Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO MENSAL PROVÁVEL PARA O MUNICÍPIO DE JOINVILLE (SC) E REGIÃO

MELLO, Yara de – yarademello@gmail.com
Mestranda. Universidade da Região de Joinville

KOHLS, Werner – werner.kohls@univille.net
Professor. Universidade da Região de Joinville

OLIVEIRA, Therezinha Maria Novais de – tnovais@univille.br
Professora. Universidade da Região de Joinville

RESUMO: O conhecimento sobre a quantidade de chuva que precipita sobre uma área é essencial para o planejamento socioeconômico e ambiental de um território. O objetivo deste trabalho foi analisar a precipitação mensal provável para Joinville (SC) e região por meio da distribuição gama. Foram selecionados 42 pluviômetros compreendendo um período de 30 anos, o preenchimento de falhas foi realizado pelos métodos de regressão linear múltipla, simples e ponderação regional. Os dados foram analisados por diferentes compartimentações topográficas, pois o relevo da região comporta planície, serra e planalto. Para analisar a distribuição de probabilidade dos dados mensais de precipitação, por meio da distribuição gama, foi elaborada uma rotina computacional no *software Maple* que inclui o teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov*. Os resultados mostraram correlação alta da série preenchida em relação à bruta, um coeficiente de correlação médio de 0,93. Com base nos resultados do teste de aderência observou-se que a distribuição gama ajustou-se bem a série histórica analisada. A diferença de precipitação entre as compartimentações topográficas é maior nos meses de verão, principalmente em janeiro entre a frente da serra e o planalto, a precipitação provável segue o mesmo padrão. A maior pluviosidade na região de estudo é esperada para o mesmo período do ano, registrando 90% de probabilidade de precipitar no mínimo 97,5 mm de chuva no verão.

PALAVRAS CHAVE: Computação Algébrica; Regressão linear; Ponderação Regional; Probabilidade gama.

ANALYSIS OF MONTHLY RAINFALL PROBABLE TO MUNICIPALITY OF JOINVILLE (SC) AND REGION

ABSTRACT: Knowledge about the amount of rain that precipitates over an area is essential for socio-economic and environmental planning of a territory. The objective of this study was to analyze the probable monthly rainfall for Joinville (SC) and region through the gamma distribution. Were selected 42 rain gauges comprising a 30-year period, gap filling was realized by the methods of multiple linear regression, simple and regional weighting. Data were analyzed by different topographical partitioning, for the relief of the region comprises plain, mountain and plateau. To analyze the probability distribution of monthly precipitation data over the gamma distribution was developed a computational routine on Maple software that includes the Kolmogorov-Smirnov adherence test. The results showed high correlation of the filled series of gross, an average correlation coefficient of 0.93. Based on the results of the adhesion test was observed that the distribution range and set the time series analyzed. The difference in precipitation between the topographical partitioning is higher in the summer months, especially in january between the front of the mountains and the plateau, the probable rainfall follows the same pattern. Most rainfall in the region of study is expected for the same period of the year, registering 90% of probability of precipitate at least 97,5 mm of rain at the summer.
KEYWORDS: Computer Algebra; Linear regression; Regional weighting; Gamma distribution.

1. INTRODUÇÃO

A construção de um histograma de frequência de uma amostra de variáveis aleatórias permite analisar a frequência com que a variável assume valores dentro de um dado intervalo (classes). A partir destes dados pode-se estimar o que irá ocorrer no futuro, ou seja, o conceito de probabilidade pode ser interpretado através do conceito de frequência, já que ambos referem-se à porcentagem em que houve realizações de uma variável (frequência) ou que ocorrerão (probabilidade) (TUCCI, 2001).

Ao analisar estatisticamente uma variável climatológica deve-se utilizar a distribuição de probabilidade mais adequada aos dados. É comum a utilização da distribuição normal, o que pode resultar em conclusões erradas se os dados não seguirem essa distribuição. Uma

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

alternativa para esta situação é construir o histograma de frequência da amostra e relacioná-lo com a distribuição teórica que melhor o representa (ASSIS *et al.,* 1996).

Na climatologia existem tipos comuns de distribuição de probabilidade, os totais mensais de precipitação ou períodos menores como os quinzenais, apresentam comumente, forte assimetria positiva, a distribuição gama é a distribuição mais utilizada neste caso (ASSIS *et al.,* 1996).

Diversos estudos foram realizados com o intuito de ajustar à distribuição empírica da amostra de dados de chuva a distribuição teórica gama, com foco no planejamento agrícola, sendo o caso, por exemplo, das pesquisas de Murta *et al.* (2005), Longo *et al.* (2006), Júnior *et al.* (2007), e Soccol *et al.* (2010). Porém, o estudo de probabilidade de chuvas mensais contribui conjuntamente com outras temáticas, como a gestão de recursos hídricos, o conhecimento da dinâmica climática e a prevenção de catástrofes em eventos extremos.

O município de Joinville possui uma área de 1.126, 106 km², conta com uma população de 554.601 habitantes, sendo a maior do Estado de Santa Catarina IBGE (2014). A área urbana do município esta localizada na unidade geomorfológica das Planícies Litorâneas, adjacente ao Planalto de São Bento do Sul e a Serra do Mar. No contexto regional, a unidade Serra do Mar apresenta forte influência nas características climáticas, pois atua como uma barreira orográfica, resultando em precipitações pontuais médias anuais superiores a 3.000 mm (OLIVEIRA, 2006).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre a precipitação mensal provável, utilizando a distribuição de probabilidade gama, como contribuição ao planejamento socioeconômico, ambiental e sustentável de Joinville e região. Considerando que, para que ocorra este desenvolvimento deve haver uma análise criteriosa a luz de estudos geográficos, em razão da dinâmica climática e consequente possibilidade de eventos extremos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo foi definida a partir da rede pluviométrica selecionada com o objetivo de mapear as chuvas do município de Joinville, no trabalho de Mello *et al.* (2013), sem a necessidade de extrapolação no mapeamento geoestatístico. Desta forma, os pluviômetros selecionados do site da Agência Nacional de Águas, do Instituto das Águas do Paraná e da Universidade da Região de Joinville (Tabela 1) compreendem uma área de estudo mais abrangente que o perímetro municipal de Joinville, possibilitando ampliar a área da pesquisa.

