

Análise estocástica dos déficits e dos excedentes hídricos mensais em Fortaleza, CE¹

Stochastic analysis of the monthly water surpluses and deficits in Fortaleza, CE

Thales Vinícius de Araújo Viana², Raimundo Rocha Crisóstomo Júnior³, Levi Gonçalves Moreira⁴, Benito Moreira de Azevedo⁵ e Sciena Sérvia de Araújo Viana⁶

Resumo - Visando-se a quantificação dos excedentes e dos déficits hídricos prováveis para Fortaleza, CE, procedeu-se a análise probabilística, através da distribuição Gama, da precipitação e da evapotranspiração de referência mensal no período compreendido entre os anos de 1971 e 2000. O ajuste dos dados foi verificado através do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância. Elaborou-se, para cada nível probabilístico analisado, um balanço hídrico mensal, utilizando-se a capacidade de água disponível como sendo de 125 mm. Os déficits hídricos mensais estimados, ao nível de 75% de probabilidade, foram: 92,2 mm em janeiro; 10,7 mm em fevereiro; 8,2 mm em junho; 47,1 mm em julho; 89,4 mm em agosto; 121,6 mm em setembro; 140,9 mm em outubro; 153,8 mm em novembro; 149,4 mm em dezembro. Somente observaram-se excedentes hídricos mensais, ao nível de 75% de probabilidade, nos meses de abril, 62,2 mm, e de maio, 3,7 mm.

Termos para indexação: balanço hídrico, distribuição Gama, manejo da irrigação.

Abstract - In order to quantify the probable water surpluses and deficits for the city of Fortaleza, CE, Brazil, it was carried out a probabilistic analysis, through the gamma distribution, of the monthly precipitations and evapotranspirations. For that purpose, it was used rainfall and evapotranspiration data for the period from 1971 to 2000. The correction of data was checked by the Kolmogorov-Smirnov goodness of fit test, at the 5% significance level. Next, it was made a water balance for each probabilistic level analyzed, for water available capacity of 125 mm. The estimated monthly water deficits, at the 75% probability level, were as follows: 92.2 mm in January; 10.7 mm in February; 8.2 mm in June; 47.1 mm in July; 89.4 mm in August; 121.6 mm in September; 140.9 mm in October; 153.8 mm in November; and 149.4 in December. It was observed monthly water surpluses, at the 75% probability level, only in the months of April (62.2 mm) and May (3.7 mm).

Index terms: water balance, gamma distribution, irrigation management.

¹ Recebido para publicação em 31/03/2004; aprovado em 01/04/2005.

² Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, Caixa Postal, 12168, Campus do Pici, CEP 60455-970, Fortaleza, CE, thales@ufc.br; benito@ufc.br

³ Eng. Agrônomo, Observador Meteorológico, CCA/UFC, CE.

⁴ Estudante de Agronomia, CCA/UFC, CE.

⁵ Estudante de Mestrado em Agronomia, Bolsista da FUNCAP, CCA/UFC.

Introdução

O município de Fortaleza, CE situa-se no litoral norte nordestino (03°45'S; 38°33'W; 19,6 m), sendo a sua classificação climática, segundo a metodologia de Köppen, Aw', ou seja: clima tropical chuvoso, com máximo de chuvas no outono. A precipitação média anual é de 1559,6 mm e a evapotranspiração de referência, segundo a metodologia de Thornthwaite, é de 1747,2 mm (período de 1971 a 2000, UFC). Embora apresente uma considerável precipitação média anual, as taxas mensais normais de evapotranspiração, em Fortaleza, são muito elevadas, sobrepondo-se, na maioria dos meses, às precipitações médias mensais, exceto entre fevereiro e junho. Além disso, a alta variabilidade da pluviosidade anual dificulta um planejamento adequado da reposição hídrica ao solo e das ações da defesa civil.

Normalmente, adotam-se os valores normais climatológicos como caracterizadores das condições climáticas de uma região. Entretanto, na maioria das vezes os valores normais estão inclusos na faixa probabilística de 30 a 40%, daí não serem recomendados para projetos de irrigação (Morais et al., 1999; Catalunha et al., 2002; Viana et al., 2002). Em consequência, faz-se necessária uma análise mais criteriosa dos valores a serem assumidos como constantes para uma determinada região, análise esta relacionada às distribuições de frequência dos valores estimados (Soares et al., 1999; Katz, 1999; Fietz et al., 2001).

