



Chuva mensal provável para o Agreste de Pernambuco

Ana P. N. da Silva¹, Abelardo A. de A. Montenegro², Geber B. de A. Moura²,
Júlio J. do N. Silva² & Leandro R. de Souza¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Avenida Aprígio Veloso, 882, Universitário, CEP 58429-140, Campina Grande-PB, Brasil. E-mail: apns@ymail.com; souzalr@msn.com

² Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 50710-470, Recife-PE, Brasil. E-mail: monte@hotmail.com.br; geber@depa.ufrpe.br; juliojns1980@yahoo.com.br

RESUMO

O conhecimento da distribuição e da variabilidade temporal da chuva de uma região, é de grande importância, principalmente no Nordeste do Brasil (NEB), na qual este elemento meteorológico é determinante para distinguir dois períodos pluviométricos: o seco e o chuvoso. Desta forma, a chuva exerce grande influência nas atividades agrícolas condicionando a época de plantio e afetando a produtividade dos cultivos. No presente trabalho foram analisadas as distribuições de probabilidade experimental e teórica, aplicadas a uma amostra de dados de chuva mensal do município de Pesqueira, situado no NEB, Agreste pernambucano, obtida da série histórica de 1920 a 2010. Para verificar a aderência das probabilidades estimadas às frequências observadas aplicou-se o teste não-paramétrico Qui-quadrado. Como período chuvoso identificaram-se os meses de fevereiro a julho, com média de 84,6 mm mês⁻¹ e, como período seco, de agosto a janeiro, com média de 46,0 mm mês⁻¹. A distribuição Normal foi a que melhor se ajustou ao período chuvoso representando 50% dos meses analisados.

Palavras-chave: função densidade de probabilidade, semiárido, testes não-paramétricos

Probable monthly rainfall in the 'Agreste' of Pernambuco State

ABSTRACT

Rainfall distribution and its temporal variability are relevant characteristics, mainly in the Northeast of Brazil (NEB), where rainfall is a key factor which determines the two seasons in the region: the dry season and the rainy season. Thus, rainfall has a strong influence on the agricultural activities, determining the cropping periods and affecting the crop development and harvesting. In the present work, four probability distributions for monthly time series of rainfall were analyzed for the Pesqueira town in the 'Agreste' region of Pernambuco, situated in the NEB, from 1920 to 2010. To verify the fitting of the probability functions to the observed frequency, non-parametric chi-squared test was applied. For the rainy season, the period from February to July, was characterized with a mean rainfall of 84.60 mm month⁻¹; the period from August to January was identified as the dry period presenting a mean precipitation of 46.0 mm month⁻¹. The Normal distribution presented the best fit for the rainy period records, representing 50% of the analyzed months.

Key words: probability density function, semiarid, no-parametric tests

Introdução

Como principal fonte de água para a agricultura, a chuva é um fator diretamente responsável pela qualidade e produtividade agrícola podendo, todavia, comprometer, na sua ausência, o desenvolvimento das plantas e a colheita, particularmente na agricultura de sequeiro. Devido à sua ocorrência irregular no Nordeste do Brasil (NEB), ora com grandes períodos de escassez ora com períodos de chuvas intensas, seus extremos são refletidos em enchentes e inundações ou secas severas e, conseqüentemente, no alto risco de frustração da produção agrícola.

Em dimensionamentos de projetos agrícolas a chuva média mensal é frequentemente adotada para se estimar o risco (econômico) para o produtor. Conforme Berlato (1992), para o planejamento agrícola adequado e manejo dos recursos hídricos, faz-se necessário conhecer as condições médias, a variabilidade e a frequência de ocorrência de determinados atributos climáticos, com base em uma série histórica de longo período, dentre elas a provável chuva. Este atributo é usado também para o zoneamento climatológico de determinada cultura em uma região e, segundo Waldheim et al. (2006), proporciona, ao agricultor, não só a escolha de culturas apropriadas mas também a aplicação de técnicas de manejo e de mitigação dos efeitos de eventos atmosféricos adversos. Soccol et al. (2010) verificaram que a chuva média mensal provável para o município de Lages, SC, ocorreu a nível de probabilidade de 31,93%, com coeficiente de variação de 3,63%, revelando que o valor médio nem sempre pode ser tomado como referência em projetos agrícolas.

Assim, a estimativa da chuva com determinado nível de probabilidade é de suma importância para o planejamento agrícola possibilitando a previsão da melhor época de preparo do solo, colheita, semeadura, aplicação de adubos e defensivos, e lâmina suplementar de irrigação (Ávila et al., 2009). Bernardo et al. (2008) relataram que para diminuir os riscos não se deve trabalhar com probabilidades de ocorrência de chuvas inferiores a 75%.

O uso de distribuições de probabilidade para o estudo das frequências das precipitações se deve ao fato de que as mesmas, do ponto de vista estatístico, não são distribuídas uniformemente em torno do valor médio mas, sim, de maneira irregular, com grande desvio em relação ao valor médio (Krepper et al., 1989).

Silva et al. (2007) verificaram, analisando as funções de probabilidade que melhor se ajustaram aos dados diários de chuva em Santa Maria, RS, usando o teste de Kolmogorov-Smirnov, que a melhor foi a de Weibull. Junqueira Júnior et al. (2007), constataram que em Madre de Deus, MG, os modelos de probabilidade se adequaram melhor ao período chuvoso, sendo a distribuição Log-normal a mais adequada para médias mensais e a distribuição Gama para os períodos quinzenal e decenal.

Vieira et al. (2010) utilizaram, estudando a frequência de ocorrência da chuva no período chuvoso (outubro a março), na região de Diamantina, MG, distribuição de Weibull com averiguação de aderência pelo teste Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5% e observaram que o período

chuvoso representou 88% do total anual precipitado e, ainda, que a função de probabilidade de Weibull se ajustou bem aos dados mensais gerando parâmetros satisfatórios constituindo-se em uma boa ferramenta para cálculos probabilísticos de chuva na região.

A simples visualização dos dados amostrais de uma variável em um histograma de frequência em conjunto com a curva de distribuição teórica, não é suficiente para deduzir, entre as diversas funções de distribuição de probabilidade conhecidas, a que melhor se ajusta aos dados em estudo. Deste modo, faz-se oportuno o uso de testes de aderência para verificar se a distribuição de probabilidade dos dados da variável pode ser adequadamente representada pela função de distribuição de probabilidade escolhida. Nos testes de aderência a hipótese nula (H_0) admite que a distribuição de probabilidade seja a especificada (Normal, Log-normal, Gama e outras) com seus parâmetros estimados com base nos dados amostrais (Assis et al., 1996; Catalunha et al., 2002).