A Figura 1 ilustra a região de estudo ao entorno do município de Joinville, localizado na região nordeste do Estado de Santa Catarina, Brasil. A área destacada como região de estudo no mapa representa aproximadamente 90 km no sentido E-W e N-S. Neste espaço estão inseridos 42 pluviômetros em região de planalto, serra e planície, distribuídos entre dez municípios do NE do Estado de Santa Catarina e sete municípios do SE do Estado do Paraná.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1- Estações pluviométricas selecionadas para o estudo da precipitação mensal provável para Joinville e região.

				Coordenadas		
Estação	Código	Nome	Município	Eixo X	Eixo Y	Altitude (m)
1	2648021	Água Azul	Joinville	703035	7094987	200
2	2648034	Estrada dos Morros	Joinville	701954	7095127	119
3	2648005	Joinville	Joinville	714599	7089259	7
4	2648014	Joinville (RVPSC)	Joinville	714919	7086852	6
5	2648033	Pirabeiraba	Joinville	705878	7102700	43
6	2649060	Primeiro salto Cubatão	Joinville	691713	7098946	790
7	2649014	Rio do Julio	Joinville	688023	7093367	100
8	2649042	Segundo salto Cubatão	Joinville	691488	7102551	810
9	2649036	Quiriri	Joinville	699932	7109811	90
10	0663	Univille	Joinville	714061	7094534	11
11	2649022	Campo Alegre 1	Campo Alegre	674904	7108325	870
12	2649057	Campo Alegre	Campo Alegre	672493	7102479	819
13	2649011	Bateias de Baixo	Campo Alegre	673336	7115733	800
14	2648027	Garuva	Garuva	715084	7118559	80
15	2649012	Rio Jaraguá	Jaraguá do Sul	690562	7068089	30
16	2649037	Jaraguá do Sul	Jaraguá do Sul	690695	7071442	30
17	2649068	Schroeder	Schroeder	693118	7074177	29
18	2648013	São Francisco do Sul	São Francisco do Sul	736339	7094422	45
19	2648004	Guaramirim	Guaramirim	704319	7070955	20
20	2649047	Colônia Padre Paulo	Agudos do Sul	669952	7112084	820
21	2549008	Vossoroca	Tijucas do Sul	692084	7143172	805
22	2549038	Ribeirão do Mel	Tijucas do Sul	690306	7135811	889
23	2549027	Salto Baraça	Tijucas do Sul	673555	7132349	920
24	2549063	Rincão	Tijucas do Sul	685451	7146960	913
25	2548020	Pedra Branca do Araraquara	Guaratuba	711840	7124399	150
26	2548035	Morro Grande	Guaratuba	730265	7127782	15
27	2548051	Cubatão	Guaratuba	725509	7142642	12
28	2548053	Guaratuba	Guaratuba	742088	7134959	20
29	2548076	UEH Cubatão - Canal de Fuga	Guaratuba	720495	7142727	10
30	2649018	Fragosos	Piên	661577	7106682	790
31	2548052	Ilha do Rio Claro	São José dos Pinhais	708107	7143360	237
32	2549062	Mandirituba	Mandirituba	667966	7147964	920
33	2549061	Quitandinha	Quitandinha	650276	7138361	820
34	2549003	Rio da Várzea dos Lima	Quitandinha	661851	7128806	810
35	2648006	Itapocu	Araquari	727449	7059521	7
36	2648007	Guamiranga	Araquari	710956	7067193	13
37	2648009	Jacu	Araquari	722651	7070689	11
38	2648028	Ponte SC - 301	Araquari	716342	7072829	8
39	2648020	Itapuco 2	Araquari	727201	7060080	3
40	2649013	Corupá	Corupá	670281	7076232	200
41	2649064	Rio Novo	Corupá	666450	7077852	800
42	2649033	Rio Natal (RVPSC)	São Bento do Sul	669665	7086274	300

