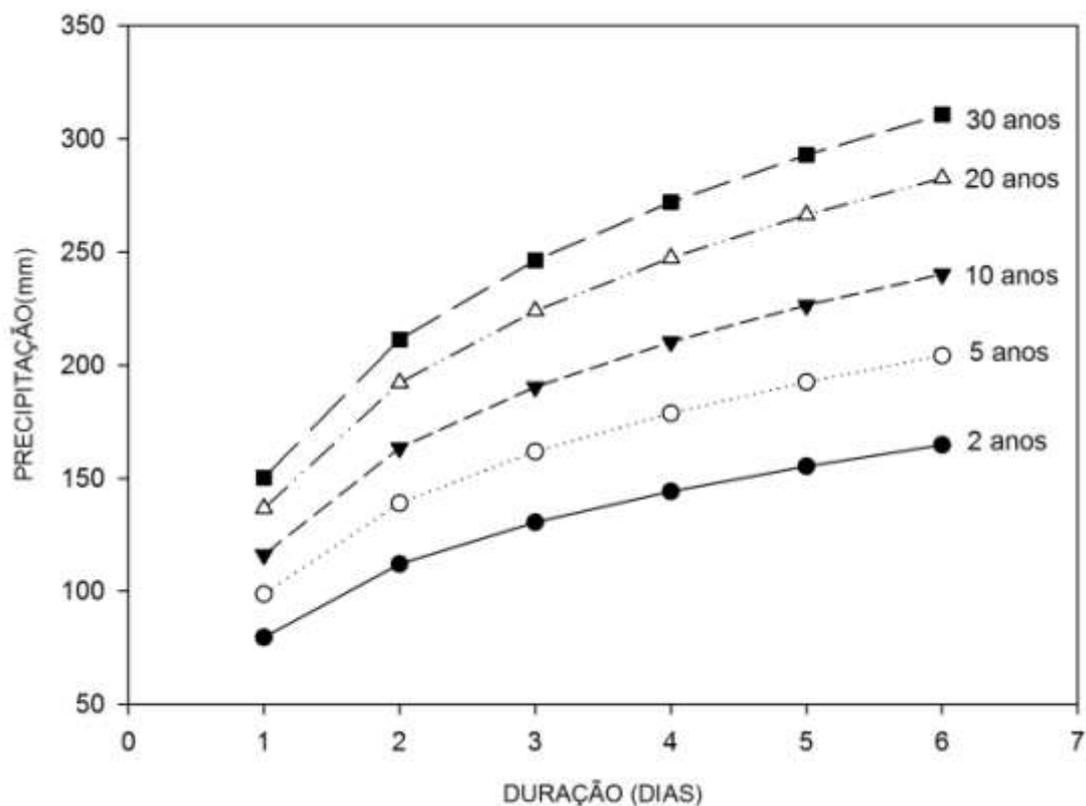
$$H = 85,4728.T^{0,2345}.(t - 0,5521)^{0,2909}$$

Assim, foi possível estimar as precipitações máximas esperadas para tempos de retorno $T = 2, 5, 10, 20$ e 30 anos, com os devidos tempos de duração t (1 a 6 dias) (Tabela 8). Os resultados podem ser visualizados na Figura 1.

TABELA 8 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ESTIMADAS PELA EQUAÇÃO GERAL DE HOLTZ PARA OS DIFERENTES PERÍODOS DE RECORRÊNCIA (T) COM DURAÇÕES DE 1 A 6 DIAS.

Anos de Recorrência (T)	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	6 dias
2 anos	79,61	111,99	130,47	144,14	155,23	164,66
5 anos	98,69	138,83	161,75	178,69	192,44	204,13
10 anos	116,11	163,34	190,30	210,23	226,40	240,16
20 anos	136,60	192,17	223,88	247,34	266,36	282,55
30 anos	150,22	211,34	246,21	272,01	292,93	310,73

FIGURA 2 - CURVAS DE DURAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ESTIMADAS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO GERAL DE HOLTZ PARA OS DIFERENTES PERÍODOS DE RECORRÊNCIA EM LONDRINA-PR



A figura 2 e a tabela 8 demonstram que conforme aumenta o tempo de vida da obra, maior será a probabilidade da mesma enfrentar maiores chuvas, sendo necessário considerar maior margem de segurança para que não haja comprometimentos por eventos pluviais maiores que sua capacidade de suporte.