Com base na necessidade e na importância dos dados de chuva em fornecer subsídios ao planejamento agrícola, no presente trabalho foi verificado e testado o desempenho de funções de distribuições de probabilidade Exponencial, Gama, Log-normal e Normal na estimativa da chuva média mensal, no município de Pesqueira. Buscou-se, assim, encontrar a(s) função(s) que melhor estima(m) a chuva provável nesta localidade.

Material e Métodos

O município de Pesqueira localiza-se no Agreste setentrional do Estado de Pernambuco, na microrregião do Vale do Ipojuca, entre as coordenadas geográficas 8° 34' 17" de Latitude Sul e 37° 1' 35" de Longitude Oeste. A chuva média anual na região é de 607 mm, com temperatura média de 23°C e evapotranspiração de cerca de 2.000 mm (Santos et al., 2009). A vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila, cactáceas e bromeliáceas (Montenegro & Montenegro, 2006).

A série pluviométrica utilizada compreende o período de 1920 a 2010 sendo que, de 1931 a 1934, os dados foram desprezados por não apresentarem boa consistência e os anos de 2000 a 2010 foram utilizados para validar as distribuições, no que concerne à chuva média mensal. Desta forma, para verificar o ajuste das funções de probabilidade adotou-se uma série histórica de 76 anos. Os meses com falhas foram preenchidos com a respectiva Normal Climatológica (NC), nos anos de 1931 a 1960, com a NC31-60 e de 1961 a 1990, com a NC61-90. Após 1990 não houve falhas nos dados e, entre 1920 e 1930, os meses com falhas foram preenchidos com a NC20-49.

Todas as estimativas das distribuições analisadas foram realizadas em planilha eletrônica do Microsoft Excel®, a qual fornece o inverso da distribuição acumulada. A distribuição exponencial geralmente é aplicada aos dados com forte assimetria; sua função densidade de probabilidade está descrita na Equação 1 (Devore, 2006):

$$f(x, \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & x \geq 0 \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

em que:

x - o valor da variável aleatória

λ - o inverso da média aritmética da amostra.

A distribuição Gama tem sido utilizada com frequência na estimativa da probabilidade de chuva sendo a função mais empregada para ajustar totais de chuva de períodos mensais ou menores. Esta distribuição foi testada para modelar as quantidades diárias de chuva em localidades da Jordânia, tendo produzido resultados satisfatórios segundo Almeida (1995). Sua função densidade de probabilidade é definida por meio da Equação 2 (Devore, 2006):

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} & x \geq 0 \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

As estimativas dos parâmetros α e β foram efetuadas pelo método da máxima verossimilhança, por meio das Equações 3 a 7 (Assis et al., 1996):

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

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha}$$

em que:

α - parâmetro de forma

β - parâmetro de escala da distribuição Gama, sendo:

$$A = \ln \bar{X} - X_g$$

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$X_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x_i)$$

em que:

\bar{X} - média aritmética da amostra

X_g - média geométrica da amostra

N - é o número de anos observados.

Quando a chuva mensal foi zero, utilizou-se 0,1 mm, uma vez que se empregou a função logarítmica no cálculo dos parâmetros da distribuição gama (Lyra et al., 2006).

A função mais utilizada devido ao fato de vários fenômenos se ajustarem a esta função, foi a distribuição Normal, também conhecida por curva normal ou curva de Gauss.

Para a análise da distribuição Log-normal aplicou-se o logaritmo nos dados de chuva mensal (x - variável aleatória).

Para verificar o ajuste das funções às séries de dados utilizou-se o teste Qui-quadrado (χ^2), o qual teste realiza uma comparação em cada classe de frequência, entre as frequências observadas e as estimadas; sua variável pode ser calculada pela Equação 8:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \left[\frac{(F_{O_i} - F_{E_i})^2}{F_{E_i}} \right]$$

em que:

k - é o número de classes

F_{O_i} - é a frequência observada

F_{E_i} - é a frequência esperada.

Segundo Catalunha et al. (2002) o aspecto que determina a escolha do teste Qui-quadrado como o melhor para analisar o ajuste de uma função de distribuição que apresenta duas ou mais classes com probabilidades observadas diferentes das estimadas, é que o quadro de frequências de uma série pluviométrica apresenta maiores valores nas classes iniciais e menores nas finais. A definição do teste de Qui-quadrado determina que devem ser reunidas, em uma única classe, as com frequências estimadas inferiores a cinco. Os modelos testados geralmente superestimam as classes iniciais e subestimam as finais. Para atender às definições do teste de Qui-quadrado, as classes estimadas com frequência inferior a cinco devem ser somadas a outra classe mais próxima; decorre, daí, que a somatória ocorrerá também nas classes de frequência observadas gerando um erro absoluto elevado que, somado aos anteriores, resulta em valores calculados de Qui-quadrado maiores que os tabelados, não adequando a distribuição sob teste.

O teste de aderência utilizado neste estudo foi realizado no software Statistic 9.0 (Statsoft, 2009).

Resultados e Discussão

De acordo com a amostra da série histórica estudada, observou-se uma chuva média anual de 671,9 mm, sendo o ano de 1964 o mais chuvoso, com 1.208,4 mm e o ano de 1976 o de menor chuva, com 69,8 mm. Por meio da análise de agrupamento pelo método de Ward (Figura 1), observou-se

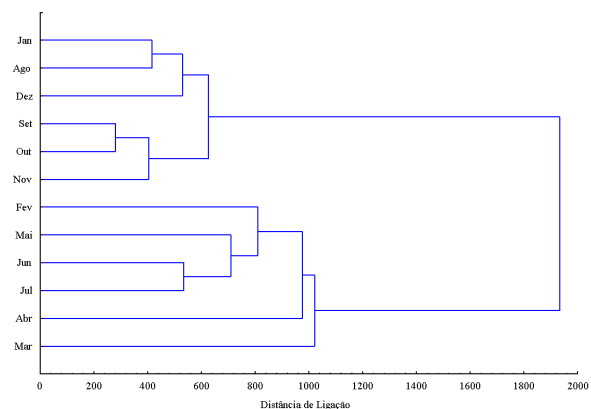


Figura 1. Dendrograma segundo o método de Ward dos períodos de chuva mensal em Pesqueira, PE, de 1931 a 2010

que os dois períodos pluviométricos são bem definidos: o seco, compreendendo os meses de agosto a janeiro e, o chuvoso os demais meses. A chuva ocorre devido sobretudo à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistema sinótico que passa a atuar no NEB, notadamente a partir do mês de fevereiro/março.