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

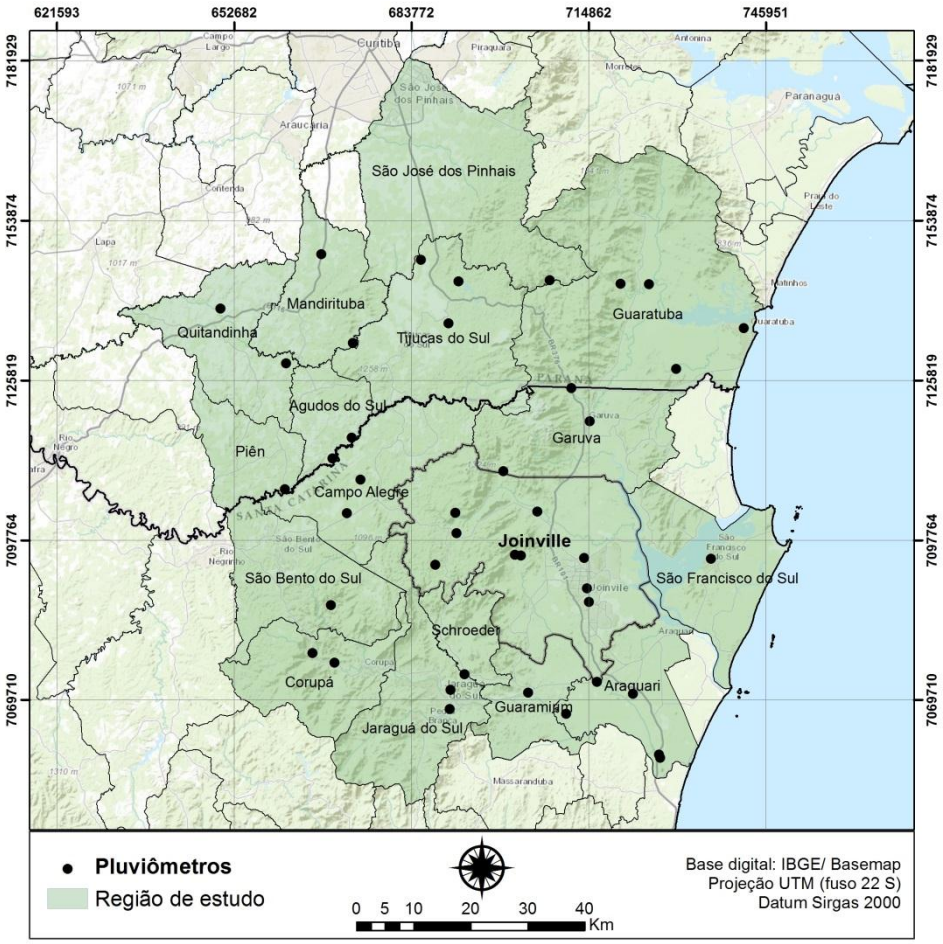

Figura 1- Mapa da área de estudo com as 42 estações pluviométricas distribuídas em municípios de Santa Catarina e Paraná.

A região de estudo abriga cerca de 1.381.917 habitantes, segundo estimativas do IBGE (2014). A Economia local tem seu Produto Interno Bruto (PIB) avaliado em 43.123.598 mil reais, 53,3% representada pelo setor de Comércio, 45,5% representada pelas Indústrias e 1,3% representada pelo setor Agropecuário (IBGE, 2012). Apesar do valor 1,3% parecer insignificante em relação aos outros setores, ele corresponde a 544. 356 mil reais, sendo a fonte de renda para muitas famílias que residem na região.

O município de Joinville é representado por 40% da população da área de estudo e 37,08% do PIB, evidenciando sua importância econômica regional.

2.2. Série histórica analisada e o preenchimento das falhas pluviométricas

O período de dados mensais analisado foi de 1979 a 2008 nas 42 estações pluviométricas. Foram preenchidas as falhas nos registros da série histórica utilizando os métodos de regressão linear múltipla, regressão linear simples e ponderação regional com o objetivo de gerar uma série completa de 30 anos. O método selecionado em cada caso foi eleito de acordo com o melhor resultado proporcionado em relação à média, desvio padrão e coeficiente de correlação dos dados.

As equações utilizadas no método de regressão linear múltipla e ponderação regional foram respectivamente:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_p + X_p \quad (1)$$

onde Y é a variável dependente ou prevista X_1, X_2, $\cdots$, X_p são as variáveis independentes ou explicativas e β_1, β_2, $\cdots$, β_p são os coeficientes de regressão.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

$$y = \frac{1}{3}\left(\frac{x1}{xm1} + \frac{x2}{xm2} + \frac{x3}{xm3}\right) ym \quad (2)$$

Onde y = precipitação do posto a ser estimada; x1, x2, x3 = precipitações correspondentes ao ano que se deseja preencher, observadas em 3 estações vizinhas; ym = a precipitação média do posto y; e xm1, xm2, xm3 = precipitações médias das 3 estações circunvizinhas.

Os parâmetros do método de regressão linear simples foram obtidos através de análise de regressão no s*oftware Statistica*. Os procedimentos dos métodos de preenchimento de falhas foram utilizados com base em Tucci (2001).

2.3. Distribuição de probabilidade e teste de aderência por meio de Sistema de Computação Algébrica

As 42 estações pluviométricas foram divididas em diferentes compartimentações topográficas de acordo com sua localização geográfica, sendo que (38,1%) dos postos estão localizados na planície costeira, (28,58%) no planalto, (16,66%) na serra e (16,66%) na frente da escarpa da Serra do Mar (MELLO *et al.,* 2013).

Foi realizada a análise da distribuição de probabilidade mensal para cada uma das compartimentações topográficas (média das estações) separadamente e para a média geral. A distribuição teórica de probabilidade utilizada para o ajuste dos totais de chuva mensal foi à distribuição gama.

Uma rotina computacional no *software Maple* foi elaborada para desenvolver a análise da distribuição de probabilidade dos dados. O *Maple* é um *software* que utiliza a computação algébrica - manipulação de símbolos matemáticos, que permitem o desenvolvimento de programas matemáticos (ALVES *et al*., 2002). Com a construção do programa é necessário realizar apenas a troca do conjunto de dados de chuva, pois a análise estatística é executada automaticamente, sendo este o principal objetivo da utilização de um Sistema de Computação Algébrica. O método iterativo de máxima verossimilhança é um exemplo de um cálculo extenso, que com a utilização da computação algébrica haverá significativo aproveitamento de tempo para o/a pesquisador (a) (Assis *et al*., 1996; Golveia e Torres, 2004).

Na elaboração do programa foi utilizado como base a metodologia estatística de Assis *et al.* (1996). A função densidade de probabilidade utilizada tem a seguinte forma:

$$f(X) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)\beta^{\gamma}} x^{\gamma-1} e^{-\frac{X}{\beta}} \quad (3)$$

Os parâmetros β e γ foram estimados a partir do método de máxima verossimilhança, dado por:

$$\gamma = \frac{1}{4A}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \quad (4)$$

$$\beta = \overline{X}/\gamma \quad (5)$$

sendo

$$A = 1n\overline{X} - X_g \ (6)$$

onde

$$\overline{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i \quad (7)$$

é a média aritmética e

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

$$X_g = \frac{1}{N} \sum_1^N Ln(X_i) \quad (8)$$

a média geométrica das observações.

