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

ADERÊNCIA DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADES AOS DADOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERENCIA DECENDIAL

DENSKI, Ana Paula Nola – anadenski@gmail.com
Engenheira Ambiental – Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc)

BACK, Álvaro José – ajb@unesc.net
Professor – Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc) / Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)

RESUMO: A evapotranspiração de referência (ET_0), definida para uma superfície de referência, é um fenômeno mundialmente estudado por ser um importante parâmetro utilizado em estudos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos Os fatores meteorológico-climáticos que afetam a ET_0 são: o saldo de radiação, a temperatura do ar, a umidade do ar e a velocidade do vento. O trabalho foi desenvolvido a partir dos dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima, insolação, umidade relativa e velocidade do vento do período de 01 de outubro de 1980 a 31 de dezembro de 2013. O objetivo do estudo foi analisar a aderência de diferentes distribuições de probabilidade aos dados de evapotranspiração de referência (ET_0) decendial para Urussanga, SC. Para a estimativa dos valores de ET_0 decendial com probabilidades de ocorrência de 5 a 95% foram testadas seis funções densidade de probabilidade: Beta, Normal, Log-Normal MV, Log-Normal MM, Gama MV e Gama MM. Para os valores de ET_0 decendial observou-se que as seis distribuições de frequência analisadas ajustaram-se adequadamente as frequências observadas de evapotranspiração de referência, possuindo valor de Dmáx inferiores ao Dcrit. No entanto, a distribuição Beta teve melhor aderência que as demais distribuições.
Palavras-chave: Distribuição Beta, probabilidade, evapotranspiração de referência decendial.

GRIB'S DISTRIBUITION PROBABILITIES OF EVAPOTRANSPIRATION DATA TO DECENDIAL REFERENCE

ABSTRACT: The reference evapotranspiration (ET_0), set to a reference surface, is a phenomenon studied worldwide as an important parameter used in meteorological, climatological and hydrological studies. The weather-climatic factors affecting ET_0 are: the net radiation, the air temperature, air humidity and wind speed. The work was developed from the data daily maximum and minimum temperature, solar radiation, relative humidity and wind speed for the period of October 1, 1980 to December 31, 2013. The aim of the study was to analyze the adherence of different probability distributions to the data of reference evapotranspiration (ET_0) for ten days to Urussanga, SC. For the estimation of ET_0 decendial with probabilities of occurrence 5 to 95% six probability density functions were tested: Beta, Normal, Log-Normal MV, Log-Normal MM, Gamma MV and Gamma MM. For values of ET_0 decendial was observed that the six frequency distributions analyzed properly adjusted to-observed frequencies of reference evapotranspiration, possessing value of Dmax less than the Dcrit. However, Beta distribution had better adhesion than other distributions.

Keywords: Beta distribution, reference evapotranspiration**.**

1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é o termo utilizado para descrever o retorno da água contida nas superfícies líquidas, solo, e na superfície e interior das plantas para atmosfera, em forma de vapor d'água. O termo é uma junção dos processos de evaporação e transpiração que ocorrem simultaneamente em uma superfície vegetada. A evapotranspiração é o processo oposto à precipitação.

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

A evapotranspiração de referência (ET_0), definida para uma superfície de referência, é um fenômeno mundialmente estudado por ser um importante parâmetro utilizado em estudos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos. Na hidrologia o conhecimento da evaporação e evapotranspiração são necessários para determinar perdas de água em reservatórios, no abastecimento de água, balanço hídrico em uma bacia hidrográfica. Na agronomia, o conhecimento da evapotranspiração é utilizado para calcular o armazenamento de água no solo, nos projetos de irrigação e drenagem, no dimensionamento e manejo destes sistemas (CARVALHO et al., 2011; LIMA, 2005; PEREIRA et al.,1997).