Na Tabela 1 encontra-se a análise estatística preliminar efetuada na série estudada. Os máximos valores de chuva mensal foram verificados nos meses de abril e maio, com valores de 103,1 e 95,3 mm, respectivamente. O período chuvoso de fevereiro a julho, com média de 84,7 mm mês⁻¹ concentrando 75% da chuva total anual, e o período seco de agosto a janeiro, com chuva mensal média de 27,8 mm mês⁻¹.

Observa-se, pela Tabela 1, que os valores referentes ao coeficiente de variação (CV) e ao desvio-padrão mensal foram elevados, evidenciando a grande variabilidade temporal da chuva no município, como também a sazonalidade. As maiores variações do CV ocorreram nos meses considerados secos. No período chuvoso observaram-se os maiores valores de desvio-padrão indicando grande variação nos valores da chuva em um mesmo mês do ano. Desta forma foram evidenciados, do ponto de vista estatístico, as flutuações nos valores da chuva, sinal de que a adoção da chuva média mensal para o planejamento agrícola não é eficaz na região e enfatizam, ainda, a importância de estudos probabilísticos, conforme recomendação de Araújo et al. (2001).

Os parâmetros utilizados para cada distribuição estão na Tabela 2; observou-se que os valores do parâmetro β não superaram o valor de 100 para os dados de chuva mensal, o

que possibilita o uso desta distribuição para a variável estudada pois, de acordo com Thom (1958), valores de β superiores a 100, indicam que a distribuição gama incompleta não deve ser utilizada.

Para a distribuição Gama os maiores valores do parâmetro α se concentraram no período chuvoso e os menores no período seco. Murta et al. (2005) encontraram para o município de Lavras, MG, valores do parâmetro α maiores para o período seco. Os autores ressaltaram que, isto se deve à baixa assimetria no período seco, visto que a assimetria é inversamente proporcional ao parâmetro α . Nos dados de Pesqueira, PE, analisados neste trabalho evidenciou-se a proporcionalidade inversa do parâmetro α e a assimetria.

Já os menores valores do parâmetro β foram encontrados no período seco; a variância foi diretamente proporcional ao quadrado de β , sendo este um indicador da variabilidade dos dados. Os valores mais elevados de β encontrados no período chuvoso indicaram uma variabilidade maior nos meses deste período.

Para a distribuição Exponencial os mais altos valores do parâmetro λ se concentraram no período seco, esperado, pois é neste período que os valores da chuva média mensal são menores.

Na distribuição Log-normal os parâmetros μ' e σ'^2 são os logaritmos neperianos da média aritmética e do desvio-padrão obtidos na distribuição de Gauss.

As Tabelas 3, 4, 5 e 6 apresentam os valores de chuva mensal e anual provável para o município de Pesqueira, nos níveis de probabilidade de 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80

Tabela 1. Estatísticas totais mensais (mm) e anuais (mm) da chuva no município de Pesqueira, PE, entre 1920-1930 e 1935-2010

	\bar{X}	\tilde{X}	Mo	σ^2	σ	CV	AS	LI	LS	K	R
Janeiro	43,98	36,80	42,12	2038,20	45,15	102,66	2,23	34,57	53,38	3,03	211,60
Fevereiro	65,91	46,98	46,98	3479,64	58,99	89,50	1,61	53,62	78,19	2,77	284,60
Março	90,21	70,56	70,56	6041,80	77,73	86,16	1,45	74,03	106,40	1,71	374,40
Abril	103,13	100,37	100,37	6015,64	77,56	75,20	1,72	86,98	119,29	4,71	419,60
Maio	95,31	87,83	87,83	3958,88	62,92	66,02	0,75	82,21	108,41	5,60	396,24
Junho	87,21	87,47	87,47	2704,98	52,01	59,64	1,60	76,38	98,04	2,17	271,80
Julho	66,38	52,50	50,98	1909,58	43,70	65,84	1,73	57,22	75,53	4,28	262,30
Agosto	39,71	39,09	39,09	789,90	28,11	70,77	1,68	33,83	45,60	3,39	137,90
Setembro	17,52	14,30	16,46	435,61	20,87	119,14	3,17	13,15	21,89	11,46	132,80
Outubro	13,45	6,33	0,00	544,91	23,34	173,51	3,25	8,56	18,34	12,98	140,80
Novembro	23,46	14,00	0,00	1193,87	34,55	147,26	2,40	16,18	30,74	7,47	178,80
Dezembro	28,41	24,47	0,00	1779,85	42,19	148,50	4,02	19,57	37,25	21,76	307,50
Anual	671,90	637,06		49396,03	222,25	33,08	0,41	625,35	718,45	0,28	1100,50

X - média; \tilde{X} - mediana; Mo - moda; σ^2 - variância; σ - desvio-padrão; CV - coeficiente de variação; AS - assimetria; LI - Limite Inferior do Intervalo de Confiança para média com 95% de confiança; LS - Limite Superior do Intervalo de Confiança para média com 95% de confiança; K - curtose e R - amplitude.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos das distribuições de probabilidades mensais utilizadas na análise da chuva do município de Pesqueira, PE

Meses	Exponencial	Gama		Log-normal		Normal	
	λ	α	β	μ'	σ'^2	μ	σ^2
Janeiro	0,028	0,895	40,253	2,910	1,384	35,804	39,220
Fevereiro	0,016	1,722	36,046	3,397	1,583	61,965	60,474
Março	0,012	0,930	91,472	3,814	1,415	85,032	82,024
Abril	0,010	1,184	84,408	4,136	1,271	99,913	83,508
Maio	0,011	1,627	55,997	4,185	1,136	91,041	55,103
Junho	0,013	2,476	31,501	4,146	0,781	77,996	48,664
Julho	0,016	1,837	34,461	3,861	0,940	63,265	44,985
Agosto	0,029	1,720	20,354	3,241	0,977	34,970	24,611
Setembro	0,063	0,860	18,639	2,093	1,250	15,913	21,696
Outubro	0,071	0,639	22,292	1,711	1,371	14,025	24,506
Novembro	0,042	0,550	44,030	2,063	1,640	23,998	37,330
Dezembro	0,037	0,565	48,907	2,250	1,682	27,377	44,236