Existem várias metodologias para a estimativa da precipitação provável, sendo que dentre elas a função de distribuição de probabilidade Gama é a mais usual para períodos menores ou iguais a um mês (Assis et al., 1996; Botelho e Morais, 1999). Essa distribuição tem-se mostrado adequada para descrever a distribuição das quantidades de chuva sob as mais variadas condições climáticas (Almeida, 1995; Ribeiro e Lunardi, 1997; Andrade Júnior e Bastos, 1997; Araújo et al., 2001).

O balanço hídrico, a partir de valores normais climatológicos, é uma metodologia universalmente adotada para auxiliar na classificação climática de uma região e no calendário de reposição hídrica (Sharma, 1976; Aase e Sidoway, 1980; Berlato, 1992; Antonino et al., 2000; Garcia e Sentelhas, 2003; Satti et al., 2004). Entretanto, uma análise probabilística das precipitações e das evapotranspirações mensais possibilita a elaboração de balanços hídricos freqüenciais, e não somente com valores normais (Fietz et al., 2001). Segundo Costa (1991), apesar do modelo de balanço hídrico possuir variáveis aleatórias em sua composição, a simulação pode ser feita de maneira determinística, substituindo-se o valor aleatório por valores fixos, com certa probabilidade de ocorrência. Em consequência, com os valores dos déficits hídricos, em diferentes níveis probabilísticos, pode-se

quantificar com diversos níveis de segurança as necessidades de reposição hídrica (Oliveira, 1990). Em oposição, os valores dos excedentes hídricos, em diferentes níveis probabilísticos, são úteis para áreas como a defesa civil, de recursos hídricos e a construção civil.

Este trabalho teve como objetivo estimar os déficits e os excedentes hídricos mensais para Fortaleza, CE, através da distribuição Gama, em diferentes níveis de probabilidade.

Material e Métodos

Utilizaram-se dados diários de precipitação e de evapotranspiração de referência do período compreendido entre os anos de 1971 e 2000, do município de Fortaleza (03° 45' S; 38° 33'W, 20 m), no Ceará, obtidos na estação meteorológica do Campus do Pici, da UFC. A evapotranspiração de referência (ET_r, em mm mês⁻¹) foi estimada a partir de uma equação empírica desenvolvida e validada para as condições locais, por Silva et al. (1978), com lisímetros de drenagem:

$$ET_r = 27,3 * t - 585$$

em que: t é a temperatura média mensal, em °C.

Em seguida, estimaram-se as precipitações e as evapotranspirações de referência mensais prováveis através da função de distribuição Gama para os seguintes níveis de probabilidade: 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80 e 90 %, conforme descrita por Assis et al. (1996). A partir da quantificação das precipitações e das evapotranspirações mensais, elaborou-se, para cada nível probabilístico analisado, um balanço hídrico mensal utilizando-se a capacidade de água disponível (CAD) como sendo de 125 mm. A evapotranspiração real bem como os demais constituintes do balanço hídrico foram calculados, nos diversos níveis probabilísticos, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955). Em consequência, dos balanços calculados obtiveram-se os totais mensais da deficiência e do excedente hídricos nos diferentes níveis probabilísticos.

Verificou-se, também, o ajuste dos dados pluviométricos e das evapotranspirações mensais, à distribuição cumulativa Gama através do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância.

Resultados e Discussão

Pode-se observar nas Figuras 1 e 2 a variação, ao longo do ano, dos totais mensais de precipitação e de evapotranspiração, respectivamente, nos níveis probabilísticos de 25% e 75% e os valores normais. Nota-se uma variabilidade muito maior da precipitação ao longo do ano e dos níveis probabilísticos, confirmando a grande variabilidade da qualidade da estação chuvosa neste município.

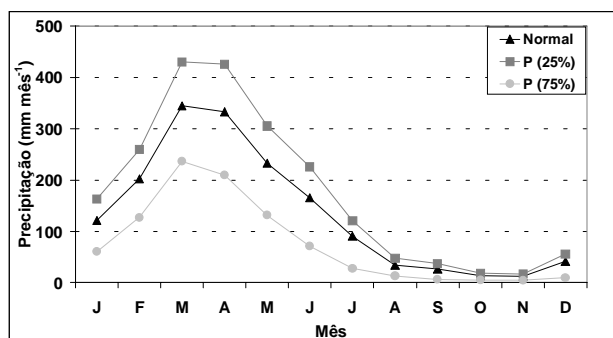


Figura 1 – Variação sazonal dos totais normais mensais de precipitação, em Fortaleza, CE, e dos níveis probabilísticos de 25 e 75%.

