

Relações funcionais entre precipitação provável e média em regiões e climas brasileiros

Jorge Luiz Moretti de Souza⁽¹⁾, Daniela Jerszurki⁽¹⁾ e Emanuely Cristine Damazio⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Rua dos Funcionários, nº 1.540, CEP 80035-050 Curitiba, PR. E-mail: jmoretti@ufpr.br, djerszurki@ufpr.br, emanuely.damazio@bol.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi determinar os parâmetros estatísticos da função densidade de probabilidade (FDP) com melhor ajuste aos valores decenais de precipitação pluvial observados em diversas localidades brasileiras, e também determinar a relação entre precipitação provável (75% de probabilidade, $P_{75\%}$) e precipitação média (\bar{P}) nestas localidades. Foram avaliadas cinco FDPs (normal, triangular, gama, exponencial e uniforme), ajustadas a dados provenientes de 43 municípios, de oito estados, em quatro regiões brasileiras. As localidades foram avaliadas isoladamente ou agrupadas de acordo com estados ou tipos climáticos. O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para avaliar o ajuste estatístico das FDPs às séries de dados. As distribuições gama e exponencial foram as que mais frequentemente melhor se ajustaram às séries de precipitação pluvial decenal (41,2 e 30,8%, respectivamente). As relações funcionais mais promissoras entre \bar{P} e $P_{75\%}$ foram obtidas nos climas Cwa ($R^2 = 0,82$), Aw ($R^2 = 0,70$), As ($R^2 = 0,68$) e Cwb ($R^2 = 0,62$), e nos estados de Goiás ($R^2 = 0,80$), São Paulo ($R^2 = 0,76$) e Minas Gerais ($R^2 = 0,70$). As distribuições normal (19,3%), triangular (2,2%) e uniforme (3,5%) têm menor participação nos melhores ajustes, mas são importantes nas análises para o período seco.

Termos para indexação: função densidade de probabilidade, planejamento agropecuário, risco climático, teste de aderência.

Functional relations between probable and average rainfall in Brazilian regions and climates

Abstract – The objective of this work was to determine the statistical parameters of the probability density function (PDF) with the best fit to the values of decennial rainfall observed in several Brazilian localities, and also to determine the relationship between probable rainfall (75% probability, $P_{75\%}$) and average rainfall (\bar{P}) in these localities. Five PDFs were evaluated (normal, triangular, gamma, exponential, and uniform), adjusted to data from 43 municipalities, from eight states, in four Brazilian regions. The localities were evaluated singly or grouped into states or climate types. The Kolmogorov-Smirnov adherence test was used to assess the statistical adjustment of the PDFs to the data series. Gamma and exponential distributions were the ones which more often had the best fit to the series of decennial rainfall (41.2 and 30.8%, respectively). The most promising functional relationships between \bar{P} and $P_{75\%}$ were obtained at the climates Cwa ($R^2 = 0.82$), Aw ($R^2 = 0.70$), As ($R^2 = 0.68$), and Cwb ($R^2 = 0.62$), and at the states of Goiás ($R^2 = 0.80$), São Paulo ($R^2 = 0.76$), and Minas Gerais ($R^2 = 0.70$). The normal (19.3%), triangular (2.2%), and uniform (3.5%) distributions have the lowest participation in the best fits, but are important in the dry season analyzes.

Index terms: probability density function, agriculture planning, climate risk, adherence test.

Introdução

A quantificação das precipitações pluviais é importante para o correto dimensionamento de obras, tanto na construção civil quanto na engenharia de água e solo (Frizzone et al., 2005). Em geral, no planejamento agropecuário, a determinação da frequência, além da quantidade e da intensidade das precipitações, também tem grande utilidade,

pois a produção agrícola comumente é mais influenciada pela distribuição temporal das chuvas do que pelo volume total precipitado (Martins et al., 2010). Diversos autores (Oliveira & Carvalho, 2003; Sampaio et al., 2006; Socol et al., 2010) recomendam que se utilize a precipitação provável no dimensionamento de projetos agrícolas, uma vez que o uso de valores médios pode resultar em super ou subdimensionamentos.

O padrão pluviométrico de uma região pode ser descrito, com razoável grau de precisão, a partir de séries históricas consistentes. Assim, pode-se estimar a precipitação provável ($P_{p\%}$) de uma determinada localidade a partir de séries pluviométricas quando a função densidade de probabilidade (FDP) e os seus parâmetros se ajustarem aos dados de precipitação observados em um determinado período (Frizzone et al., 2005). A precipitação provável refere-se à lâmina mínima de chuva esperada em dado período do ano, para um determinado nível de probabilidade (Frizzone et al., 2005; Ávila et al., 2009).

Quando as análises envolverem mais de uma FDP, a distribuição para um dado período é selecionada de acordo com o melhor ajuste às séries históricas de precipitação, com a facilidade de estimação de seus parâmetros e com a sua flexibilidade computacional. Os parâmetros da FDP com o melhor ajuste aos dados de precipitação são muito úteis para o planejamento de atividades no meio rural e urbano (Cargnelutti Filho et al., 2004). A FDP gama é normalmente ajustada ao total de chuva em períodos mensais ou menores (Lima et al., 2008). Porém, Gomes (2005) e Gherardi et al. (2008) verificaram que outros tipos de FDP são necessários, principalmente quando a série histórica de dados diários de chuva (grande ou pequena) apresenta poucos registros com precipitação superior a 1 mm no período (pêntada, decêndio, quinzena ou mês), como ocorre em períodos secos e em veranicos.

Para que haja minimização dos riscos, Jensen (1974) recomenda que não se trabalhe com probabilidades de ocorrência de precipitação menores que 80 e 90%, enquanto Doorenbos & Pruitt (1977) sugerem probabilidades entre 75 e 80%. Segundo Frizzone et al. (2005), a probabilidade de 75% é considerada adequada para fins agropecuários. Vale ressaltar, no entanto, que, uma vez determinados os parâmetros e a FDP de melhor ajuste, a precipitação provável pode ser facilmente obtida para diferentes níveis de probabilidade.