Tabela 3. Chuva mensal e anual provável $P(X > x)$ (mm) para o município de Pesqueira, em distintos níveis de probabilidade, segundo a função de distribuição Exponencial

Meses	10%	20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	90%
Janeiro	82,44	57,62	49,64	43,11	32,81	24,82	18,29	12,77	10,30	7,99	3,77
Fevereiro	142,68	99,73	85,90	74,60	56,78	42,95	31,65	22,10	17,83	13,83	6,53
Março	195,79	136,85	117,88	102,38	77,91	58,94	43,44	30,33	24,46	18,97	8,96
Abril	230,06	160,80	138,51	120,29	91,55	69,25	51,04	35,64	28,74	22,30	10,53
Mai	209,63	146,53	126,21	109,61	83,42	63,11	46,51	32,47	26,19	20,32	9,59
Junho	179,59	125,53	108,13	93,91	71,47	54,06	39,84	27,82	22,44	17,40	8,22
Julho	145,67	101,82	87,70	76,17	57,97	43,85	32,32	22,57	18,20	14,12	6,67
Agosto	80,52	56,28	48,48	42,10	32,04	24,24	17,86	12,47	10,06	7,80	3,68
Setembro	36,64	25,61	22,06	19,16	14,58	11,03	8,13	5,68	4,58	3,55	1,68
Outubro	32,29	22,57	19,44	16,89	12,85	9,72	7,16	5,00	4,03	3,13	1,48
Novembro	55,26	38,62	33,27	28,89	21,99	16,63	12,26	8,56	6,90	5,35	2,53
Dezembro	63,04	44,06	37,95	32,96	25,09	18,98	13,98	9,76	7,88	6,11	2,88
Anual	1453,62	1016,04	875,17	760,07	578,45	437,58	322,48	225,17	181,61	140,87	66,51

Tabela 4. Chuva mensal e anual provável $P(X > x)$ (mm) para o município de Pesqueira em distintos níveis de probabilidade, segundo a função de distribuição Gama mista

Meses	10%	20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	90%
Janeiro	83,90	55,96	47,10	40,00	29,00	20,70	14,00	8,50	6,10	4,00	0,45
Fevereiro	120,00	91,30	80,40	71,35	56,80	45,90	34,50	24,90	20,10	15,00	0,00
Março	199,00	134,60	114,60	97,95	72,45	52,90	37,00	23,80	18,05	12,69	3,35
Abril	223,40	157,90	136,95	119,70	92,30	70,75	52,71	36,95	29,65	22,60	8,90
Mai	189,20	140,00	123,85	110,45	88,70	71,00	55,75	41,80	35,05	28,25	13,66
Junho	146,70	114,65	103,90	94,80	79,88	67,40	56,25	45,70	40,45	35,03	22,85
Julho	127,75	96,25	85,85	77,15	63,00	51,40	41,25	31,90	27,33	22,70	12,63
Agosto	70,63	52,73	46,83	41,93	33,94	29,31	21,50	14,76	11,67	8,72	3,19
Setembro	36,65	24,12	20,20	17,04	12,15	8,44	5,49	3,08	2,05	1,14	0,00
Outubro	32,18	19,20	15,29	12,21	7,62	4,39	2,09	0,56	0,00	*	*
Novembro	56,45	32,06	24,89	19,34	11,32	5,95	2,43	0,43	0,00	*	*
Dezembro	62,80	35,93	27,98	21,80	12,81	6,73	2,70	0,41	0,00	*	*
Anual	980,00	837,60	787,85	745,00	671,95	608,25	548,75	489,40	458,35	425,30	345,40

(*) Não se pode afirmar, com a referida probabilidade, se haverá algum valor de chuva que será igualado ou superado.

Tabela 5. Chuva mensal e anual provável $P(X > x)$ (mm) para o município de Pesqueira em distintos níveis de probabilidade, segundo a função de distribuição Log-normal

Meses	10%	20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	90%
Janeiro	108,24	58,87	46,71	37,94	26,07	18,36	12,93	8,88	7,22	5,73	3,11
Fevereiro	227,16	113,20	86,89	68,51	44,61	29,87	20,00	13,02	10,27	7,88	3,93
Março	277,88	149,11	117,70	95,18	64,86	45,32	31,66	21,58	17,45	13,77	7,39
Abril	318,98	182,36	147,46	121,85	86,34	62,57	45,35	32,13	26,55	21,47	12,27
Mai	281,65	170,90	141,36	119,21	87,62	65,72	49,29	36,23	30,55	25,27	15,33
Junho	171,92	121,92	107,00	95,16	77,00	63,18	51,84	41,94	37,30	32,74	23,22
Julho	158,44	104,78	89,55	77,77	60,28	47,50	37,44	29,02	25,20	21,54	14,24
Agosto	89,32	58,13	49,37	42,64	32,73	25,55	19,95	15,31	13,23	11,23	7,31
Setembro	40,25	23,22	18,84	15,62	11,13	8,11	5,91	4,21	3,49	2,83	1,63
Outubro	32,09	17,55	13,96	11,36	7,83	5,54	3,91	2,70	2,20	1,75	0,96
Novembro	64,40	31,30	23,79	18,60	11,92	7,87	5,19	3,33	2,60	1,98	0,96
Dezembro	81,89	39,07	29,50	22,92	14,53	9,49	6,20	3,93	3,05	2,30	1,10
Anual	1029,08	851,41	792,27	742,66	660,81	592,48	531,22	472,67	443,08	412,30	341,12

Tabela 6. Chuva mensal e anual provável $P(X > x)$ (mm) para o município de Pesqueira em distintos níveis de probabilidade, segundo a função de distribuição Normal