Os fatores meteorológico-climáticos que afetam a ET_0 são: o saldo de radiação, a temperatura do ar, a umidade do ar e a velocidade do vento. Conforme Carvalho et.al. (2011) existem diversos métodos tanto para a medição direta quanto indireta da ET_0. Dentre os métodos indiretos, Penman-Monteith-FAO (PM-FAO) é considerado, internacionalmente, o mais apropriado para a estimativa da ET_0, sendo adotado como padrão pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) há duas décadas (ALLEN et al.,1998).

Segundo Assis et al. (2004) o estudo das distribuições de variáveis é uma importante ferramenta para compreensão dos fenômenos meteorológicos, através da qual pode-se determinar seus padrões de ocorrência e permitir uma previsibilidade razoável do comportamento climático de uma região. O planejamento e gestão de inúmeras atividades agropecuárias e humanas podem ser realizados através do uso desta ferramenta que permite racionalizar os procedimentos e evitar ou minimizar os possíveis prejuízos causados pela ação das intempéries.

Conforme Saad e Scaloppi (1988) a grande variabilidade de valores assumidos pelos parâmetros meteorológicos durante o período de máxima exigência hídrica das culturas irrigadas, acarreta considerável dispersão dos valores calculados da evapotranspiração, sugerindo uma análise da distribuição de frequência dos valores estimados, para fins de dimensionamento de projetos.

Alguns modelos para dimensionamento de sistemas de irrigação consideram o nível de probabilidade de ocorrência da evapotranspiração. Jensen (1974) apresentou um modelo de dimensionamento de sistemas que considera a probabilidade de ocorrência da evapotranspiração e precipitação pluviométrica.

O valor esperado da evapotranspiração que servirá de base para o dimensionamento do sistema de irrigação, depende da duração do período de máxima exigência hídrica da cultura e do nível de probabilidade desejado para as condições específicas do projeto (PRUITT et al., 1972). Segundo Jensen (1974) o período de máxima exigência hídrica de culturas anuais pode variar entre duas e três semanas. Para as mesmas culturas, Saad e Scaloppi (1988) sugerem, como razoável, admitir-se um período entre 10 e 30 dias.

O critério de escolha do nível de probabilidade deve basear-se em uma análise econômica, considerando-se os prejuízos associados à redução da quantidade e da qualidade da produção, decorrentes da deficiência hídrica, e o aumento de custos do sistema para satisfazer níveis mais elevados de probabilidade (SILVA et al., 1998).

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

Doorenbos e Pruitt (1977) consideram que, na maioria das regiões irrigadas, os níveis de probabilidade estejam entre 75 e 80%. Níveis mais elevados de probabilidade (80 a 90%) são selecionados para culturas de grande valor econômico e condições reduzidas de água disponível no solo (PRUITT et al.1972; JENSEN, 1974).

De acordo com Saad e Scaloppi (1988) nas condições de irrigação suplementar dificilmente se justifica, economicamente, adotar níveis superiores a 90%, sendo normalmente utilizados níveis que variam entre 50 a 75%.

Back (2007) diz que nas condições de irrigação suplementar típicas da região Sul do Brasil, dificilmente se recomendam valores superiores a 80% de probabilidade, só em casos em que a cultura irrigada é de grande valor e possui o sistema radicular pouco profundo.

Para Catalunha et al. (2002), o uso de funções densidade de probabilidade está diretamente ligado à natureza dos dados a que elas se relacionam. As distribuições de probabilidade contínuas são bastante utilizadas em diversos trabalhos probabilísticos (ASSIS et al., 2004; CATALUNHA et al., 2002; JUNQUEIRA JÚNIOR et al., 2007; LYRA et al., 2006), devido o ajustamento de suas variáveis, que não é perfeito, mas descreve bem uma situação real, fornecendo respostas às hipóteses que podem ter sido levantadas na pesquisa.

Uma função densidade de probabilidade descreve a chance que uma variável pode assumir ao longo de um espaço de valores. Segundo Ferreira (2005), as variáveis aleatórias das distribuições contínuas são aquelas que assumem seus valores em uma escala real, modeladas por uma função de densidade.