O teste utilizado para analisar se a distribuição de probabilidade gama se ajustou bem ao conjunto de dados sob análise foi o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), ao nível de significância de 5%. Este teste confronta duas distribuições de probabilidade acumuladas, a teórica e a empírica. Os parâmetros da distribuição teórica foram estimados a partir do método iterativo de máxima verossimilhança, sendo determinados pela seguinte equação:

$$\beta = \overline{X} - \frac{\Sigma X_i e^{-X/\beta}}{\Sigma e^{-X/\beta}} \quad (9)$$

$$\alpha = -\beta \text{Log}\left[\frac{\Sigma e^{-Xi/\beta}}{N}\right] \quad (10)$$

Foram calculadas as precipitações mínimas mensais para os níveis de probabilidade de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total de 15.120 dados de chuva das 42 estações pluviométricas referente ao período mensal de 1979 a 2008, (47,14%) foram preenchidos, sendo (72,36%) por regressão múltipla, (25,60%) por regressão linear simples e (2,03%) por ponderação regional.

A relação entre a média preenchida das estações com a média bruta apresentou um coeficiente de correlação médio de (0,93), variando da correlação moderada (2,9% dos dados) a correlação muito alta (80% dos dados). Na Figura 2 é possível observar os coeficientes de correlação dos 42 pluviômetros, as estações que apresentam correlação igual a um possuem a série completa. Através da Figura 3 é possível observar a similaridade entre as médias preenchidas e brutas.

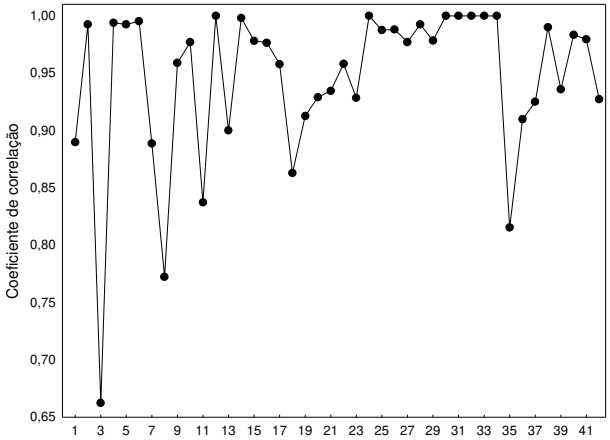

Figura 2- Coeficientes de correlação entre a média preenchida e bruta dos 42 pluviômetros.

A precipitação média mensal foi calculada para cada compartimentação topográfica e para a média geral. Na região de planalto a chuva média máxima é de 189,26mm em janeiro, na planície e serra os valores de precipitação estão mais próximos, com uma média máxima em janeiro de 272,26mm e 259,73mm respectivamente. A frente da serra apresenta os maiores registros de chuva, com um valor máximo médio em janeiro de 370,03mm (Figura 3).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

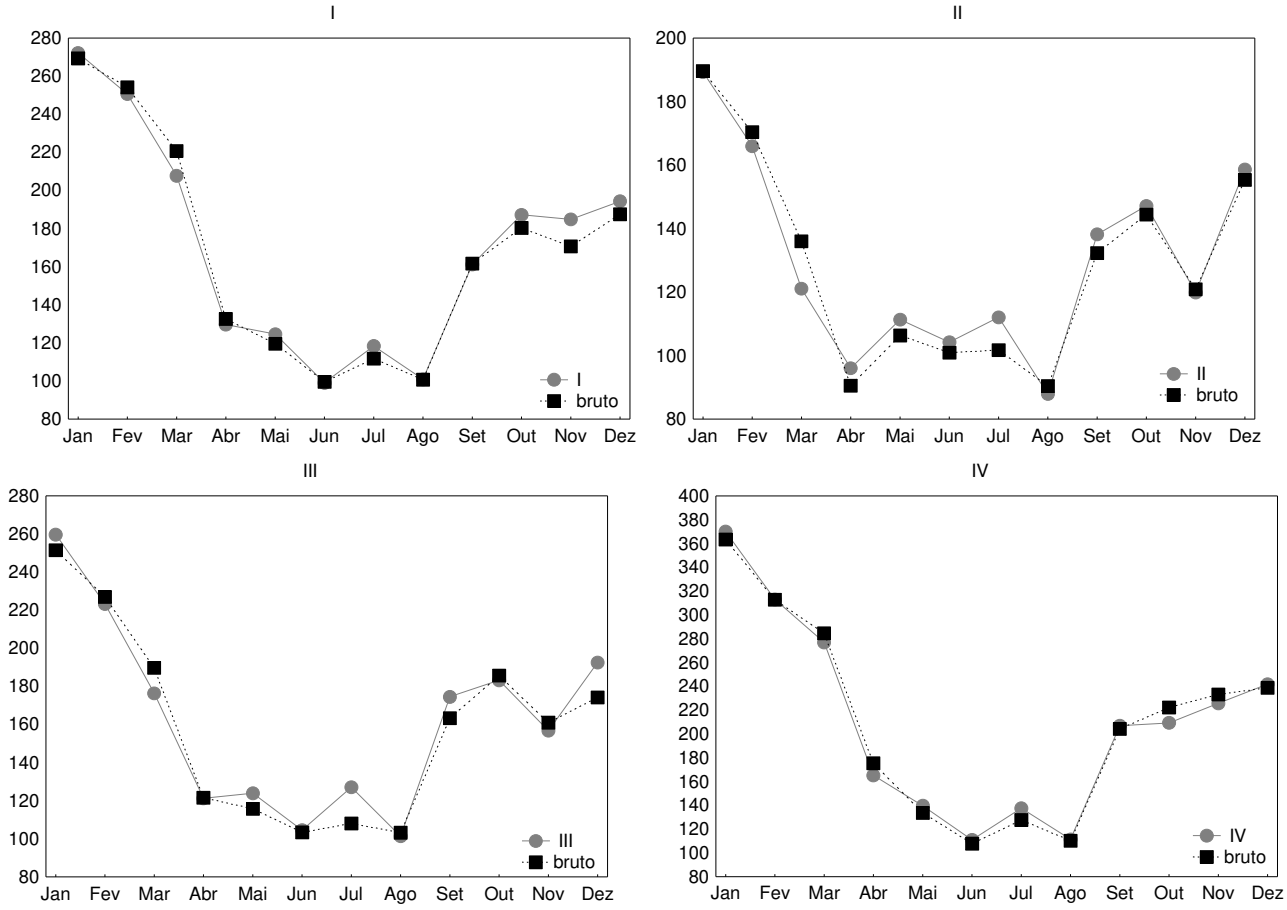

Figura 3- Média mensal nas diferentes compartimentações topográficas em relação aos dados brutos: I – planície; II – planalto; III – serra; e IV – frente da serra.