Meses	10%	20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	80%	90%
Janeiro	86,07	68,81	62,26	56,37	45,74	35,80	25,87	15,24	9,35	2,80	*
Fevereiro	139,47	112,86	102,75	93,68	77,29	61,96	46,64	30,25	21,18	11,07	*
Março	190,15	154,07	140,36	128,05	105,81	85,03	64,25	42,02	29,71	16,00	*
Abril	206,93	170,20	156,24	143,70	121,07	99,91	78,76	56,12	43,59	29,63	*
Mai	161,66	137,42	128,21	119,94	105,00	91,04	77,08	62,15	53,87	44,67	*
Junho	140,36	118,95	110,82	103,52	90,33	78,00	65,67	52,48	45,17	37,04	*
Julho	120,92	101,13	93,61	86,86	74,66	63,27	51,87	39,68	32,92	25,41	*
Agosto	66,51	55,68	51,57	47,88	41,21	34,97	28,74	22,06	18,37	14,26	*
Setembro	43,72	34,17	30,55	27,29	21,41	15,91	10,42	4,53	1,28	*	*
Outubro	45,43	34,65	30,55	26,88	20,23	14,03	7,82	1,17	*	*	*
Novembro	71,84	55,42	49,18	43,57	33,46	24,00	14,54	4,42	*	*	*
Dezembro	84,07	64,61	57,21	50,57	38,58	27,38	16,17	4,18	*	*	*
Anual	914,95	817,58	780,59	747,37	687,37	631,30	575,23	515,23	482,01	445,02	347,65

(*) Não se pode afirmar, com a referida probabilidade, se haverá algum valor de chuva passível de ser igualado ou superado

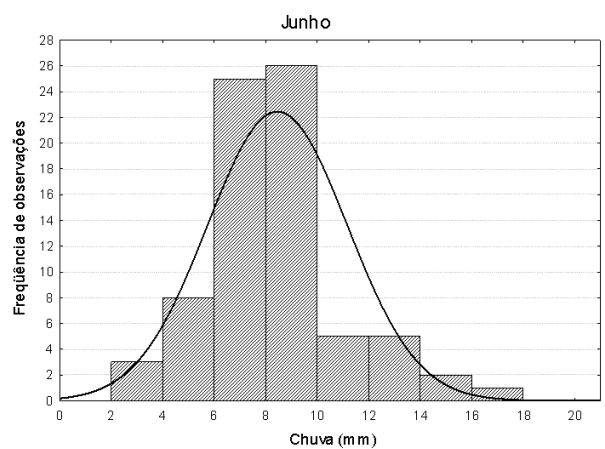
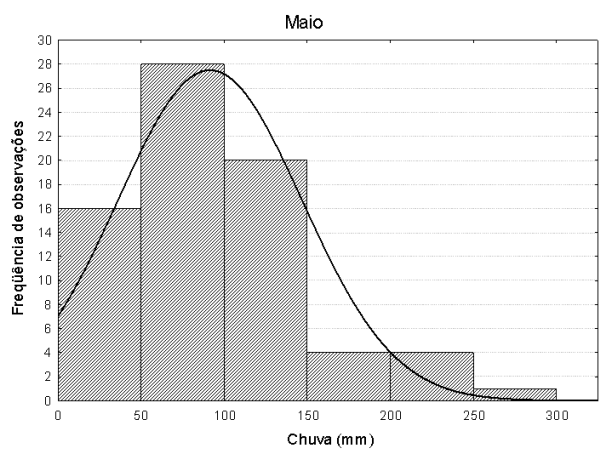
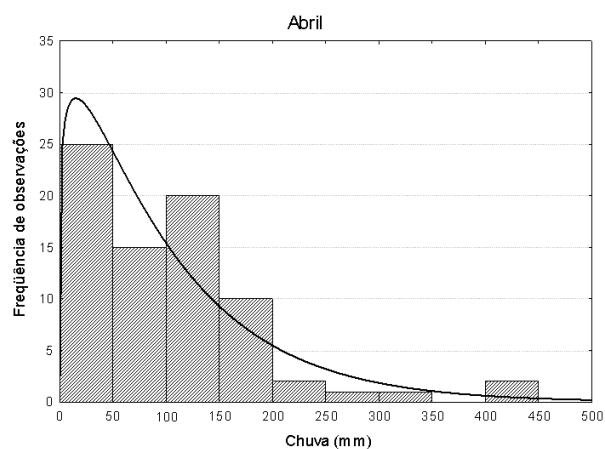
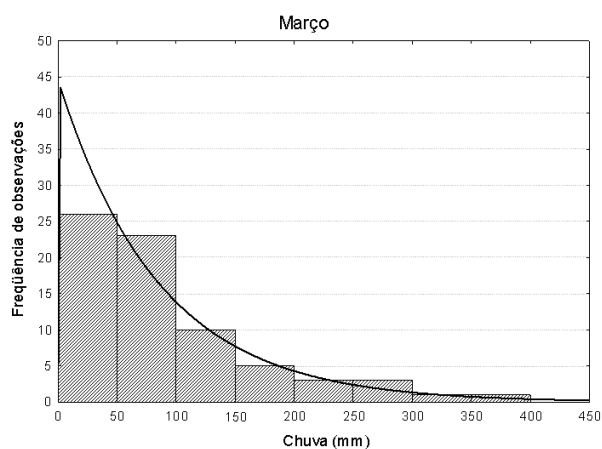
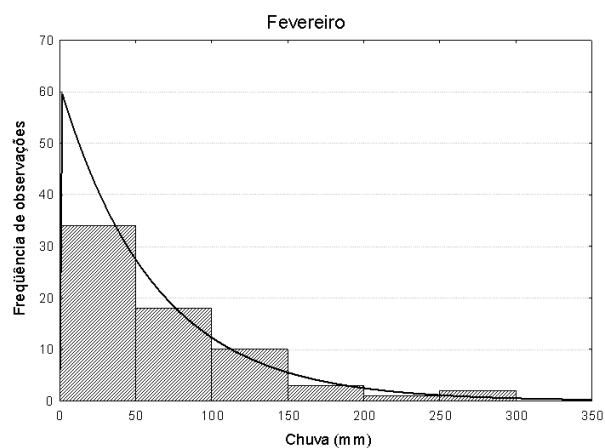
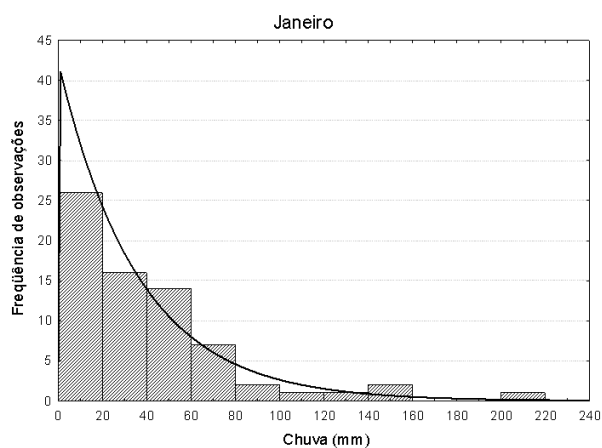
e 90% estimados pelas distribuições estudadas. Esses níveis se referem à probabilidade específica de ocorrência de uma chuva mínima provável.