Para o estudo da evapotranspiração, as distribuições de probabilidade mais indicadas pela literatura são a Beta, Normal, Log Normal, Gama (SAAD e SCALOPPI ,1988; SAAD, 1990; PEREIRA e FRIZZONE,1994; ASSIS et al, 1996; FIETZ e URCHEI, 2002; CURY.SAAD et al., 2002; BACK ,2007; PEIXOTO et al., 2011; VELLAME et al., 2012)

A distribuição Beta é uma distribuição definida no intervalo (0,1). Possui dois parâmetros α e β determinam a forma da distribuição: se α e $\beta > 1$ a distribuição é unimodal, com α e $\beta < 1$ a distribuição assume a forma de U, quando $\alpha < 1$ e $\beta < 1$ a sua forma é de J invertido, com $\alpha \geq 1$ e $\beta < 1$ a forma de distribuição é a do J e quando $\alpha = \beta$, a distribuição é simétrica(ASSIS et al.,1996).

A estimativa dos parâmetros a partir dos dados observados pode ser feita numericamente, sendo indicado o método dos momentos e o método da máxima verossimilhança. A estimativa dos parâmetros pelo método da máxima verossimilhança é aceita como sendo mais eficiente, embora numericamente difícil comparado ao método dos momentos. Para amostras pequenas, este método geralmente conduz a estimativa mais pobre sendo este método menos variável que a do método dos momentos (KITE, 1978; SEVRUK e GEIGER, 1981; CLARKE, 1994)

Conforme Saad (1990) as estimativas dos parâmetros da distribuição Beta são dificilmente obtidas utilizando o método da Máxima Verossimilhança, utilizando-se o Método dos Momentos.

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

A distribuição Normal, também chamada curva normal ou curva de Gauss é a distribuição de probabilidade contínua mais importante e mais utilizada. Sua importância se deve ao fato que muitas técnicas estatísticas, como análise de variância, regressão e alguns testes de hipótese assumem e exigem a normalidade dos dados. A distribuição normal é uma distribuição de dois parâmetros μ (média) e σ (desvio padrão) (ASSIS et al. 1996).

Uma variável segue distribuição Log-Normal, se seus logaritmos seguirem distribuição normal (ASSIS et al. 1996). A distribuição Gama de probabilidade é a distribuição mais utilizada para o ajuste de totais de chuva de períodos mensais ou menores. Os parâmetros da equação são γ e β. A distribuição gama tem assimetria positiva com o parâmetro β diminuindo e o parâmetro γ aumentando. Variando-se β, com γ constante, muda-se a escala da distribuição, enquanto variando-se γ, com β constante, muda-se sua forma (ASSIS et al. 1996).

Segundo Sevruk e Geiger (1981) a definição da melhor distribuição de probabilidade pode ser feita com base empírica, usando técnicas visuais subjetivas ou testes estatísticos mais objetivos. O resultado dos testes depende em parte dos parâmetros do modelo e da posição de plotagem usada, sendo que há controvérsias na utilização destes dados. Além disso, o teste pode mostrar que mais de uma distribuição é adequada.

De acordo com Araújo et al.(2010) a utilização de funções de distribuição de probabilidade requer o uso de testes para provar a adaptação dos dados ou da série de dados às funções. Esses testes são conhecidos como testes de aderência e sua função é verificar a forma de uma distribuição, através da análise da adequação dos dados à curva de um modelo de distribuição hipotética.

De acordo com Assis et al. (1996), os testes de aderência Qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro-Wilk, Cramer-von Mises, servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição em teste, verificando se os valores da amostra podem ser provenientes de uma população com aquela distribuição teórica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir dos dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima, insolação, umidade relativa e velocidade do vento do período de 01 de outubro de 1980 a 31 de dezembro de 2013. Os dados utilizados foram obtidos da estação meteorológica 289 do Instituto Nacional de Meteorologia. A estação está localizada sob as coordenadas 28°31'00''S e 49°19'00''W, com altitude de 48,17 metros no município de Urussanga, SC. Na Figura 1 pode-se visualizar a localização da estação no município de Urussanga.