A maior precipitação calculada foi de 310,73 mm acumulado em 6 dias para um período de 30 anos, mas como se trata de chuvas extremas, verifica-se que existe a probabilidade de ocorrer precipitações de 79,61 mm em apenas um dia para o período de retorno de 2 anos, um período de tempo curto com precipitações que podem gerar grandes danos tanto no meio urbano quanto no meio rural dependendo de sua intensidade.

É importante ressaltar que essas grandes quantidades pluviométricas registradas e calculadas podem estar ligadas a fenômenos climáticos que não foram totalmente desvendados pela ciência. Dentre os principais fenômenos de larga escala que afetam a precipitação, a ocorrência do El Niño – Oscilação Sul (ENOS) influencia em vários aspectos o clima local, regional e global (CPTEC, 2011).

Verificou-se que das 60 maiores precipitações (as 10 maiores em cada período de duração considerado, conforme tabelas 11 a 13), somente 10 (23,3%), não foram registrados em anos de El Niño (EN) ou La Niña (LN) considerados fortes ou moderados, enquanto 55% ocorreram em anos de EN e 21,5% em LN (CPTEC, 2011).

Considerando somente os anos presentes na relação, 33,3% ocorreram em anos sem EN ou LN, 44,4% em anos de EN e 22,2% em anos de LN. Existe o predomínio das maiores pluviosidades em anos de El Niño, entretanto, anos sem a ocorrência do mesmo também apresentam fortes chuvas (Tabelas 9, 10 e 11).

O El Niño consiste no aumento anormal da temperatura do oceano Pacífico, enquanto a La Niña é o inverso. Pela alteração da temperatura do mar, altera-se a dinâmica atmosférica e de correntes de ar, interferindo principalmente na distribuição de chuvas em parte do planeta. Já a Oscilação Sul diz respeito à diferença de pressão entre dois pontos, um localizado próximo à Indonésia e Norte da Austrália e outro próximo à costa da América do Sul, na ilha de Tahiti, gerando uma corrente de ar diferenciada.

Em estudos de Kousky e Cavalcanti (1984 apud NERY e FERREIRA, 1999), destacou-se que durante o fenômeno El Niño uma corrente de jato subtropical bem

marcada sobre a América do Sul e a Oeste do Pacífico Sul juntamente com diversos bloqueios físicos explicariam as grandes pluviosidades na região sul, pois abriram espaço para a entrada de grandes frentes. Entretanto parte das maiores precipitações acumuladas não ocorreram em ano de El Niño. Isso pode ser justificado pelo fato de Londrina estar situada em zona de transição, diferenciando seu clima da maior parte da região Sul do Brasil. Além disso, alguns anos de La Niña, (que caracterizariam a região sul como período mais seco), também constam dentre os mais chuvosos, demonstrando que a dinâmica geral de distribuição de chuvas na região sul não se aplica inteiramente ao município de Londrina.

Ademais, segundo Nery e Ferreira (1999), nos mais fortes ENOS dos últimos anos que ocorreram em 1990 e 1997, foram registradas precipitações dentre as maiores da série histórica de Londrina. A análise rítmica dos anos desses episódios pode trazer maiores explicações quanto à influência desse fenômeno climático no município.

Em classificação mais detalhada da área, Silva *et al.*(2006) propõe um zoneamento climático de fronteira entre Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná, abarcando Londrina. Nessa classificação, que leva em consideração diversas medições de condições climáticas, considera a zona de Londrina como “área controlada pela alternância de sistemas tropicais e polares e sob forte influência de sistemas individualizados, área de clima úmido e com as maiores precipitações pluviométricas de abril a novembro” (SILVA, 2006, p. 67), demonstrando a alternância de frentes e condições climáticas locais que influenciam a dinâmica no município e toda a zona de transição.

TABELA 9 - FENÔMENO EL NIÑO E LA NIÑA CLASSIFICADOS ACIMA DE MODERADO PREDOMINANTES NOS ANOS DE OCORRÊNCIA DOS EVENTOS

Precipitação em 1 dia			Acumulado de precipitação 2 dias		
ANO	PRECIPITAÇÃO (mm)	Fenômeno no ano	ANO	PRECIPITAÇÃO (mm)	Fenômeno no ano
1997	161,0	El Niño	1989	212,4	La Niña
1984	151,2	-	1992	185,2	El Niño
1992	142,7	El Niño	1997	182,3	El Niño
1991	119,1	El Niño	1991	169,7	El Niño
1989	117,1	La Niña	1984	162,6	-
1977	116,3	-	1993	159	El Niño
1993	113,5	El Niño	1998	157	La Niña

2010	108,2	-	2007	151,4	La Niña
1994	106,4	El Niño	1980	148,3	-
2007	104,8	La Niña	1990	147,5	El Niño

TABELA 10 - FENÔMENO EL NIÑO E LA NIÑA CLASSIFICADOS ACIMA DE MODERADO PREDOMINANTES NOS ANOS DE OCORRÊNCIA DOS EVENTOS.