Observou-se que, principalmente fora do período chuvoso, não houve a indicação de uma chuva mínima provável para as probabilidades de 90, 80 e 75%, devido à escassez de chuvas nesses meses.

Na Tabela 7 se apresentam, para cada mês, os valores do coeficiente de correlação entre as observações teóricas e as empíricas; constata-se que a distribuição Exponencial apresentou melhor ajuste aos dados experimentais nos dois períodos pluviométricos: janeiro (seco) e fevereiro e março (chuvoso), temporada em que a aproximação entre a distribuição teórica e a empírica, é melhor. No período chuvoso

Tabela 7. Coeficientes de correlação entre o modelo empírico e o teórico para cada mês, de acordo com a função de probabilidade de melhor ajuste

Mês	Função	R ² (%)
Janeiro	Exponencial	82,9
Fevereiro	Exponencial	87,1
Março	Exponencial	89,5
Abril	Gama	87,3
Maió	Normal	97,2
Junho	Normal	94,0
Julho	Gama	89,5
Agosto	Normal	92,7
Setembro	Exponencial	76,1
Outubro	Log-normal	99,5
Novembro	Gama	77,2
Dezembro	Exponencial	70,8
Ano	Gama	97,2



Continua na próxima página...

Continuação da Figura 2

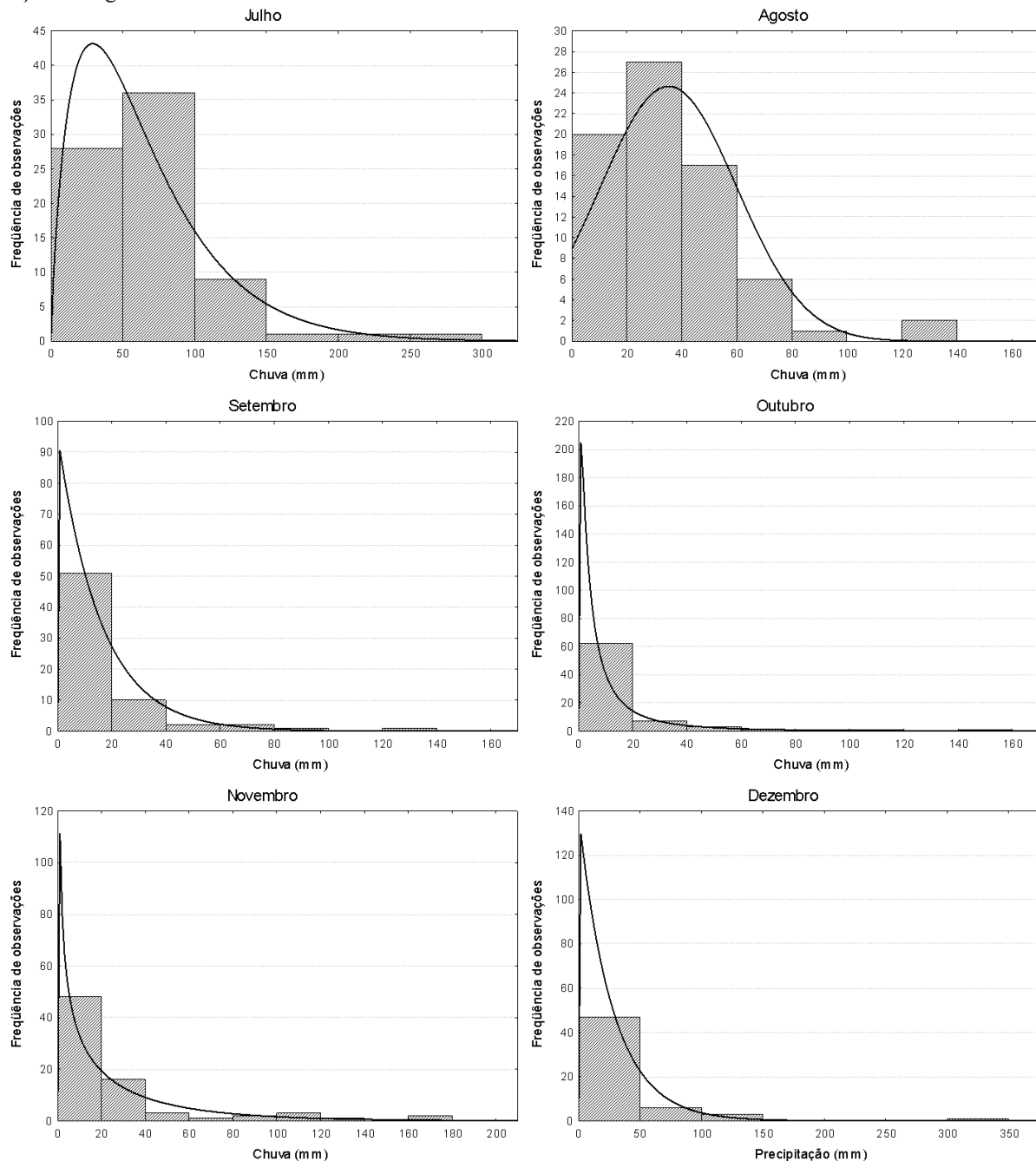


Figura 2. Histogramas de frequência e curva de função de probabilidade em cada mês para o município de Pesqueira, PE

três funções se ajustaram melhor à distribuição empírica: Gama, Normal e Exponencial; já a distribuição Log-normal foi a que apresentou maior coeficiente de correlação chegando, em outubro, a 99,5%.