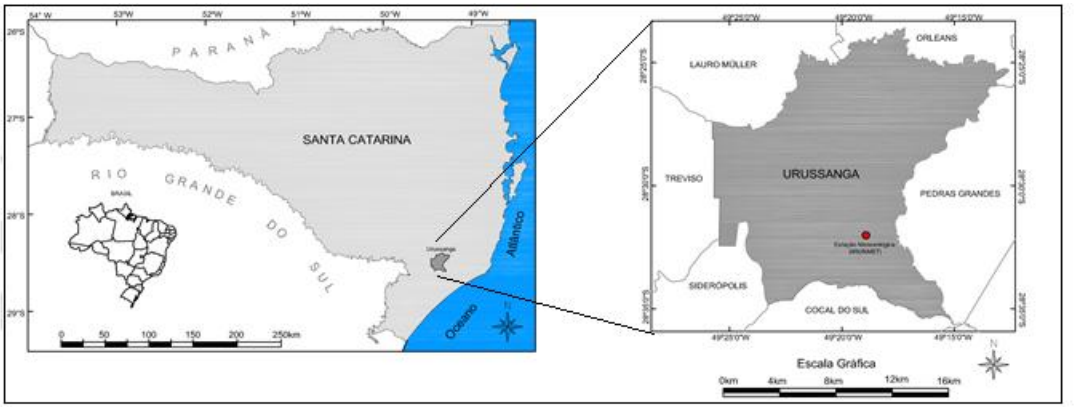


Figura 1 – Localização do município de Urussanga, SC.

O município de Urussanga localiza-se na mesorregião sul do estado de Santa Catarina. Possui área de 241,3 km² e altitude de 49 metros.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köeppen, é do tipo Cfa, ou seja, subtropical, temperado chuvoso e quente, úmido sem estação seca definida e com inverno ameno. A média de temperatura do mês mais frio, que é junho, é 14,6ºC. O mês que apresenta a média de temperatura mais alta é fevereiro, com 24,1°C (NIMER, 1989; VIANELLO, ALVES;2000). O índice pluviométrico varia de 1220 a 1660 mm, com total anual de dias de chuva entre 102 e 150. A umidade relativa do ar pode apresentar variação de 81,4 a 82,2% (BRAGA e GHELLERE, 1999).

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi calculada pelo método de Penman-Monteith FAO, seguindo as recomendações de Smith (1991), Allen et al. (1998) possuindo a seguinte notação:

$$ET_0 = \frac{\delta}{\delta+\gamma^*}(Rn-G)\frac{1}{\lambda_e}+\frac{\gamma}{\delta+\gamma^*}\frac{900}{T+273}U_2(e_s-e_a) \quad (1)$$

Em que: ET_0 = evapotranspiração de referência ($mm.d^{-1}$);

R_n = saldo de radiação a superfície ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$);

G = fluxo de calor sensível no solo ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$);

T = temperatura média do ar (°C);

U_2 = velocidade do vento à 2 m de altura ($m.s^{-1}$);

(e_s – e_a) = déficit de pressão de vapor (kPa);

δ = declividade da curva de pressão de saturação ($kPa.^oC^{-1}$);

λ_e = calor latente de evaporação ($MJ.kg^{-1}$);

γ^* = constante psicrométrica modificada ($kPa.^oC^{-1}$);

γ = constante psicrométrica ($kPa.\ ^oC^{-1}$).