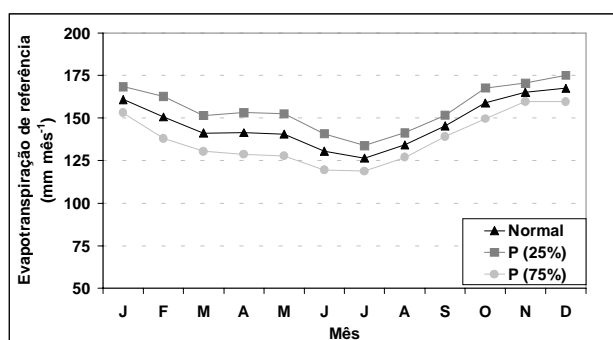


Figura 2 – Variação sazonal dos totais normais mensais da evapotranspiração de referência, em Fortaleza, CE, e dos níveis probabilísticos de 25 e 75%.

Analisando-se o total mensal da precipitação pluviométrica, percebe-se que, ao nível de 75% de certeza, só se pode contar com um total mensal em janeiro de 60,8 mm. Ou seja, três de cada quatro anos chove pelo menos este valor. Ao nível de 25% de probabilidade (um de cada quatro anos), pode-se afirmar que choverá pelo menos 162,8 mm, em Fortaleza. Quanto a evapotranspiração de referência, analisando-a para os valores observados em janeiro (Figura 2), apresenta uma variabilidade muito menor sendo de 153,1 mm, ao nível de 75% de probabilidade, e de 168,4 mm, ao nível de 25% de probabilidade. A evapotranspiração será de pelo menos 153,1 mm em três de cada quatro anos e de mais de 168,4 mm em um de cada quatro anos. A pequena variabilidade da evapotranspiração de referência é uma característica inerente a este elemento meteorológico, principalmente, na estação seca.

Os valores normais de precipitação e evapotranspiração de referência situaram-se em torno de 50%. Como para um planejamento agrícola é recomendável um nível de segurança de pelo menos 75% (Almeida, 1995; Fietz et al., 2001), a utilização dos dados normais não caracterizaria as necessidades de reposição hídrica, ao longo do ano, da região. Valores normais com níveis probabilísticos inferiores a 75% também foram encontrados por Ribeiro e Lunardi (1997), Moraes et al. (1999), Soares et al. (1999) e Garcia e Sentelhas (2003).

Os valores da evapotranspiração de referência mensal ajustaram-se à distribuição Gama segundo o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância, nos meses de fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro. Os valores de precipitação não se ajustaram, segundo o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância, nos meses de julho a fevereiro. Este resultado, assemelhou-se ao de Viana (2002), que também verificou o ajuste dos valores pluviométricos somente no período chuvoso em Pentecoste, CE. Entretanto, diferiu do observado por Ribeiro e Lunardi (1997), que relataram ter encontrado valores mensais da precipitação pluviométrica, ajustados ao longo de todo o ano, para Londrina, PR.

Na Figura 3 pode-se observar a variação, ao longo do ano, dos totais mensais de evapotranspiração real nos níveis probabilísticos de 25% e 75% e os valores normais. Em comparação com a Figura 2, percebe-se que durante o primeiro semestre os valores da evapotranspiração real (ETr), exceto no mês de janeiro, são iguais ou próximos aos valores da evapotranspiração de referência (ETo). Em oposição, durante o segundo semestre os valores da ETr são inferiores ao da ETo, caracterizando a ocorrência de déficit hídrico.

Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se os totais mensais da deficiência hídrica para os diferentes níveis probabilísticos no primeiro e no segundo semestres, respectivamente. Quando se analisa o nível de 75% de probabilidade, recomendado para projetos agrícolas (Costa, 1991; Araújo et al., 2001; Fietz et al., 2001), observa-se durante o primeiro semestre uma necessidade de reposição hídrica de 92,2 mm em janeiro, 10,7 mm em fevereiro e de 8,2 mm em junho. Não há necessidade de reposição hídrica, neste nível probabilístico, nos meses de março a maio. Este período caracteriza a estação chuvosa, sendo freqüente a ocorrência na região da zona de convergência intertropical (Vianello e Alves, 1991; Andrade Junior e Bastos, 1997), daí a não necessidade de reposição hídrica.