A literatura é rica em estudos de estimativa de precipitações prováveis em diferentes localidades (Castro Neto & Silveira, 1983; Araújo et al., 2001; Oliveira & Carvalho, 2003; Frizzone et al., 2005; Gomes, 2005; Lyra et al., 2006; Sampaio et al., 2006; Fietz et al., 2008; Ávila et al., 2009; Martins et al., 2010; Soccol et al., 2010; Dallacort et al., 2011). Contudo, ainda são escassos os trabalhos que visam a obtenção

de relações funcionais entre medidas de precipitação e seus valores prováveis, obtidos por meio de FDPs para diferentes localidades, regiões e climas brasileiros. As pesquisas na área têm se limitado a destacar as diferenças entre os valores de precipitação provável e média, possivelmente em razão da dificuldade de obtenção de séries longas e representativas, necessárias para o estabelecimento de relações funcionais entre essas precipitações.

O objetivo deste trabalho foi determinar os parâmetros estatísticos da FDP, com melhor ajuste aos valores decendiais de precipitação pluviométrica, observados em diversas localidades brasileiras, e também determinar a relação entre precipitação provável (75% de probabilidade, $P_{75\%}$) e precipitação média (\bar{P}) nestas localidades.

Material e Métodos

Foram avaliadas 43 localidades brasileiras, situadas entre 5,83° e 29,83° de latitude Sul e entre 35,88° e 57,23° de longitude Oeste, com altitude entre 8 e 1.628 m (Tabela 1). Os dados de precipitação foram organizados em 37 decêndios por ano. O trigésimo sétimo “decêndio” de cada ano foi composto pelos cinco ou seis (ano bissexto) últimos dias do ano. As séries de dados de precipitação tiveram origem do banco de dados da Agência Nacional de Águas, com exceção das séries relativas às cidades do Estado do Paraná, que foram obtidas do Instituto Meteorológico do Paraná, e das séries referentes às cidades de Piracicaba e São Carlos, obtidas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e da Embrapa Pecuária Sudeste, respectivamente.

Os cálculos e os procedimentos necessários à condução do presente trabalho foram organizados e realizados com o auxílio de planilha eletrônica, com rotinas desenvolvidas especialmente para essa finalidade, de acordo com as recomendações de Assis (1996), Frizzone et al. (2005), Gherardi et al. (2008) e Bussab & Morettin (2010). As rotinas são descritas a seguir. Os dados diários de precipitação foram tabulados e agrupados em períodos de dez dias (decêndios), tendo-se separado os decêndios sem ocorrência de precipitação (P_0) dos com precipitação diferente de zero. Para evitar inconsistências na estimativa dos parâmetros das FDPs utilizadas, os decêndios com precipitação inferior a 1 mm foram considerados

Tabela 1. Características das localidades avaliadas.

Cidade	Série (anos)	Estação	Latitude ------(graus)-----	Longitude	Altitude (m)	Classificação climática
Bahia						
Eunápolis	18	Mundo Novo	-16,23	-39,58	189	Aw
Ilhéus	20	Itajuípe (Pirangi)	-14,67	-39,35	52	Af
Jaguaquara	18	Santa Inês	-13,28	-39,82	667	Aw
Jequié	18	Jequié	-13,87	-40,08	215	Aw
Milagres	15	Iaçu (Paraguaçu)	-12,77	-40,20	419	Bsh
Salvador	15	Barra do Gil	-12,98	-38,63	8	As
Vitória da Conquista	16	Vitória da Conquista	-14,87	-40,83	923	Aw
Goiás						
Anápolis	23	Ouro Verde de Goiás	-16,22	-49,14	1.017	Cwa
Britânia	23	Britânia	-15,24	-51,16	263	Am
Ceres	21	Ceres	-15,31	-49,60	571	Cwa
Flores de Goiás	21	Flores de Goiás	-14,44	-47,04	440	Cwa
Itumbiara	15	Itumbiara	-18,42	-49,22	448	Aw
Porangatu	25	Porangatu	-13,44	-49,14	396	Cwa
Maranhão						
Balsas	20	Balsas	-7,52	-46,02	247	Aw
Minas Gerais						
Itajubá	18	São João do Itajubá	-22,38	-45,45	856	Cwb
Leopoldina	18	Usina Maurício	-21,47	-42,80	212	Aw
Machado	18	Machado 83683	-21,67	-45,92	820	Cwb
Montes Claros	18	São João da Vereda	-16,73	-44,10	648	Cwb
Nanuque	18	Nanuque – Montante	-17,82	-40,35	103	Cwb
Paracatu	15	Paracatu	-17,22	-46,87	687	Aw
Mato Grosso						
Cuiabá	20	Nossa Senhora do Guia	-15,37	-56,22	176	Aw
Porto dos Gaúchos	15	Porto dos Gaúchos	-11,65	-57,23	259	Am
Pernambuco						
Afrânio	15	Cachoeira do Roberto	-8,63	-41,15	522	Bsh
Araripina	15	Nascente (Olho d'água)	-7,83	-40,45	622	Bsh
Arcoverde	15	Brejo de São José	-8,52	-37,20	663	Bsh
Barreiros	15	Gameleira	-8,58	-35,38	22	As
Caruaru	18	Caruaru	-8,28	-35,97	554	Bsh
Piauí						
Santa Filomena	15	Alto Parnaíba	-9,13	-45,93	277	Bsh
Paraná						
Antonina	26	Simepar	-25,01	-48,72	20	Cfa
Campo Mourão	5	Simepar	-24,01	-52,37	585	Cfa
Curitiba	9	Simepar	-25,25	-49,16	934	Cfb
Foz do Iguaçu	8	Simepar	-25,33	-54,34	164	Cfa
Guaira	5	Simepar	-24,05	-54,15	220	Cfa
Guarapuava	31	Simepar	-25,39	-51,45	1.098	Cfb
Lapa	18	Simepar	-25,77	-49,71	908	Cfb
Londrina	27	Simepar	-23,23	-51,11	585	Cfa
Maringá	5	Simepar	-23,55	-51,57	596	Cfa
Ponta Grossa	50	Simepar	-25,02	-50,02	969	Cfb
Rio Grande do Norte						
Natal	17	Fazenda Potengi	-5,83	-35,53	30	As
Rio Grande do Sul						
São Martinho da Serra	15	Restinga Seca	-29,83	-53,90	453	Cfa
São Paulo						
Campos do Jordão	15	Vila Capivari	-22,72	-45,57	1.628	Cwb
Piracicaba	50	Esalq/USP	-22,71	-47,63	547	Cwa
São Carlos	15	Embrapa	-21,96	-47,84	860	Cwa

iguais a zero (Assis, 1996). Foram estabelecidas 1.591 distribuições de frequência com os dados das séries de precipitação observadas (43 localidades e 37 decêndios) (Bussab & Morettin, 2010).