Tomando-se como base o teste do Qui-quadrado, obtiveram-se as probabilidades apresentadas na Tabela 8 para cada distribuição em cada mês e no ano permitindo, desta forma, verificar as aderências das mesmas aos dados empíricos. Observou-se que a distribuição que melhor se ajustou aos dados foi a Exponencial sendo superior em 5 meses. Os dados possuem, naturalmente, este tipo de distribuição, havendo uma concentração da variável nas classes iniciais. Verificou-se que a melhor aderência desta função ocorreu em meses nos quais os valores de chuva são

Tabela 8. Valores mensais do teste χ^2 para o conjunto de dados analisados

	Exponencial	Gama	Log-normal	Normal
Janeiro	0,63112	0,31593	0,00336	0,00011
Fevereiro	0,35381	0,04279	0,00001	0,00505
Março	0,49082	0,24981	0,00281	0,00007
Abril	0,00688	0,01036	0,00001	0,00305
Maiο	0,00000	0,00010	0,00000	0,08811
Junho*	0,00000	0,00000	0,00000	0,01074
Julho	0,00247	0,54618	0,01525	0,14470
Agosto	0,00000	0,00266	0,00000	0,02582
Setembro	0,45596	0,28347	0,23267	0,00000
Outubro	0,00502	0,03308	0,54479	0,00000
Novembro	0,06651	0,10954	0,00904	0,00000
Dezembro	0,63231	0,14973	0,00189	0,00000
Ano	0,00000	0,12963	0,04761	0,09421

* Usou-se a raiz quadrada da chuva para a realização do teste para que houvesse o ajuste de pelo menos uma fdp.

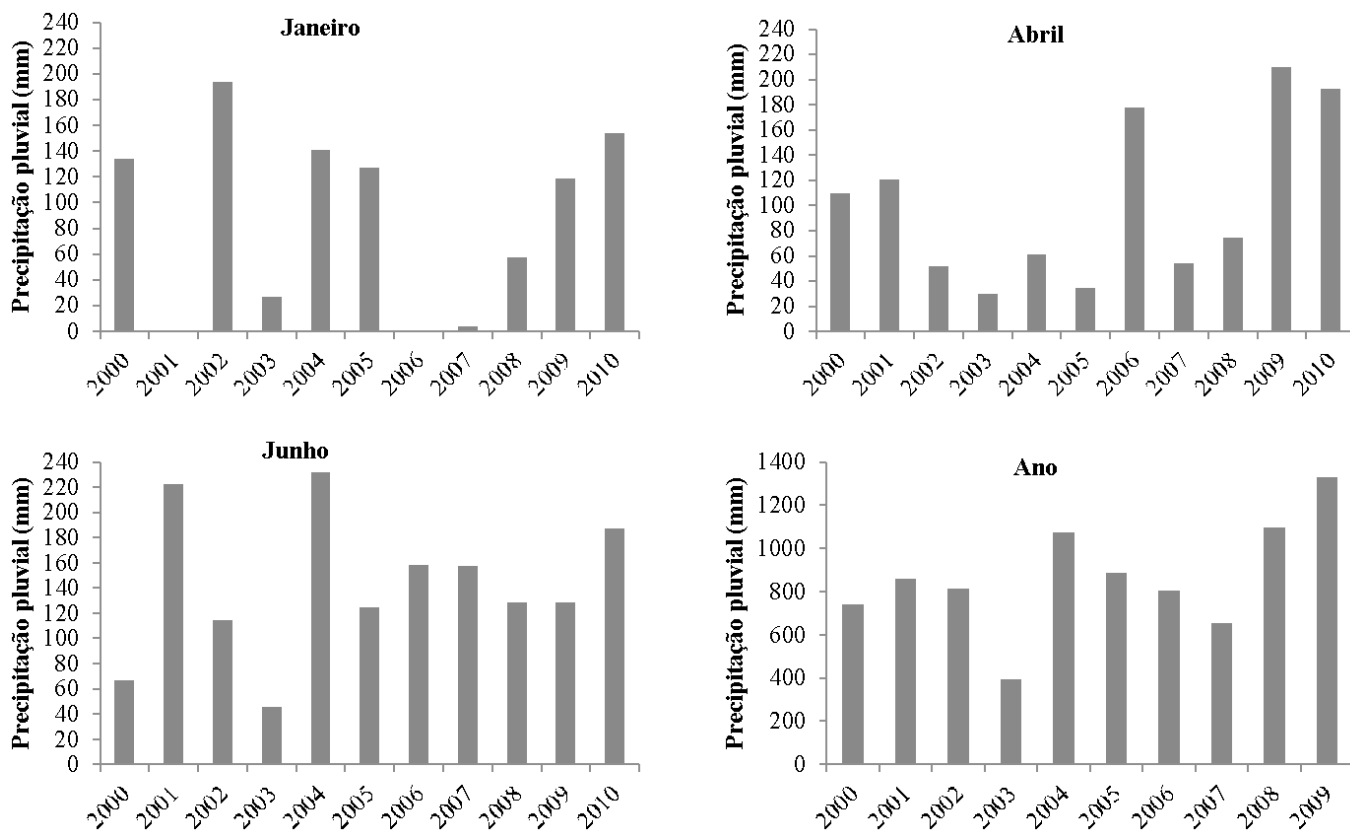


Figura 3. Chuva total nos meses de janeiro (A), abril (B), junho (C) e anual (D) entre 2000 e 2010, Pesqueira, PE

baixos. Resultado semelhante foi encontrado no estado de Minas Gerais (Catalunha et al., 2002).

Na Figura 2 se encontram os histogramas da chuva mensal e anual no município de Pesqueira com a respectiva curva da função de probabilidade, de acordo com o teste χ^2 . Verificou-se que nos meses considerados secos 50% dos meses se ajustaram à função de probabilidade Exponencial. Resultado semelhante foi encontrado por Catalunha et al. (2002) para dados mensais de chuva do Estado de Minas Gerais, que também verificou que o ajuste à função Log-normal foi quase nulo. Lyra et al. (2006) verificaram, estudando o ajuste de funções de probabilidade para o Estado de Táchira, Venezuela, que a função que melhor descreveu o período seco foi a Exponencial; no período chuvoso os dados se ajustaram às funções Normal, Exponencial e Gama.

Segundo Marquelli et al. (1988) apud Murta et al. (2005) a ocorrência do valor médio de chuva mensal se dá entre os níveis de 40 e 50% de probabilidade, inferiores ao nível de 75% de probabilidade, geralmente recomendado na elaboração de projetos agrícolas. Os valores encontrados neste trabalho (Tabela 9) para a probabilidade de ocorrência de valores médios de chuva pluvial mensal ocorreram próximos de 40% de probabilidade confirmando o que esses autores também relataram. Já Ribeiro & Lunardi (1997), para a região de Londrina (PR) e Andrade Júnior & Bastos (1997) para a região do cerrado do Piauí também encontraram, para a chuva média, valores de probabilidade variando de 21 a 42%.