Acumulado de precipitação 3 dias			Acumulado de precipitação 4 dias		
ANO	PRECIPITAÇÃO (mm)	Fenômeno no ano	ANO	PRECIPITAÇÃO (mm)	Fenômeno no ano
1989	264	La Niña	1989	291,5	La Niña
1997	205,7	El Niño	1997	226,5	El Niño
2002	197,3	El Niño	2002	217,8	El Niño
1980	195,1	-	1980	218,5	-
1991	193,3	El Niño	1991	193,3	El Niño
1993	192,2	El Niño	1993	219,2	El Niño
1992	185,4	El Niño	1992	190,4	El Niño
1964	174	La Niña	1964	191	La Niña
1977	172,5	-	1977	174,9	-
1990	172,2	El Niño	1990	267,5	El Niño

TABELA 11 - FENÔMENO EL NIÑO E LA NIÑA CLASSIFICADOS ACIMA DE MODERADO PREDOMINANTES NOS ANOS DE OCORRÊNCIA DOS EVENTOS.

Acumulado de precipitação 5 dias			Acumulado de precipitação 6 dias		
ANO	PRECIPITAÇÃO (mm)	Fenômeno no ano	ANO	PRECIPITAÇÃO (mm)	Fenômeno ano
1989	308,3	La Niña	1990	311,8	El Niño
1990	295	El Niño	1989	308,3	La Niña
1980	249,5	-	1980	266,9	-
1997	243,5	El Niño	2009	266,8	-
2002	233,6	El Niño	1997	246,5	El Niño
1993	225,8	El Niño	2002	238,6	El Niño
1964	218,7	La Niña	1964	236,2	La Niña
2009	216,4	-	1993	227,1	El Niño
1992	210,7	El Niño	2003	225,3	El Niño
2003	204	El Niño	2005	220,9	-

4 CONCLUSÃO

A utilização de técnicas estatísticas mostrou-se adequada para analisar a ocorrência de chuvas extremas no município de Londrina, fornecendo parâmetros adequados para dimensionar estruturas e contornar a ocorrência de desastres naturais. Com o ajuste de equações de período de retorno das chuvas extremas e de sua estimativa para diferentes períodos de duração existem elementos suficientes para a base do planejamento de edificações e estruturas nos meios rural e urbano.

Percebe-se que o ENOS exerce influência sobre o clima de Londrina, entretanto não se encontra um padrão para as chuvas, já que tanto em anos de La Niña quanto anos de El Niño existem registros de grandes precipitações. Por se situar em uma zona de transição climática, isso pode explicar os resultados constatados, demonstrando a grande diferença climática existente entre a Região Sul e o Norte Paranaense.

REFERÊNCIAS

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 13 jan. 2012.

FARIA, R. T. de; WAGNER, C. S. **Precipitações pluviais extremas no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1990.

MELLO, C.R. de; SILVA, A. M. da. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de gumbel sua influência em estudos hidrológicos de projeto. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 318-334, novembro-dezembro, 2005.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NERY, J. T.; FERREIRA, J. H. D. Relação dos parâmetros meteorológicos associados com índice da Oscilação Sul. **Boletim de Geografia**, n. 17, p. 103-114, 1999.

SANT'ANNA NETO, J. L. Desmistificando o aquecimento global. 2007. Disponível em: http://www.awmueller.com/deposito/molion_desmist.pdf. Acesso em: 16 jan. 2012.

SILVA, C. B. da; SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G; PASSOS, M. M. dos. Dinâmica Atmosférica e Análise Geoestatística do Clima da Área de Integração

Paisagística “Raia Divisória” Sp/Pr/Ms: Uma Proposta de Tipologia Climática.
Revista Brasileira de Climatologia, v. 2, p. 53-70.

TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia**: ciência e aplicação. ABRH, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000.

WMO – World Meteorological Organization. Guide to climatological practices. Genebra: WMO, 1983. 198p.

(Recebido em: 15/02/2012. Aceito em 06/12/2012).