Calcularam-se, então, os parâmetros estatísticos das cinco FDPs testadas (gama, normal, exponencial, triangular e uniforme) com as séries de valores de precipitação decendial observadas (1.591 análises para obter os parâmetros de cada FDP). Os parâmetros determinados foram: alfa e beta, para a distribuição gama; média e desvio-padrão, para a normal; maior valor, menor valor e moda, para a triangular; média, para a exponencial; e maior e menor valor, para a uniforme (Assis, 1996; Frizzone et al., 2005; Bussab & Morettin, 2010). A aderência dos valores decendiais de precipitação estimados às cinco FDPs foi verificada com o teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade (7.955 testes) (Assis, 1996; Bussab & Morettin, 2010).

Após a escolha da FDP que melhor se ajustou aos valores decendiais de precipitação observada, determinou-se a precipitação decendial provável, a 75% de probabilidade ($P_{75\%}$), para as 43 localidades estudadas, ao longo dos 37 decêndios dos anos. A $P_{75\%}$ refere-se ao valor de precipitação que tenha 75% de probabilidade de ser igualado ou superado, a cada decêndio: $P_{75\%} = P(P_{75\%} \in P \mid p_i \geq P_{75\%}) = 75\%$. Como algumas das FDPs analisadas não admitem valores nulos, adotou-se o conceito de distribuição mista (Assis, 1996): $F(p) = P_0 + (1 - P_0) \times D(p)$, em que $F(p)$ é a função cumulativa de probabilidade da distribuição mista (%); P_0 é a probabilidade de ocorrência de decêndios sem precipitação (%) ou com valores menores que 1 mm; e $D(p)$ é a probabilidade estimada com a distribuição cumulativa teórica de melhor ajuste, cujos parâmetros foram determinados na ausência de decêndios sem precipitação (%).

As relações funcionais entre os valores decendiais de $P_{75\%}$ e P (média, maior valor, menor valor, moda e ausência de precipitação) foram testadas a partir de análises de regressão (linear, potencial, exponencial, logarítmica e polinomial), tendo-se considerado as 43 localidades, analisadas isoladamente ou agrupadas em estados ou tipos climáticos. Para a validação das relações funcionais estudadas, os valores de $P_{75\%}$ estimados com as equações foram relacionados com os respectivos valores decendiais de $P_{75\%}$ obtidos por outros autores ($P_{75\%}^{**}$), para diferentes locais e tipos

climáticos – Aw (Fietz et al., 2008) e Cwb (Castro Neto & Silveira, 1983). Foram realizadas duas análises de validação. Na primeira, comparou-se a $P_{75\%}^{**}$ estimada por Fietz et al. (2008), em Cuiabá, MT, no clima Aw, com a $P_{75\%}$ calculada pelo uso dos dados de \bar{P} decendial desses autores na equação de regressão linear obtida no presente trabalho entre os valores de \bar{P} e $P_{75\%}$, para esse tipo climático. Na segunda análise, comparou-se a $P_{75\%}^{**}$ estimada por Castro Neto & Silveira (1983), em Lavras, MG, no clima Cwb, com a calculada pelo uso dos dados de \bar{P} decendial desses autores na equação de regressão linear obtida no presente trabalho entre os valores de \bar{P} e $P_{75\%}$, para esse tipo climático.

Resultados e Discussão

Vinte e cinco localidades tiveram série média de precipitação decendial menor ou igual à média das 43 localidades analisadas, em 13,9 anos (Tabela 2). O desvio-padrão das séries de dados de precipitação decendial indicou que, nos períodos mais secos, o ajuste das FDPs testadas aos dados observados foi limitado, em algumas regiões. No entanto, isso não causou maior imprecisão na determinação de $P_{75\%}$, já que o valor provável provém de uma distribuição mista, que também considera a probabilidade de ocorrência de decêndios sem precipitação (P_0).

De acordo com a frequência em que cada FDP apresentou o melhor ajuste aos dados (Tabela 2), nas 1.591 análises (43 localidades x 37 decêndios) realizadas, verificou-se que as distribuições gama e exponencial ajustaram-se melhor às séries históricas de precipitação agrupadas em decêndio, com frequências de melhor ajuste de 41,2 e 30,8%, respectivamente. A distribuição gama destacou-se principalmente nas localidades com maior série histórica, onde atingiu frequência de melhor ajuste maior que 50%. Para as distribuições normal (19,3%), triangular (2,2%) e uniforme (3,5%), as frequências de melhor ajuste foram menores.

Os parâmetros da FDP que melhor se ajustou aos valores de precipitação decendial têm uma série de aplicações voltadas ao planejamento da agricultura. Os parâmetros obtidos podem servir de base para a realização de programas voltados à estimativa da precipitação provável, semelhantes ao desenvolvido por Gomes et al. (2003), que utilizaram os parâmetros mensais alfa e beta da distribuição gama, determinados

Tabela 2. Frequência (%) em que as funções densidade de probabilidade (FDP) analisadas apresentaram o melhor ajuste aos dados de precipitação, no total das avaliações.