Como se pode observar na Figura 3, entre os anos de 2000 e 2010 mais de 40% dos meses de janeiro analisados possuem valores de chuva superior a 43,9 mm (chuva média no referido

Tabela 9. Probabilidade mensal e anual para a chuva média, de acordo com a distribuição que melhor se ajustou ao índice pluviométrico para os referidos mês e ano

Mês	Função	Probabilidade
Janeiro	Exponencial	0,368
Fevereiro	Exponencial	0,368
Março	Exponencial	0,368
Abril	Gama	0,378
Maio	Normal	0,500
Junho	Normal	0,500
Julho	Gama	0,402
Agosto	Normal	0,500
Setembro	Exponencial	0,368
Outubro	Log-normal	0,195
Novembro	Gama	0,325
Dezembro	Exponencial	0,368
Ano	Gama	0,450

mês) corroborando com a probabilidade mínima de ocorrência, de acordo com a distribuição Exponencial observada; o mesmo ocorreu para o mês de abril, em que mais de 60% dos dados observados apresentaram chuva superior a 52,7 mm. Pela função de probabilidade Normal verificou-se, para junho, que mais de 25% dos dados se encontraram acima de 110,8 mm e, para a chuva anual, 70% das observações foram maiores a 747,9 mm quando, de acordo com a função de probabilidade Normal, este valor de chuva tem probabilidade mínima de 30%.

Conclusões

Não houve uma única distribuição de probabilidade que se ajustasse, todos os meses na região analisada; desta forma, as distribuições foram ajustadas mensalmente.

As distribuições que melhor se ajustaram à chuva mensal do município de Pesqueira foram a Exponencial e a Gama e as probabilidades da chuva média não ultrapassam 45%.

Visando dar subsídio à agricultura de sequeiro do feijão, muito praticado na região, pode-se indicar, como período mais propício para a semeadura, os meses de março a maio, este último o mais recomendado, já que o maior risco de perda de produção desta cultura ocorre quando as condições hídricas do solo é limitada na fase de florescimento-enchimento de grão, que ocorre entre o 30° e 45° dia do ciclo da cultura do feijão período em que, de acordo com os resultados alcançados, há maior chance da chuva mínima ser a necessária para a cultura; desta forma, pode-se garantir que na colheita ocorre entre 75 e 90 dias do plantio, a probabilidade da chuva ser mínima.

Agradecimentos

Ao CNPq e à FINEP, pelo apoio financeiro a este projeto. Os autores gostariam de registrar sua gratidão ao Dr. Moacir de Brito (*in memoriam*), pela gentil cessão das informações aqui utilizadas.

Literatura Citada

- Almeida, R. M. B. Características climatológicas do regime de chuva em Minas Gerais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 64p. Dissertação Mestrado.
- Andrade Júnior, A. S.; Bastos, E. A. Precipitação pluviométrica provável em municípios do cerrado piauiense. Teresina: Emprapa-CPAMN, 1997. 22p.
- Araújo, W. F.; Andrade Júnior, A. S.; Medeiros, R. D.; Sampaio R. A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.3, p.563-567, 2001. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000300032>>. 05 Nov. 2012.
- Assis, F. N.; Arruda, H. V.; Pereira, A. R. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 1996. 161p.
- Ávila, L. F.; Mello, C. R.; Viola, M. R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, suplemento, p. 906-915, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000700013>>. 05 Nov. 2012.
- Berlato, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: Bergamaschi, H. Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: Ed. Universitária UFRGS, 1992. cap.1, p.11-24.
- Bernardo, S. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2008. 596p.
- Catalunha, M. J.; Sedyama, G. C.; Leal, B. G.; Soares, C. P. B.; Ribeiro, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.10, n.1, p.153-162, 2002.
- Devore, J. L. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências. São Paulo: Thomson, 2006. 692p.
- Junqueira Junior, J. A.; Mello, C. R. de; Silva, A. M. da; Gomes, N. M. Precipitação provável para o município de Madre de Deus-MG: comparação de modelos de probabilidade. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 3, p. 842-850, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000300034>>. 05 Nov. 2012.
- Krepper, C. M.; Scian, B. V.; Pierini, J. O. Time and space variability of rainfall in central East Argentina. *Journal of Climate*, v.2, p.39-47, 1989. <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1989\)002<0039:TASVOR>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1989)002<0039:TASVOR>2.0.CO;2)>. 05 Nov. 2012.
- Lyra, G. B.; Garcia, B. I. L.; Piedade, S. M. S.; Sedyama, 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, n.2, p.205-215, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200004>>. 05 Nov. 2012.
- Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.1, p.30-37, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000100005>>. 05 Nov. 2012.
- 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. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, n.5, p.988-994, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000500011>>. 05 Nov. 2012.
- Ribeiro, A. M. A.; Lunardi, C. A precipitação mensal provável para Londrina, PR, através da função gama. *Energia na Agricultura*, v.12, n.4, p.37-44, 1997.
- Santos, T. E. M.; Montenegro, A. A. A.; Pedrosa, E. M. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.3, p.217-225, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000300001>>. 05 Nov. 2012.
- Silva, J. C.; Martins, F. B.; Trentin, G.; Grimm, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.1, p.67-72, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000100009>>. 05 Nov. 2012.
- Socol, 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. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000600001>>. 05 Nov. 2012.
- Statsoft Inc. Statistica: data analysis software system, version9. 2009. CD Rom.
- Thom, H. C. S. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review*, v.86, n.4, p.117-122, 1958. <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1958\)086<0117:ANOTGD>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1958)086<0117:ANOTGD>2.0.CO;2)>. 05 Nov. 2012.

- Vieira, J. P. G.; Souza, M. J. H. de; Teixeira, J. M.; Carvalho, F. P. de. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.7, p.762-767, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000700012>>. 05 Nov. 2012.
- Waldheim, P. V.; Carvalho, V. S. B.; Correa, E.; França, J. R. A. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v.29, n.2, p.30-43, 2006. <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2006_2/anuario_2006_v29_2_30_43.pdf>. 05 Nov. 2012.