Através da Figura 4 é possível observar que as chuvas seguem um padrão ao longo do ano em todas compartimentações topográficas, índices maiores nos meses de verão, principalmente em janeiro, e menores nos meses de inverno, e nos meses de transição entre outono-inverno e inverno-primavera.

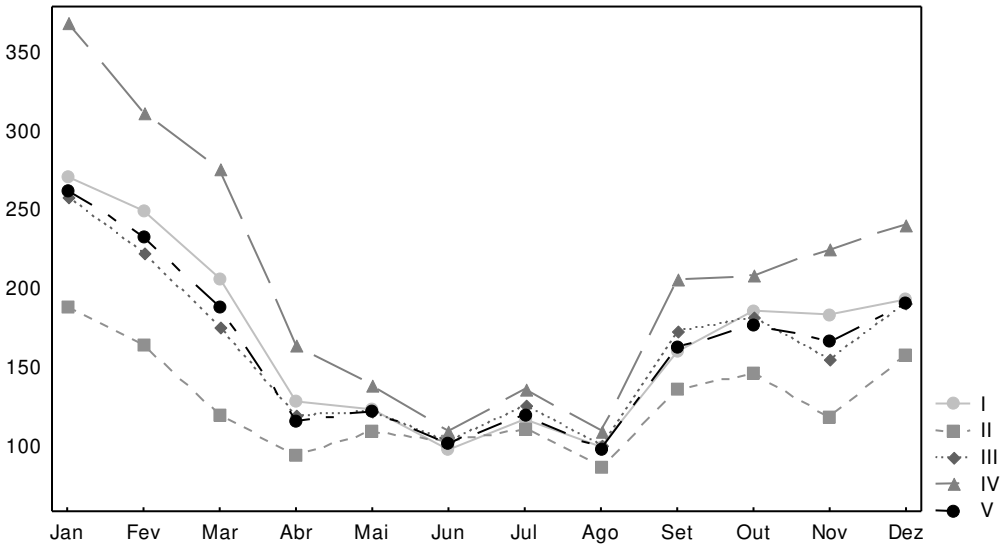

Figura 4- Média mensal de 1979 a 2008 nas diferentes compartimentações topográficas: I – planície; II – planalto; III – serra; IV – frente da serra; e V – média.

Nos meses de janeiro, fevereiro e março ocorreram as maiores diferenças de precipitação entre as compartimentações topográficas, principalmente entre a frente da serra

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

(IV) e o planalto (II). Em janeiro há uma diferença de 180 mm de chuva entre estas localidades, este dado mostra o quão relevante é a preocupação com as diferenças na quantidade de chuva precipitada nas diferentes porções do relevo para o planejamento socioeconômico e ambiental adequado de um território (Figura 3 e 4).

A Figura 5 apresenta os valores mínimos e máximos mensais de precipitação referente ao período de 1979 a 2008. O menor valor (0 mm), ocorreu entre o mês de abril e agosto, o valor máximo (1.282,3 mm) ocorreu em janeiro de 1990 no pluviômetro localizado em Garuva, na frente da serra. Este valor foi considerado como *outlier*, pois a média dos valores das estações da mesma categoria, no mesmo mês, é de 495,3 mm, e a média desta estação para janeiro é de 465,1 mm, apesar de a chuva apresentar distribuição espaço-temporal aleatória.

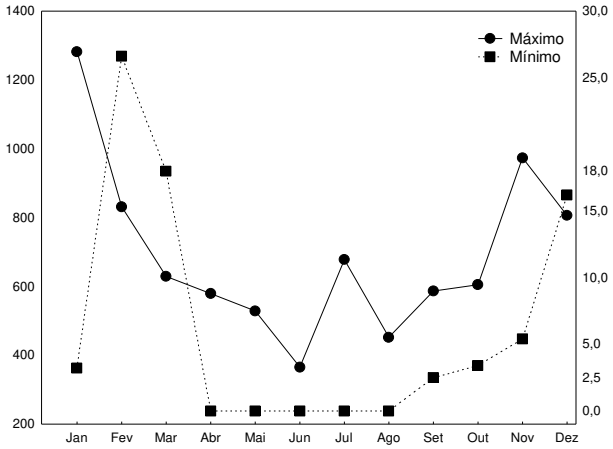

Figura 5- Valores mínimos e máximos de precipitação em mm no período de 1979 a 2008 de todos os pluviômetros.

Os resultados a seguir foram obtidos a partir da análise por computação algébrica no *Maple*. Foi gerado um programa para a análise da distribuição gama, no qual foi realizada a analise mês a mês por compartimentação topográfica e para a média das compartimentações. Foi desenvolvida toda a metodologia da distribuição mensal dos dados por meio da distribuição de probabilidade gama, incluindo a geração de diversos gráficos de densidade e cumulativos de probabilidade além do teste de aderência.

A Tabela 2 apresenta as estimativas dos parâmetros γ e β da distribuição gama. Houve uma variação nos valores de γ entre 1,20 e 5,90, sendo a média de 3,28. Os menores valores de γ foram encontrados nos meses mais secos, Murta *et al.* (2005) encontraram o inverso deste caso, os maiores valores no período mais seco. Os valores do parâmetro β não apresentaram uma relação direta com a variação dos meses mais chuvosos ou secos, o valor mínimo encontrado foi de 27,14, o máximo de 84,98 e a média de 54,36.

Tabela 2- Valores de γ e β para: I – planície; II – planalto; III – serra; IV – frente da serra; e V – média.