Cidade	Série (anos) ⁽¹⁾		FDP				
	Média	DP	Normal	Triangular	Gama	Exponencial	Uniforme
Bahia							
Eunápolis	15	1,3	13,5	5,4	24,3	54,1	2,7
Ilhéus	19	1,1	10,8	0,0	62,2	27,0	0,0
Jaguaquara	11	2,4	5,4	2,7	59,5	32,4	0,0
Jequié	12	2,4	21,6	0,0	45,9	29,7	2,7
Milagres	10	1,8	10,8	5,4	37,8	43,2	2,7
Salvador	13	2,2	8,1	0,0	54,1	32,4	5,4
Vitória da Conquista	13	1,7	5,4	0,0	32,4	62,2	0,0
Goiás							
Anápolis	16	7,8	29,7	0,0	37,8	29,7	2,7
Britânia	15	8,2	18,9	5,4	21,6	32,4	5,4
Ceres	14	7,2	24,3	0,0	48,6	18,9	5,4
Flores de Goiás	13	7,4	18,9	0,0	45,9	29,7	0,0
Itumbiara	10	5,2	32,4	8,1	21,6	27,0	5,4
Porangatu	16	9,6	24,3	5,4	43,2	18,9	2,7
Maranhão							
Balsas	12	7,3	16,2	0,0	43,2	27,0	2,7
Minas Gerais							
Itajubá	14	3,8	27,0	5,4	29,7	32,4	5,4
Leopoldina	15	3,3	10,8	2,7	56,8	29,7	0,0
Machado	14	4,0	18,9	0,0	45,9	35,1	0,0
Montes Claros	10	5,8	32,4	0,0	35,1	21,6	0,0
Nanuque	14	2,2	8,1	2,7	51,4	37,8	0,0
Paracatu	10	4,8	27,0	0,0	32,4	18,9	13,5
Mato Grosso							
Cuiabá	15	6,2	18,9	5,4	45,9	24,3	5,4
Porto dos Gaúchos	11	5,8	27,0	10,8	32,4	8,1	10,8
Pernambuco							
Afrânio	5	3,7	24,3	0,0	21,6	18,9	5,4
Araripina	8	3,8	24,3	0,0	35,1	27,0	5,4
Arcoverde	8	3,3	16,2	2,7	32,4	40,5	5,4
Barreiros	12	2,3	27,0	0,0	37,8	35,1	0,0
Caruaru	10	4,2	10,8	0,0	48,6	37,8	2,7
Piauí							
Santa Filomena	10	5,3	37,8	0,0	29,7	13,5	13,5
Paraná							
Antonina	25	1,5	29,7	2,7	40,5	24,3	2,7
Campo Mourão	4	1,0	51,4	0,0	13,5	32,4	0,0
Curitiba	8	1,2	18,9	5,4	40,5	32,4	2,7
Foz do Iguaçu	7	0,9	16,2	8,1	37,8	35,1	2,7
Guaira	4	0,7	35,1	0,0	24,3	35,1	5,4
Guarapuava	28	1,8	10,8	2,7	67,6	18,9	0,0
Lapa	16	1,9	8,1	0,0	62,2	27,0	2,7
Londrina	22	3,6	16,2	0,0	51,4	32,4	0,0
Maringá	4	0,9	37,8	0,0	24,3	27,0	8,1
Ponta Grossa	45	4,4	8,1	0,0	70,3	21,6	0,0
Rio Grande do Norte							
Natal	11	4,0	2,7	0,0	37,8	54,1	5,4
Rio Grande do Sul							
São Martinho da Serra	13	1,3	10,8	0,0	37,8	48,6	2,7
São Paulo							
Campos do Jordão	14	1,7	10,8	8,1	51,4	24,3	5,4
Piracicaba	39	9,1	2,7	2,7	62,2	32,4	0,0
São Carlos	12	3,5	21,6	2,7	35,1	35,1	5,4
Menor participação	-	-	2,7	0,0	13,5	8,1	0,0
Maior participação	-	-	51,4	10,8	70,3	62,2	13,5
Média das participações	-	-	19,3	2,2	41,2	30,8	3,5

⁽¹⁾Média e desvio-padrão (DP) dos anos utilizados para encontrar os parâmetros das funções densidade de probabilidade que melhor se ajustaram aos valores decendiais de precipitação, para cada decêndio.

para 380 estações climatológicas no território brasileiro. Esses parâmetros também podem ser utilizados para ampliar programas similares e auxiliar no estudo e na simulação dos balanços hídricos decendiais das localidades avaliadas (Frizzzone et al., 2005).

A precipitação decendial média das localidades foi de 41,9 mm; porém, houve grande variabilidade entre as localidades estudadas. Em média, os valores de P_0 nas 43 localidades corresponderam a 23,7% dos decêndios analisados, ao longo dos anos (Tabela 3).

A $P_{75\%}$ corresponde à probabilidade de uma determinada precipitação pluvial ocorrer uma vez a cada 1,33 anos, em média. Por meio deste parâmetro, verificou-se que algumas localidades analisadas (Tabela 3) podem enfrentar grandes problemas quanto ao risco de baixa precipitação. Valores de $\bar{P}_{75\%}$ inferiores a 2,0 mm por decêndio sequer devem ser contabilizados para a realização de projetos de irrigação (Oliveira & Carvalho, 2003; Sampaio et al., 2006; Soccol et al., 2010). O valor médio de $P_{75\%}$, nas 43 localidades, foi de 12,1 mm por decêndio, o que corresponde a 29% da precipitação média decendial e a uma diferença absoluta entre esses parâmetros de 29,8 mm por decêndio.

De forma geral, as regressões que buscavam identificar algum tipo de associação entre os valores decendiais de \bar{P} , $\bar{P}_{75\%}$, \bar{P}_0 , $P_{75\%}$, P_{Ma} e P_0 resultaram em baixos coeficientes de determinação, com exceção da regressão linear entre \bar{P} e $\bar{P}_{75\%}$ (Tabela 4 e Figura 1). A associação observada entre esses valores indica que há possibilidade de determinar a precipitação provável a 75% a partir da precipitação média, independentemente de as 43 localidades serem analisadas isoladamente ou agrupadas em estados ou tipos climáticos. Esse resultado é relevante pois pode facilitar consideravelmente a obtenção de valores prováveis de precipitação, uma vez que a precipitação média pode ser facilmente calculada a partir de séries pequenas de dados.

Com o aprofundamento das análises, observou-se estreita relação linear entre os valores decendiais de \bar{P} e $P_{75\%}$ em algumas localidades (Tabela 4). Além disso, constatou-se que a relação entre esses parâmetros pode estar relacionada à condição climática e, possivelmente, às características operacionais (manutenção e tamanho da série disponível, entre outras) das estações, nos diferentes estados (Tabela 5).

As baixas relações observadas entre \bar{P} e $P_{75\%}$ para o clima Bsh ou para o Estado de Pernambuco (Tabela 5) deveram-se aos baixos volumes de precipitação registrados nesses casos, em que foram verificados poucos períodos decendiais com $P_{75\%}$ maior do que zero (Figura 2 B). Esse resultado, entretanto, contrasta com os obtidos nas localidades com clima Cwa (Figura 2 A). Os resultados observados para o Estado do Paraná (Tabelas 4 e 5) provavelmente foram prejudicados pelo pequeno tamanho das séries de dados utilizadas. Constatou-se que os coeficientes de determinação (R^2) geralmente foram maiores nas localidades com maior série de dados de precipitação (Tabela 4). As quatro localidades com clima Aw no Estado da Bahia tiveram baixos valores de R^2 (Tabela 4). No entanto, o R^2 obtido para todas as localidades com esse tipo climático foi elevado (Tabela 5).