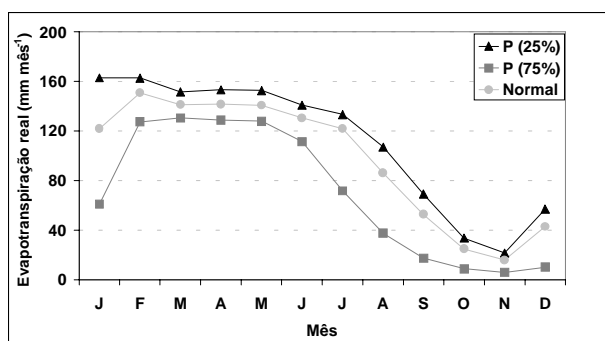


Figura 3 – Variação sazonal dos totais normais mensais da evapotranspiração real, em Fortaleza, CE, e dos níveis probabilísticos de 25 e 75%.

Em oposição à pequena deficiência hídrica no primeiro semestre, podem-se observar valores consideráveis no segundo (Tabela 2). Ao nível de 75% de probabilidade, há uma necessidade de reposição hídrica desde 47,1 mm no mês de julho até 153,8 mm em novembro, com totais de 702,2 mm no segundo semestre e de 813,2 mm ao longo do ano. Isto ocorre porque normalmente não se observam totais mensais de chuva significativos durante o segundo semestre em Fortaleza, principalmente, de agosto a novembro.

Pode-se, ainda, observar nas Tabelas 1 e 2, que, caso um agricultor deseje correr mais riscos adotando, como exemplo, o nível de probabilidade 50%, ele deverá se preparar para repor uma quantidade de 57,1 mm durante o primeiro semestre (janeiro) e de 619,0 mm no segundo, totalizando 676,1 mm ao longo do ano. Esta reposição representaria aproximadamente 83,1% da do nível de 75%, mas, poderia representar deficiências em mais um ano a cada quatro.

Em complemento, podem-se observar na Tabela 3

Tabela 1 - Déficits hídricos mensais (mm), nos níveis de 10 a 90% de probabilidade, para Fortaleza, CE, durante o primeiro semestre.

Probabilidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Total
90%	111,7	40,7	0,0	0,0	16,2	48,4	217,0
80%	98,6	19,9	0,0	0,0	0,3	14,3	133,1
75%	92,2	10,7	0,0	0,0	0,0	8,2	111,0
70%	85,7	1,6	0,0	0,0	0,0	5,4	92,7
60%	72,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	73,4
50%	57,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,1
40%	39,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,8
30%	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,6
25%	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6
20%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 2 - Déficits hídricos mensais (mm), nos níveis de 10 a 90% de probabilidade, para Fortaleza, CE, durante o segundo semestre.

Probabilidade	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
90%	83,6	106,4	127,7	138,4	152,4	149,6	758,2
80%	55,8	93,9	123,5	140,3	153,5	150,0	717,0
75%	47,1	89,4	121,6	140,9	153,8	149,4	702,2
70%	40,8	85,8	119,9	141,3	153,9	148,3	690,2
60%	27,1	76,4	114,8	141,4	153,7	145,1	658,5
50%	13,7	64,1	107,4	140,3	153,1	140,4	619,0
40%	8,0	55,2	100,4	139,2	152,1	133,8	588,7
30%	2,6	42,8	90,0	136,6	150,4	124,5	546,8
25%	0,7	34,4	82,6	134,2	149,0	118,2	519,1
20%	0,0	25,4	73,9	130,9	147,2	110,3	487,6
10%	0,0	18,3	57,2	124,2	142,2	84,8	426,7

Tabela 3 - Excedentes hídricos mensais (mm), nos níveis de 10 a 90% de probabilidade, para Fortaleza, CE, durante o primeiro semestre.

Probabilidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Total
90%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
80%	0,0	0,0	0,0	28,8	0,0	0,0	28,8
75%	0,0	0,0	0,0	62,2	3,7	0,0	65,9
70%	0,0	0,0	0,0	94,3	15,7	0,0	110,0
60%	0,0	0,0	43,6	130,3	40,2	0,0	214,1
50%	0,0	0,0	93,6	164,4	66,4	3,9	328,3
40%	0,0	0,0	148,4	202,0	95,9	30,7	477,0
30%	0,0	0,0	212,6	246,2	131,4	64,3	654,4
25%	0,0	0,0	250,7	272,5	152,8	85,1	761,1
20%	0,0	0,0	305,2	303,4	178,1	110,2	896,8
10%	0,0	98,3	381,6	392,8	252,8	186,4	1311,8

os totais mensais do excedente hídrico para os diferentes níveis probabilísticos no primeiro semestre. Quando se analisa o nível de 75% observa-se que durante o primeiro semestre somente há excedentes hídricos nos meses de abril e maio, sendo de 62,2 mm e 3,7 mm, respectivamente. No segundo semestre, somente há excedentes hídricos, no mês de julho, em probabilidades menores ou iguais a 25%.