	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
	γ					β				
Jan	4,99	3,22	4,69	5,53	3,56	54,5	58,6	55,3	66,8	73,8
Fev	4,35	4,79	4,65	4,46	3,76	58,5	34,6	47,9	70,0	62,0
Mar	5,02	4,30	5,07	5,36	3,55	41,5	28,0	34,7	51,6	53,3
Abr	3,11	2,28	3,96	3,11	2,89	41,6	42,0	30,6	53,1	40,5
Mai	1,46	1,38	1,80	1,97	1,54	84,9	80,3	68,5	70,8	79,8
Jun	2,45	2,47	2,35	1,93	2,32	40,4	42,1	44,4	57,4	44,4
Jul	1,83	1,87	1,92	1,82	1,84	64,6	59,8	65,8	75,4	65,7
Ago	1,34	1,20	1,74	1,76	1,39	74,9	73,1	57,9	63,2	71,0
Set	3,46	2,42	3,21	3,28	2,87	46,4	57,0	54,3	63,0	57,1
Out	4,99	5,42	5,90	4,76	4,83	37,5	27,1	31,0	43,9	36,9
Nov	2,63	2,88	3,26	2,84	2,51	70,0	41,5	48,0	79,2	66,8
Dez	4,75	4,24	4,76	4,61	4,22	40,8	37,3	40,4	52,4	45,3

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

A análise da precipitação mínima provável P(X>x) mostrou maiores diferenças de precipitação aos menores níveis de probabilidade. Por exemplo, janeiro possui uma probabilidade de 10% de chover acima de 561,4 mm na frente da serra e 313,7 no planalto, uma diferença de 247,7 mm (Figura 6). Em dezembro a probabilidade de chuva ao nível de 90% para frente da serra é de 392,4 mm, e no planalto é de 256,5 mm, uma diferença de 135,9 mm. Este padrão acontece em todos os meses, com maiores semelhanças nos meses de maio, junho e julho.

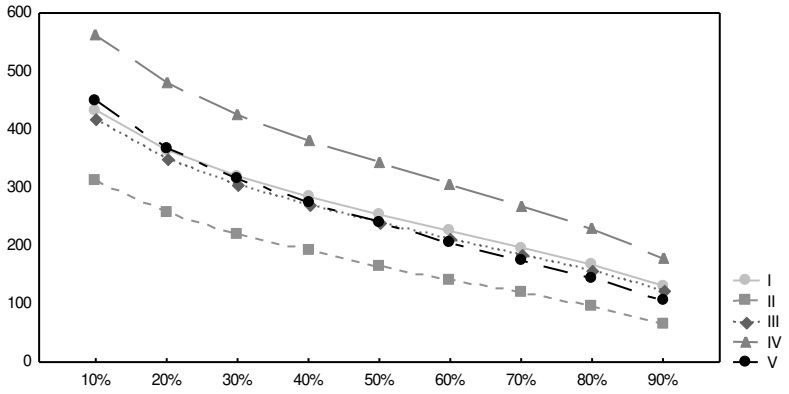

Figura 6- Chuva mensal provável P(X>x) em mm de janeiro para: I – planície; II – planalto; III – serra; IV – frente da serra; e V – média.

A análise da chuva mensal provável, realizada através da função gama, utilizou a mesma série histórica usada para o cálculo das médias de precipitação, desta forma, é possível perceber que a chuva provável segue o mesmo padrão de distribuição das médias. Os maiores valores foram registrados na frente da serra e os menores no planalto, sendo que nos meses de inverno os valores são semelhantes (Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7).

Tabela 3- Chuva mensal provável P(X>x) em mm para a planície.

Mês	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Jan	433,5	364,9	319,9	284,5	253,7	225,2	197,2	167,5	131,4
Fev	417,5	347,3	301,8	265,8	235,2	206,9	179,0	148,0	115,0
Mar	327,9	277,0	243,9	216,9	193,0	171,9	150,3	127,6	99,6
Abr	223,9	181,5	154,1	133,0	114,8	98,4	82,5	66,2	46,0
Mai	254,5	190,0	149,8	120,2	96,2	75,5	57,1	39,7	22,3
Jun	176,5	140,9	117,3	99,2	84,0	70,1	57,2	43,9	29,0
Jul	232,9	177,9	143,7	118,1	97,1	78,7	61,9	45,6	28,3
Ago	211,7	155,7	121,5	96,4	76,3	59,2	44,1	30,0	16,3
Set	272,5	223,4	191,2	166,2	144,7	125,1	106,1	86,4	63,1
Out	297,1	250,4	219,6	195,2	174,2	154,6	135,2	114,9	90,0
Nov	336,9	267,5	223,7	190,2	161,9	136,8	112,9	88,9	61,9
Dez	313,3	262,5	229,4	203,3	180,8	160,0	139,6	118,2	92,3

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 4- Chuva mensal provável P(X>x) em mm para o planalto.

Mês	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Jan	313,7	257,8	220,2	190,6	164,9	141,3	118,6	94,7	65,9
Fev	258,3	218,9	191,9	170,4	151,6	134,0	116,6	98,0	74,7
Mar	197,3	164,5	142,8	125,9	111,2	97,8	84,6	70,7	54,1
Abr	167,1	133,6	111,0	93,2	78,3	64,9	52,0	39,0	24,0
Mai	233,2	172,0	134,7	107,3	85,3	66,5	49,8	34,3	19,0
Jun	185,0	147,7	123,2	104,3	88,3	73,9	60,2	46,4	30,6
Jul	218,9	167,8	135,9	109,9	92,3	75,1	59,2	43,8	27,4
Ago	176,0	129,8	100,4	78,5	61,0	46,1	33,0	21,1	9,7
Set	238,7	191,7	160,2	135,4	114,3	95,3	77,1	58,5	37,0
Out	225,5	192,4	170,0	151,9	136,2	121,4	106,7	90,8	71,0
Nov	201,6	164,4	139,3	119,5	102,5	86,9	72,0	56,4	37,9
Dez	256,5	214,2	186,2	163,9	144,8	127,0	109,7	91,3	69,1

Tabela 5- Chuva mensal provável P(X>x) em mm para a serra.