Na validação das equações de regressão entre \bar{P} e $P_{75\%}$, observou-se que os valores de $P_{75\%}$ estimados com essas equações, a partir dos dados de \bar{P} decendial utilizados para a validação (Castro Neto & Silveira, 1983; Fietz et al., 2008), apresentaram estreita correlação com os valores calculados por esses autores. Os valores de R^2 obtidos para a regressão entre a $P_{75\%}^{**}$ estimada pelos autores e a $P_{75\%}$ obtida com as equações geradas no presente trabalho foram de 0,874, para os dados de Fietz et al. (2008), no clima Aw, e de 0,804, para os dados de Castro Neto & Silveira (1983), no clima Cwb (Figura 3). Esses resultados confirmam a possibilidade de utilização de \bar{P} para estimar a $P_{75\%}$. Cabe destacar que os resultados obtidos em ambas as análises de validação poderiam ter sido ainda melhores se a metodologia utilizada por Castro Neto & Silveira (1983) e Fietz et al. (2008), para fechar os decêndios, tivesse sido a mesma que a usada no presente trabalho.

No entanto, as séries históricas diárias de precipitação utilizadas não foram ideais, em razão de dificuldades relacionadas à sua obtenção. Portanto, existem algumas fontes de incertezas nas análises, tais como: séries históricas diárias de precipitação provenientes de vários órgãos governamentais, os quais não utilizam o mesmo padrão instrumental e de realização das leituras; algum tipo de falha em todas as séries, cujo período teve de ser descartado; oscilação no número de anos das séries analisadas, para as localidades; e séries de precipitação com poucos anos, em algumas localidades. Contudo, apesar dessas incertezas, os resultados obtidos para a estimativa da $P_{75\%}$ a partir da precipitação média foram

Tabela 3. Resumo das 1.591 análises realizadas (37 decêndios por ano, nas 43 localidades avaliadas)⁽¹⁾.

Cidade	Anos	----- (mm por decêndio) -----								
		\bar{P}	S_P	P_{Ma}	\bar{P}_{75}	$S_{P75\%}$	$P_{Ma75\%}$	\bar{P}_0	S_{P_0}	P_{0Ma}
----- (%) -----										
Bahia										
Eunápolis	17,9	33,7	28,7	231,2	5,2	4,0	13,5	15,0	6,9	31,6
Ilhéus	19,8	42,4	36,6	266,2	14,6	7,4	35,2	3,8	4,7	19,0
Jaguaquara	18,0	22,3	23,6	259,7	0,2	0,6	3,6	38,0	12,6	68,4
Jequié	17,9	24,5	23,9	292,6	0,6	1,4	5,8	31,6	13,0	57,9
Milagres	14,9	21,9	22,8	223,0	1,1	2,0	7,2	28,8	11,1	50,0
Salvador	14,8	59,9	52,1	412,6	18,5	20,5	82,4	11,4	13,8	62,5
Vitória da Conquista	16,0	24,6	23,9	290,2	3,1	4,2	22,6	18,0	9,7	47,1
Goiás										
Anápolis	22,9	51,1	36,2	304,2	20,2	22,4	82,3	27,0	32,9	87,5
Britânia	22,8	48,8	36,3	560,0	15,0	18,8	78,4	33,0	34,6	95,8
Ceres	21,0	48,1	33,0	377,0	17,4	19,0	59,5	31,1	32,5	90,9
Flores de Goiás	21,0	38,3	30,1	217,2	10,0	12,2	37,9	36,2	33,8	90,9
Itumbiara	15,0	41,7	33,0	296,4	13,8	17,8	66,3	32,6	32,7	93,8
Porangatu	24,9	47,0	35,4	330,8	17,1	19,7	65,5	33,3	37,0	96,2
Maranhão										
Balsas	19,7	33,6	27,4	240,0	9,2	11,8	41,7	36,1	35,8	95,2
Minas Gerais										
Itajubá	18,0	46,2	33,2	323,1	15,7	17,6	56,3	19,1	20,1	68,4
Leopoldina	17,9	44,0	34,9	287,3	13,7	14,9	49,2	17,4	17,2	63,2
Machado	17,9	51,4	39,8	317,8	18,1	19,4	61,8	18,7	21,3	68,4
Montes Claros	17,8	40,1	33,9	318,8	6,7	12,6	54,8	42,7	30,7	94,7
Nanuque	17,9	31,7	27,9	210,4	5,1	7,8	32,7	21,4	11,7	47,4
Paracatu	14,9	48,1	35,4	386,6	15,0	21,8	74,8	32,8	30,5	93,8
Mato Grosso										
Cuiabá	20,5	50,6	41,2	285,0	16,7	17,3	50,5	24,7	29,6	81,8
Porto dos Gaúchos	14,9	59,0	31,5	301,5	33,2	32,9	105,5	22,7	34,0	87,5
Pernambuco										
Afrânio	14,9	32,3	22,8	314,4	0,3	1,5	9,4	61,0	23,5	93,8
Araripina	15,0	25,0	22,3	188,8	1,6	4,9	27,6	45,5	24,0	93,8
Arcoverde	15,0	26,3	20,2	184,5	4,2	16,5	100,4	40,9	20,8	87,5
Barreiros	14,9	62,9	50,5	368,9	18,0	24,8	85,5	17,3	14,7	43,8
Caruaru	18,0	18,9	17,9	139,0	0,8	1,9	8,3	42,2	22,0	78,9
Piauí										
Santa Filomena	14,8	41,4	30,5	288,3	15,1	16,9	58,6	31,2	34,0	93,8
Paraná										
Antonina	26,1	69,5	47,0	402,6	34,3	25,1	91,8	3,1	4,7	18,5
Campo Mourão	4,6	45,1	31,8	262,0	13,4	14,2	46,9	17,3	19,1	93,8
Curitiba	9,3	41,4	33,3	187,0	14,6	11,0	45,3	7,8	11,7	50,0
Foz do Iguaçu	7,6	48,0	41,4	293,8	12,0	10,0	34,6	9,8	10,9	33,3
Guaira	4,5	45,0	36,2	318,4	12,7	17,1	67,6	16,2	12,8	40,0
Guarapuava	30,5	53,7	43,8	321,2	17,6	10,4	39,7	6,5	6,4	25,0
Lapa	18,0	44,9	36,3	224,5	13,7	11,2	47,5	10,3	9,6	31,6
Londrina	26,7	47,8	42,8	308,3	10,9	11,0	33,7	16,4	13,2	46,4
Maringá	4,7	45,0	29,5	269,0	11,8	14,2	52,2	17,0	16,4	66,7
Ponta Grossa	50,2	44,5	36,9	286,6	12,3	9,3	30,7	10,7	8,9	28,8
Rio Grande do Norte										
Natal	17,0	28,1	26,8	182,0	4,0	6,4	26,7	31,7	22,1	77,8
Rio Grande do Sul										
São Martinho da Serra	15,0	41,2	35,5	260,0	9,2	6,3	25,7	11,5	8,3	37,5
São Paulo										
Campos do Jordão	15,0	48,6	36,3	296,0	20,5	19,8	66,4	8,3	10,4	31,3
Piracicaba	49,6	40,7	34,3	277,9	10,7	12,2	39,0	20,5	19,1	54,9
São Carlos	15,3	41,5	31,3	400,0	14,0	16,1	60,6	20,5	22,0	70,6