Conclusões

Os déficits hídricos mensais estimados ao nível de 75% de probabilidade, para Fortaleza, CE, foram: 92,2 mm, em janeiro; 10,7 mm, em fevereiro; 8,2 mm, em junho; 47,1 mm, em julho; 89,4 mm, em agosto; 121,6 mm, em setembro; 140,9 mm, em outubro; 153,8 mm, em novembro e 149,4 mm, em dezembro.

Somente observaram-se excedentes hídricos mensais, ao nível de 75% de probabilidade, nos meses de abril, 62,2 mm, e maio, 3,7 mm.

Referências Bibliográficas

- AASE, J. K.; SIDDOWAY, F. H. Stubble height effects on seasonal microclimate, water balance, and plant development of no-till winter wheat. *Agricultural Meteorology*, v.21, n.1, p.1-20, 1980.
- ALMEIDA, R. M. B. **Características climatológicas do regime de chuva em Minas Gerais**. 1995. 64 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A. **Precipitação pluviométrica provável em municípios do cerrado piauiense**. Teresina: EMPRABA-CPAMN, 1997. 22p. (EMPRABA-CPAMN Documentos, 25).
- ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; DALL'OLIO, A.; SALCEDO, I. H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.29-34, 2000.
- 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.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: Brasileira de Universitária, 1996. 161p.
- 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:Universitária UFRGS, 1992. cap.1, p.11-24.
- BOTELHO, V. A.; MORAIS, A. R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do municípios de Lavras, estado de Minas Gerais. *Ciência Agrotécnica*, v.23, n.3, p.697-706, 1999.
- CATALUNHA, M. J.; SEDIYAMA, 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.
- COSTA, M. H. **Modelo de otimização dos recursos hídricos para irrigação, conforme a época de plantio**. 1991. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A.; FRIZZONE, J. A. Probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na região de Dourados, MS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.3, p.558-562, 2001.
- GARCIA, B. I. L.; SENTELHAS, P. C. Diferencias entre las deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir del balance hídrico climático normal y secuencial de las localidades de Bramon, Venezuela, y Piracicaba, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.11, n.1, p.195-198, 2003.
- KATZ, R.W. Extreme value theory for precipitation sensitivity analysis for climate change. *Advances in Water Resources*, v.23, p.133-139. 1999.
- MORAIS, A. R.; BOTELHO, V. A. V. A.; CARVALHO, L. G.; MUNIZ, J. A.; LAGE, G. Estimativa da precipitação provável em Lavras, MG, através da distribuição Gama. *Engenharia Agrícola*, v.18, n.4, p.14-28, 1999.
- OLIVEIRA, D. **Evapotranspiração máxima e necessidade de água para irrigação de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) determinadas por balanço hídrico para seis locais do Paraná**. 1990. 155 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queirós, Piracicaba, 1990.
- RIBEIRO, A. M. A.; LUNARDI, D. M. C. A precipitação mensal provável para Londrina-PR, através da função Gama. *Energia na agricultura*, v.12, n.4, p.37-44, 1997.
- SATTI, S. R.; JACOBS, J. M.; IRMAK, S. Agricultural water management in a humid region: sensitivity to climate, soil and crop parameters. *Agricultural Water Management*, v.70, n.1, p.51-65, 2004.
- SHARMA, M. L. Contribution of dew in the hydrologic balance of a semi-arid grassland. *Agricultural Meteorology*, v.17, n.5, p.321-331, 1976.
- SILVA, Z. R.; PEQUENO, H. C.; CAMPOS, J. L. D. Um método empírico para estimativa da evapotranspiração de referência. *Ciência Agrônômica*, v.8, p.91-95, 1978.
- SOARES, A. A.; FARIA, R. A.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. A. S. Evapotranspiração de referência e precipitação provável no estado de Minas Gerais visando a elaboração de projetos de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.18, n.4, p.14-28, 1999.
- VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M.; BONFIM, G. V.; ANDRADE JUNIOR, A. S. Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos em Pentecoste, CE. *Irriga*, v.7, n.3, p.226-229, 2002.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa:Imprensa Universitária, 1991. 449p.