Mês	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Jan	419,4	351,1	306,5	271,5	241,2	213,3	185,9	157,1	122,3
Fev	357,7	300,1	262,2	232,2	206,2	182,1	158,5	133,5	103,2
Mar	279,5	235,8	207,0	184,2	164,4	146,1	128,1	108,9	85,6
Abr	199,8	165,6	143,1	125,5	110,2	96,3	82,7	68,4	51,3
Mai	244,6	186,5	150,5	123,5	101,4	82,1	64,4	47,3	29,3
Jun	193,1	152,1	126,0	106,1	89,5	74,6	60,7	46,8	31,3
Jul	249,0	191,0	155,0	128,0	105,9	86,4	68,5	51,1	32,6
Ago	201,7	153,2	123,2	100,8	82,4	66,4	51,9	37,8	23,1
Set	303,6	246,1	209,2	180,7	156,4	134,4	113,3	91,6	66,5
Out	282,4	241,0	213,5	191,6	172,5	154,7	137,1	118,2	94,9
Nov	273,1	221,3	188,3	162,8	141,1	121,4	102,6	83,2	60,8
Dez	310,2	260,0	227,2	201,5	179,2	158,6	138,4	117,1	91,5

Tabela 6- Chuva mensal provável P(X>x) em mm para frente da serra.

Mês	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Jan	561,4	480,8	425,4	380,9	341,6	304,8	268,1	228,4	178,1
Fev	506,0	423,1	368,5	325,5	288,3	254,0	220,4	184,9	142,0
Mar	428,2	364,3	321,3	287,0	257,1	229,1	201,3	171,6	134,6
Abr	289,6	234,0	198,3	170,9	147,5	126,5	106,3	85,6	61,7
Mai	268,5	207,3	168,9	139,8	115,9	94,8	75,3	56,2	35,6
Jun	210,0	162,7	132,5	109,6	90,6	73,8	58,3	43,0	26,5
Jul	272,0	207,4	167,5	137,6	113,1	91,7	72,1	53,1	33,1
Ago	217,5	166,2	134,0	109,7	89,8	72,4	56,4	41,0	24,7
Set	344,9	283,3	242,1	209,6	181,7	156,1	131,3	105,4	74,4
Out	336,5	282,1	246,7	218,7	194,5	172,1	150,2	127,0	99,1
Nov	404,9	323,9	272,5	233,1	199,9	170,0	141,6	112,7	79,9
Dez	392,4	327,9	285,8	252,9	224,5	198,3	172,6	145,6	113,2

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 7- Chuva mensal provável P(X>x) em mm para a média das compartimentações topográficas (planície, planalto, serra e frente da serra).

Mês	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Jan	450,4	368,1	315,3	274,3	239,3	207,5	176,7	145,0	107,9
Fev	394,8	319,1	278,9	243,6	213,3	185,8	159,0	131,2	98,5
Mar	323,4	264,5	226,5	197,0	171,8	148,9	126,8	103,8	76,9
Abr	207,3	166,7	140,5	120,4	103,4	88,0	73,3	58,3	41,2
Mai	251,0	188,0	149,1	120,3	96,9	76,8	58,6	41,5	24,0
Jun	191,7	150,8	124,8	105,0	88,4	73,7	59,8	46,0	30,7
Jul	240,1	183,1	147,9	121,7	100,1	81,3	64,0	47,3	29,7
Ago	206,8	152,7	119,7	95,4	75,9	59,2	44,4	30,6	17,0
Set	292,9	234,9	197,9	169,5	145,5	123,8	103,2	82,2	58,2
Out	287,5	241,1	210,9	187,1	166,6	147,6	129,0	109,3	85,6
Nov	310,6	245,3	204,2	172,9	146,7	123,3	101,3	79,2	54,5
Dez	316,7	262,7	227,7	200,4	176,8	155,3	134,3	112,3	86,0

Coan *et al*. (2014) em seu estudo sobre a precipitação mensal provável para o Estado de Santa Catarina encontrou uma distribuição de chuvas sazonal similar para a região Norte do Estado. Os maiores índices descritos por Coan *et al*. (2014) foram registrados no período de janeiro a março, com 75% de probabilidade de ocorrência média de 470 mm de chuva, porém no presente estudo encontrou-se uma média consideravelmente inferior para o mesmo período, 140,4 mm. Em relação a outros níveis de probabilidade, como de 50% e 25%, os valores encontrados nesta pesquisa também foram inferiores. A análise em escalas maiores tem a tendência de suavizar os dados gerados, podendo ocultar realidades locais.

Diversos autores discorrem sobre a ocorrência do valor médio de precipitação estar entre os níveis de 40% e 50% de probabilidade, sendo inferiores ao valor recomendado na elaboração de projetos agrícolas, que é de 75% (MURTA *et* al., 2005; RIBEIRO *et al*., 2007; CARDOSO *et al*., 2009; SOCCOL *et al*., 2010; MARTINS *et al*., 2011). Neste trabalho o valor médio de precipitação para todas as compartimentações topográficas esta ao nível de probabilidade de 41,65%, confirmando estas afirmações.

Com base no teste estatístico de aderência de Kolmogorov-Smirnov, analisado ao nível de significância de 5%, a distribuição gama se mostrou adequada para estimar as probabilidades de chuva mensal para a região. Primeiramente houve ajuste em 91,7% dos casos. Longo *et al.* (2006) e Sampaio *et al.* (2006) estudaram a distribuição de probabilidade gama no Estado do Paraná e também obtiveram valores de K-S não ajustados a distribuição gama.

As séries em que não houve ajuste aconteceram no mês de novembro na planície, maio no planalto, e maio, julho e agosto na média. O desvio máximo entre os valores empíricos (E) e teóricos (T) ocorreu na segunda classe, representados respectivamente por (E=0,086/T=0,062), (E=0,109/T=0,072), (E=0,077/T=0,038) e (E=0,043/T=0,038), e na terceira classe para o mês de agosto na média dos dados, representado por (E=0,049/T=0,038).