⁽¹⁾ \bar{P} , precipitação média decenal da série; S_P , desvio-padrão médio da precipitação pluviométrica decenal da série; P_{Ma} , maior valor de precipitação decenal obtido; \bar{P}_{75} , média da precipitação provável a 75% de probabilidade; $S_{P75\%}$, desvio-padrão da $P_{75\%}$ dos decêndios da série; $P_{Ma75\%}$, maior valor de $P_{75\%}$ decenal obtido na série; \bar{P}_0 , percentual médio de decêndios com precipitação zero na série; S_{P_0} , desvio-padrão da percentagem de P_0 da série; P_{0Ma} , maior valor percentual de P_0 obtido na série.

Tabela 4. Análises de regressão para a relação entre os valores de precipitação média decenal (\bar{P}) e precipitação decenal provável a 75% de probabilidade ($P_{75\%}$), para as 43 localidades avaliadas e os 37 decêndios.

Cidade	Anos	Equação de regressão linear ----- (mm por decêndio) -----	Restrição ⁽¹⁾		R ²	Classificação climática
			Li	Ls		
Bahia						
Eunápolis	17,9	$P_{75\%} = 0,109\bar{P} + 1,520$	16,6	69,5	0,10	Aw
Ilhéus	19,8	$P_{75\%} = 0,346\bar{P} - 0,070$	18,0	79,3	0,31	Af
Jaguaquara	18,0	$P_{75\%} = 0,000\bar{P} + 0,159$	9,0	72,2	0,00	Aw
Jequié	17,9	$P_{75\%} = 0,012\bar{P} + 0,341$	6,6	67,9	0,02	Aw
Milagres	14,9	$P_{75\%} = -0,001\bar{P} + 1,133$	5,1	60,7	0,00	Bsh
Salvador	14,8	$P_{75\%} = 0,563\bar{P} - 15,230$	27,1	137,2	0,76	As
Vitória da Conquista	16,0	$P_{75\%} = 0,145\bar{P} - 0,473$	5,8	75,6	0,36	Aw
Goiás						
Anápolis	22,9	$P_{75\%} = 0,671\bar{P} - 14,13$	21,1	113,2	0,89	Cwa
Britânia	22,8	$P_{75\%} = 0,497\bar{P} - 9,238$	18,6	109,3	0,71	Am
Ceres	21,0	$P_{75\%} = 0,564\bar{P} - 9,741$	17,3	106,4	0,87	Cwa
Flores de Goiás	21,0	$P_{75\%} = 0,396\bar{P} - 5,182$	13,1	78,8	0,67	Cwa
Itumbiara	15,0	$P_{75\%} = 0,562\bar{P} - 9,661$	17,2	108,1	0,79	Aw
Porangatu	24,9	$P_{75\%} = 0,533\bar{P} - 7,988$	15,0	113,0	0,83	Cwa
Maranhão						
Balsas	19,7	$P_{75\%} = 0,409\bar{P} - 4,560$	11,2	74,1	0,65	Aw
Minas Gerais						
Itajubá	18,0	$P_{75\%} = 0,761\bar{P} - 19,540$	25,7	101,0	0,78	Cwb
Leopoldina	17,9	$P_{75\%} = 0,458\bar{P} - 6,461$	14,2	109,3	0,86	Aw
Machado	17,9	$P_{75\%} = 0,638\bar{P} - 14,720$	23,1	105,0	0,83	Cwb
Montes Claros	17,8	$P_{75\%} = 0,293\bar{P} - 5,118$	17,5	108,4	0,46	Cwb
Nanuque	17,9	$P_{75\%} = 0,319\bar{P} - 5,000$	15,7	74,1	0,53	Cwb
Paracatu	14,9	$P_{75\%} = 0,540\bar{P} - 10,990$	20,4	139,4	0,75	Aw
Mato Grosso						
Cuiabá	20,5	$P_{75\%} = 0,596\bar{P} - 13,470$	22,7	96,3	0,78	Aw
Porto dos Gaúchos	14,9	$P_{75\%} = 0,835\bar{P} - 16,100$	19,3	131,6	0,92	Am
Pernambuco						
Afrânio	14,9	$P_{75\%} = 0,017\bar{P} - 0,301$	17,8	130,3	0,10	Bsh
Araripina	15,0	$P_{75\%} = 0,083\bar{P} - 0,487$	5,9	57,7	0,09	Bsh
Arcoverde	15,0	$P_{75\%} = 0,007\bar{P} + 4,042$	4,6	88,7	0,00	Bsh
Barreiros	14,9	$P_{75\%} = 0,521\bar{P} - 14,790$	28,4	136,9	0,60	As
Caruaru	18,0	$P_{75\%} = 0,015\bar{P} + 0,562$	2,2	41,7	0,01	Bsh
Piauí						
Santa Filomena	14,8	$P_{75\%} = 0,497\bar{P} - 5,550$	11,2	96,3	0,76	Bsh
Paraná						
Antonina	26,1	$P_{75\%} = 0,728\bar{P} - 16,380$	28,4	140,6	0,88	Cfa
Campo Mourão	4,6	$P_{75\%} = 0,248\bar{P} + 2,210$	0,0	97,1	0,16	Cfa
Curitiba	9,3	$P_{75\%} = 0,585\bar{P} - 9,587$	21,5	73,7	0,49	Cfb
Foz do Iguaçu	7,6	$P_{75\%} = 0,150\bar{P} + 4,802$	10,8	126,2	0,11	Cfa
Guaira	4,5	$P_{75\%} = 0,439\bar{P} - 7,048$	16,1	126,4	0,46	Cfa
Guarapuava	30,5	$P_{75\%} = 0,526\bar{P} - 10,750$	32,0	74,0	0,35	Cfb
Lapa	18,0	$P_{75\%} = 0,709\bar{P} - 18,120$	30,8	69,0	0,55	Cfb
Londrina	26,7	$P_{75\%} = 0,598\bar{P} - 17,620$	29,5	78,4	0,62	Cfa
Maringá	4,7	$P_{75\%} = 0,165\bar{P} + 4,286$	4,1	130,4	0,09	Cfa
Ponta Grossa	50,2	$P_{75\%} = 0,723\bar{P} - 19,860$	28,0	61,1	0,49	Cfb
Rio Grande do Norte						
Natal	17,0	$P_{75\%} = 0,314\bar{P} - 4,821$	15,4	60,5	0,66	As
Rio Grande do Sul						
São Martinho da Serra	15,0	$P_{75\%} = 0,403\bar{P} - 7,416$	18,5	61,3	0,47	Cfa
São Paulo						
Campos do Jordão	15,0	$P_{75\%} = 0,644\bar{P} - 10,770$	16,8	107,8	0,75	Cwb
Piracicaba	49,6	$P_{75\%} = 0,632\bar{P} - 15,100$	23,9	77,9	0,89	Cwa
São Carlos	15,3	$P_{75\%} = 0,507\bar{P} - 7,030$	13,9	117,2	0,73	Cwa