Para a estimativa dos valores de ET_0 decendial com probabilidades de ocorrência de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 e 95% foram testadas seis funções densidade de probabilidade: Beta, Normal, Log Normal MM (parâmetros estimados pelo método dos momentos),

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

Log Normal MV (parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança), Gama MM (parâmetros estimados pelo método dos momentos) e Gama MV(parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança).

A função de densidade de probabilidade da distribuição Beta f(x) fornece a probabilidade de que a variável x' não exceda um valor x, sendo representada pela equação (FALLS, 1973):

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \int_0^{x'} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dx' \quad (2)$$

Sendo $0 \leq x \leq 1$.

A média e a variância da distribuição são obtidas por:

$$E[X] = \mu = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \quad (3)$$

$$Var[X] = \frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1)} \quad (4)$$

A estimativa dos parâmetros da distribuição foi realizada utilizando o Método dos Momentos:

$$\alpha = \frac{m_1\beta}{(1-m_1)} = \frac{\mu\beta}{(1-\mu)} \quad (5)$$

$$\beta = (1-m_1)\left[\frac{m_1-{m_1}^2}{m_2} - 1\right] = (1-\mu)\left[\frac{\mu-\mu^2}{m_2} - 1\right] \quad (6)$$

Onde m_1 é o momento de ordem 1 para a variável x'; μ^2 é o momento de ordem 2 para a variável x' ; xi' representa a variável transformada: j é o número total de dados que compõem a série analisada de valores.

A função de densidade de probabilidade da distribuição Normal é dada pela seguinte equação:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \qquad -\infty < X < +\infty \quad (7)$$

Sendo μ e σ os parâmetros da distribuição. A estimativa dos parâmetros da pode ser feita tanto pelo método dos momentos como pelo de máxima verossimilhança. Pelo método dos momentos tem-se:

$\mu_1 = \mu$, o primeiro momento da DN é a média da população normal.

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

$\mu_2 = \sigma^2$, é o segundo momento da DN é a variância da população.

A função densidade de probabilidade da distribuição Log-Normal é dada pela equação:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}}\, e^{\frac{[1nx-\mu\gamma]^2}{2\sigma^2\gamma}} \qquad 0 \leq x \leq \infty \qquad (8)$$

Sendo μ_y e σ_y a média e os desvio-padrão dois logaritmos de x.

A estimativa dos parâmetros da distribuição Log-Normal pelo Método da Máxima Verossimilhança é realizada por:

$$\mu_y = \frac{\sum ln(X_i)}{N} \qquad (9)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum[ln(X_i)-\mu_y]^2}{N-1}} \qquad (10)$$

A estimativa dos parâmetros da distribuição Log-Normal pelo Método dos Momentos é realizada por

$$\mu_y = \ln\mu - ln\left(\sqrt{1+\frac{\sigma^2}{\mu^2}}\right) \qquad (11)$$

$$\sigma_y = \sqrt{ln\left(1+\frac{\sigma^2}{\mu^2}\right)} \qquad (12)$$

Onde: μ = média dos valores de X e σ = desvio padrão dos valores de X.

A distribuição Gama tem como função densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)\beta^\gamma} x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \qquad (13)$$

Onde: β e $\gamma > 0$ e $\Gamma(\gamma)$ é a função gama

Essa função tem assimetria positiva. Variando-se o valor do parâmetro β, com γ constante, varia-se a escala da distribuição, em caso contrário, muda-se a

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

forma, por esta razão é muito comum referir-se a β e γ como parâmetros de escala e de forma, respectivamente.

A estimativa dos parâmetros distribuição Gama pelo Método dos Momentos:

$$\beta = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (14)$$

$$\gamma = \frac{\bar{x}^2}{s^2} \quad (15)$$

A estimativa dos parâmetros distribuição Gama pelo Método da Máxima Verossimilhança:

$$\gamma = \frac{1+\sqrt{1+4\frac{A}{3}}}{4A} \quad (16)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}_t}{\gamma} \quad (17)$$

$$A = ln(\bar{x}) - \frac{1}{N}\sum_i^N lnX_i \quad (18)$$

Neste trabalho utilizou-se o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para verificar qual das distribuições possui maior aderência às estimativas de ET_0.