Com o objetivo de ajustar a distribuição gama em 100% dos dados empíricos, foi realizada uma análise complementar da distribuição de frequência no *software Statistica*. Os gráficos mostraram um bom ajuste da distribuição gama aos dados quando o número de classes foi alterado, o valor do teste de K-S teve ajuste em todos os casos. Este exercício foi repetido no programa elaborado no *software Maple* e todos os valores Dmax foram inferiores ao valor crítico tabelado. Os novos valores encontrados para novembro na planície, maio no planalto, e maio, julho e agosto na média foram respectivamente (0,03), (0,059), (0,026), (0,01) e (0,036).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

4. CONCLUSÕES

O preenchimento de falhas se mostrou adequado para o conjunto de dados, 80% dos coeficientes de correlação das médias brutas em relação às preenchidas classificaram-se como muito alto, apresentando uma média de 0,93.

A precipitação mensal média indica uma distribuição similar entre as compartimentações topográficas da região ao longo do ano, maiores picos nos meses de verão, podendo chegar a um valor médio de 370,03 mm em janeiro na frente da serra, e menores registros nos meses de inverno. Esta distribuição anual se difere nos totais de chuva, maiores valores registrados na frente da serra e os menores na região de planalto.

O *software Maple* revelou ótimo desempenho na análise estatística dos dados. O programa elaborado pode ser utilizado para qualquer conjunto de dados que se adequem a análise de distribuição gama.

A análise da precipitação mínima provável mostrou maiores diferenças de precipitação aos menores níveis de probabilidade, o padrão anual de distribuição de chuvas é similar ao encontrado no cálculo das médias. O ajuste da distribuição gama aos dados produziu bons resultados segundo o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.

Os dados de probabilidade de precipitação gerados podem ser utilizados como ferramenta para a melhor gestão dos recursos hídricos regional. O melhor entendimento da dinâmica climática pode ser um instrumento para o planejamento de cultivo agrícola, da construção civil, do saneamento básico, da captação de água da chuva e de doenças de veiculação hídrica, entre outras possibilidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo de Apoio à Pesquisa (FAP) e Fundo de Apoio à Extensão (FAEX) da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, pelo apoio financeiro ao projeto e a CAPES pela bolsa de pós-graduação para o desenvolvimento da pesquisa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. T.; AMARAL, J. V.; MEDEIROS NETO, J. F. Aprendizagem de eletromagnetismo via programação e computação simbólica. *Revista Brasileira de Ensino de Física,* v.24, n.2, p.201-213, junho, 2002.

ASSIS, F. N. de; ARRUDA, H. V.de; PEREIRA, A. R. *Aplicações de estatística a climatologia: teoria e prática.* Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1996.

CARDOSO, C. O.; SOCCOL, O. J.; SAMPAIO, C. A. P. Chuva mensal provável com a distribuição gama para Lages, SC. In: *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 16., 2009, Belo Horizonte, MG. Disponível em:< http://www.sbagro.org.br/anais_congresso_2009>. Acesso em: 02 de jul. de 2015.

COAN, B. de P.; BACK, A. J.; BONETTI, A. V. Precipitação mensal e anual provável no Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Climatologia,* v. 15, p.122-142, jul./dez., 2014.

GOLVEIA, P. D. F.; TORRES, D. F. M. Computação algébrica no cálculo das variações: determinação de simetrias e leis de conservação. In: *Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, 27., 2004, Porto Alegre, RS. Disponível em:< https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/1957/1/0411211v1.pdf>. Acesso em: 01 de set. de 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades@.* Disponível em:< http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 22 de jun. de 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas de população.* Disponível em:< http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014>. Acesso em: 22 de jun. de 2015.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

JUNIOR, J. A. J.; GOMES, N. M.; MELLO, C. R. de.; SILVA, A. M. da. Precipitação provável para a região de Madre de Deus, Alto Rio Grande: modelos de probabilidades e valores característicos. *Ciênc. agrotec.,* Lavras, v.31, n.3, p.842-850, maio/jun., 2007.

LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; QUEIROZ, M. M. F. de.; SUSZEK, M. Uso das distribuições gama e log-normal na estimativa de precipitação provável quinzenal. *Varia Scientia,* v.06, n.11, p.101-118, ago., 2006.

MARTINS, J. A.; DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; GALVANIN, E. A. dos S.; MAGNANI, E. B. Z.; OLIVEIRA, K. C. Caracterização do regime pluviométrico no arco das nascentes do rio Paraguai. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26,n.4,639-647, 2011.

MELLO, Y. R. de; KOEHNTOPP, P. I; OLIVEIRA T. M.; VAZ, C.. Distribuição de precipitação pluviométrica na região de Joinville. *Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia).* Universidade da Região de Joinville – Univille. Joinville, 2013.

MURTA, R. M.; TEODORO, S. M.; BONOMO, P.; CHAVES, M. A. Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia. *Ciênc. agrotec.,* Lavras, v.29, n.5, p.988-994, set./out., 2005.

OLIVEIRA, F. A. de. *Estudo do aporte sedimentar em suspensão na baía da babitonga sob a ótica da geomorfologia. Universidade de São Paulo – USP.* Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Tese de Doutorado, 2006.

RIBEIRO, B. T.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R. de; LIMA, J. M. de; SILVA, M. L. N. Comparação de distribuições de probabilidade e estimativa da precipitação provável para região de Barbacena, MG. *Ciênc. agrotec.,* Lavras, v.31,n.5,p.1297-1302, set./out.,2007.

SAMPAIO, S. C.; LONGO, A. J.; QUEIROZ, M. M. F. de.; GOMES, B. M.; BOAS, M. A. V.; SUSZEK, M. Estimativa e distribuição da precipitação mensal provável no Estado do Paraná. *Maringá,* v.28, n.2,p.267-272,2006.

SOCCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental,* v.14, n.6, p.569-574, 2010.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação.* 2. ed.; 2. reimpr. – Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS: ABRH, 2001.

Texto submetido à RBClima na data de 10/09/2015