⁽¹⁾Restrição, limites da variável independente (precipitação média, \bar{P}) para a qual as equações foram ajustadas; Li, limite inferior da \bar{P} ; Ls, limite superior da \bar{P} .

muito promissores. As estreitas relações obtidas entre $P_{75\%}$ e \bar{P} em algumas localidades, tipos climáticos e estados indicam a possibilidade de fácil obtenção da $P_{75\%}$ para localidades sem estação climatológica, ou que apresentam série histórica com poucos anos de dados. Além disso, a estimação de $P_{75\%}$ a partir de \bar{P} pode viabilizar programas de planejamento de atividades agropecuárias mais abrangentes.

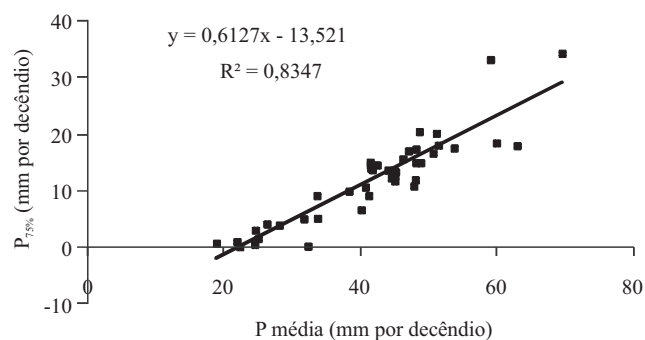


Figura 1. Análise de regressão e coeficiente de determinação (R^2) entre os valores de precipitação decidual média (\bar{P}) e precipitação provável média a 75% ($P_{75\%}$). Média obtida para as 43 localidades e os 37 decênios.

Tabela 5. Análises de regressão obtidas para a relação entre os valores decenciais de \bar{P} e $P_{75\%}$, tendo-se considerado os diferentes tipos climáticos e estados.

Parâmetro	Equação de regressão linear	Restrição ⁽¹⁾		R^2	Lo	Nº de pontos
		Li	Ls			
----- (mm por decênio) -----						
Clima						
As	$P_{75\%} = 0,494\bar{P} - 11,380$	23,1	137,2	0,68*	3	111
Aw	$P_{75\%} = 0,468\bar{P} - 8,207$	17,6	139,4	0,70*	9	333
Bsh	$P_{75\%} = 0,02\bar{P} + 1,018$	0,0	130,3	0,00	6	222
Cfa	$P_{75\%} = 0,476\bar{P} - 8,342$	17,6	140,6	0,48*	7	259
Cfb	$P_{75\%} = 0,580\bar{P} - 12,220$	21,5	74,0	0,46*	5	185
Cwa	$P_{75\%} = 0,559\bar{P} - 9,965$	17,9	117,2	0,82*	6	222
Cwb	$P_{75\%} = 0,670\bar{P} - 10,570$	15,8	108,4	0,62*	5	185
Estado						
Bahia	$P_{75\%} = 0,379\bar{P} - 6,232$	16,5	137,2	0,56*	7	259
Goiás	$P_{75\%} = 0,547\bar{P} - 9,529$	17,5	113,2	0,80*	6	222
Minas Gerais	$P_{75\%} = 0,509\bar{P} - 9,855$	19,4	139,4	0,70*	6	222
Pernambuco	$P_{75\%} = 0,304\bar{P} - 5,088$	16,8	136,9	0,33*	5	185
Paraná	$P_{75\%} = 0,486\bar{P} - 8,250$	17,0	140,6	0,46*	10	370
São Paulo	$P_{75\%} = 0,597\bar{P} - 10,980$	18,4	117,2	0,76*	3	111

⁽¹⁾Restrição, limites da variável independente (precipitação média, \bar{P}) para a qual as equações foram ajustadas; Li, limite inferior da \bar{P} ; Ls, limite superior da \bar{P} . *Significativo pelo teste t, a 5% de probabilidade.

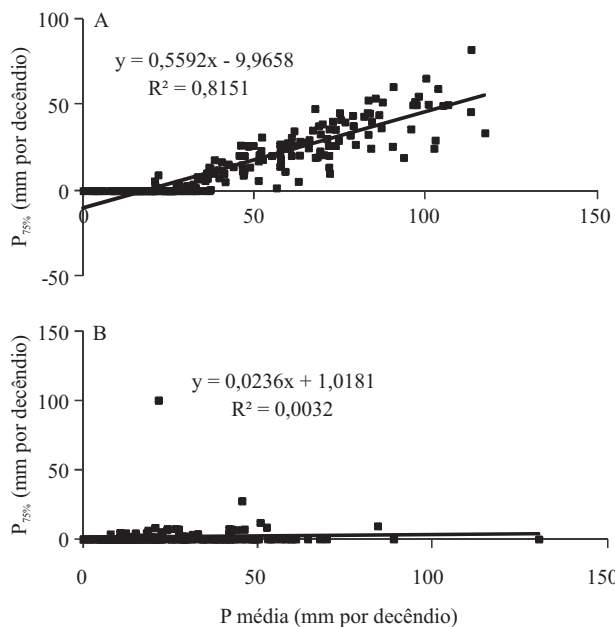


Figura 2. Análises de regressão obtidas para a relação entre os valores decenciais de \bar{P} e $P_{75\%}$, para as localidades com clima Cwa (A) e Bsh (B).

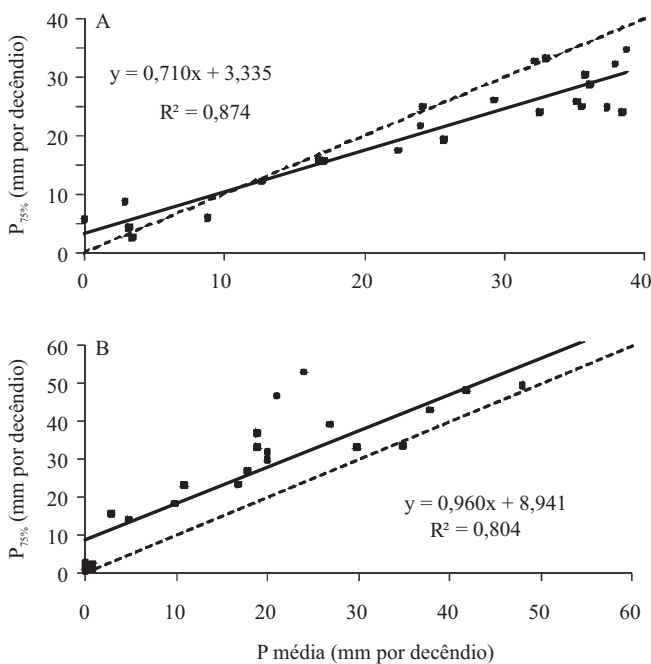


Figura 3. Análises de regressão linear obtidas para a relação entre os valores decenciais da $P_{75\%}$ estimada no presente trabalho (climas Aw e Cwb) e das $P_{75\%}$ ** calculadas por A, Fietz et al. (2008), em Cuiabá, MT, no clima Aw; e B, por Castro Neto & Silveira (1983), em Lavras, MG, no clima Cwb.

Conclusões

1. As distribuições gama e exponencial se ajustam bem às séries históricas de precipitação decenal estudadas, e a distribuição gama destaca-se principalmente com séries históricas maiores.

2. As distribuições normal, triangular e uniforme apresentam baixas frequências de melhor ajuste aos dados, mas são importantes em análises para períodos secos, que tenham menor número de decêndios com precipitação.

3. As relações funcionais entre \bar{P} e $P_{75\%}$ variam de acordo com os tipos climáticos.

Referências

- ARAÚJO, W.F.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; MEDEIROS, R.D. de; SAMPAIO, R.A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.563-567, 2001. DOI: 10.1590/S1415-43662001000300032.
- ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia**: teoria e prática. Pelotas: Ed. da UFPel, 1996. 161p.
- ÁVILA, L.F.; MELLO, C.R. de; VIOLA, M.R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.906-915, 2009. DOI: 10.1590/S1415-43662009000700013.
- BUSSAB, W. de O.; MORETTIN, P.A. **Estatística básica**. 6.ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 540p.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J.K. da. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1157-1166, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004001200001.
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J.V. Precipitação provável para Lavras – MG, baseada na função de distribuição de probabilidade gama III: período de 10 dias. **Ciência Prática**, v.7, p.58-65, 1983.
- DALLACORT, R.; MARTINS, J.A.; INOUE, M.H.; FRETIAS, P.S.L. de; COLETTI, A.J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, p.193-200, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i2.5838.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 24).
- FIETZ, C.R.; COMUNELLO, E.; CREMON, C.; DALLACORT, R. **Estimativa da precipitação provável para o Estado de Mato Grosso**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 239p.
- FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SOUZA, J.L.M.; ZOCOLER, J.L. **Planejamento de irrigação**: análise de decisão de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio Norte, 2005. 627p.
- GHERARDI, B.; DOURADO NETO, D.; SENTELHAS, P.C. Caracterização espacial e temporal da temperatura média do ar, em escala diária e mensal, no Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, p.33-141, 2008.
- GOMES, S. **Ajuste e avaliação de um modelo de balanço hídrico decenal e estudo dos limites de sua utilização em algumas localidades no Estado do Paraná**. 2005. 103p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- GOMES, S.; SOUZA, J.L.M.; MELO, M.C. **Probabilidade de ocorrência de chuva mensal**. Versão 1.0. Curitiba: UFPR/SCA/DSEA, 2003.
- JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation systems**. New York: American Society of Agricultural Engineers, 1974. 829p.
- LIMA, J.S. de S.; SILVA, S. de A.; OLIVEIRA, R.B. de; CECÍLIO, R.A.; XAVIER, A.C. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre – ES. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.327-332, 2008.
- LYRA, G.B.; GARCIA, B.I.L.; PIEDADE, S.M. de S.; SEDIYAMA, G.C.; SENTELHAS, P.C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.205-215, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000200004.
- MARTINS, J.A.; DALLACORT, R.; INOUE, A.S.; SANTI, A.; KOLLING, E.M.; COLETTI, A.J. Probabilidade de precipitação para a microrregião de Tangará da Serra, Estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.291-296, 2010.
- OLIVEIRA, L.F.C. de; CARVALHO, D.F. de. Regionalização da lâmina suplementar de irrigação e época de plantio da cultura de feijão, no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.106-110, 2003. DOI: 10.1590/S1415-43662003000100017.
- SAMPAIO, S.C.; LONGO, A.J.; QUEIROZ, M.M.F. de; GOMES, B.M.; VILLAS BOAS, M.A.; SUSZEK, M. Estimativa e distribuição da precipitação mensal provável no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v.28, p.267-272, 2006. DOI: 10.4025/actascihumansoc.v28i2.169.
- 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, p.569-574, 2010. DOI: 10.1590/S1415-43662010000600001.

Recebido em 18 de outubro de 2012 e aprovado em 25 de junho de 2013