O teste Kolmogorov-Smirnov é usado para determinar se duas distribuições de probabilidade subjacentes diferem uma da outra ou se uma das distribuições de probabilidade subjacentes difere da distribuição em hipótese, em qualquer dos casos com base em amostras finitas.

A estatística do teste K-S é calculada pela maior diferença absoluta dada entre as frequências teórica e empírica, isto é:

$$D_{máx} = |F(x)empirica - F(x)teórica| \quad (19)$$

O valor Dmáx é comparado com o valor crítico Dcrit para o nível de significância de 5%. Sempre que o valor Dmáx é inferior ao valor Dcrit se aceita a hipótese de que a frequência dos valores observados segue a distribuição teórica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na apresenta os valores médios de ET0 decendial. A maior média ocorreu no decêndio 35, 4,05 mm.d-1 (mês de dezembro) e a menor média no decêndio 17, 1,22 mm.d-1(mês de junho). O maior valor de ET0 ocorreu no decêndio 31, 5,19 mm.d-1 e o menor no decêndio 17, 0,93 mm.d-1.

Os dados de ET0 diária e agrupada em intervalos decendiais foram testados visando verificar o ajuste destes a seis funções de distribuição de probabilidade Beta, Normal, Log Normal MM, Log Normal MV, Gama MM e Gama MV.

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

Tabela 1 apresenta os valores médios de ET_0 decendial. A maior média ocorreu no decêndio 35, 4,05 mm.d-1 (mês de dezembro) e a menor média no decêndio 17, 1,22 mm.d-1(mês de junho). O maior valor de ET_0 ocorreu no decêndio 31, 5,19 mm.d-1 e o menor no decêndio 17, 0,93 mm.d-1.

Os dados de ET_0 diária e agrupada em intervalos decendiais foram testados visando verificar o ajuste destes a seis funções de distribuição de probabilidade Beta, Normal, Log Normal MM, Log Normal MV, Gama MM e Gama MV.

Tabela 1 – Estatísticas da evapotranspiração de referência por decêndio para a região de Urussanga, SC no período de outubro de 1980 a dezembro de 2013.

Mês	Dec.	N° de dados	Média ($mm.d^{-1}$)	Desvio padrão ($mm.d^{-1}$)	CV (%)	Assim.	Maior	Menor
	1	32	3,98	0,51	12,89	0,24	5,12	3,29
Jan.	2	32	3,91	0,49	12,65	0,16	5,04	3,06
	3	32	3,92	0,50	12,65	0,30	5,20	2,94
	4	32	3,87	0,53	13,58	0,82	5,32	2,90
Fev.	5	32	3,69	0,52	14,08	0,69	4,85	2,80
	6	32	3,59	0,52	14,35	0,85	4,78	2,75
	7	32	3,50	0,47	13,37	-0,09	4,44	2,40
Mar.	8	32	3,19	0,48	15,12	-0,68	3,89	1,88
	9	32	3,98	0,51	12,89	0,24	5,12	3,29
	10	32	2,89	0,35	12,07	0,34	3,61	2,31
Abr.	11	32	2,42	0,29	11,90	0,38	3,23	1,89
	12	32	2,05	0,28	13,63	0,02	2,54	1,58
	13	32	1,83	0,25	13,86	-0,04	2,33	1,34
Maio	14	32	1,60	0,24	14,78	-0,39	2,00	1,14
	15	32	1,44	0,21	14,54	1,24	2,10	1,17
	16	32	1,32	0,17	12,55	0,40	1,74	1,02
Jun.	17	32	1,22	0,16	13,43	0,41	1,56	0,93
	18	32	1,23	0,14	11,48	-0,20	1,52	0,94
	19	32	1,26	0,16	12,60	0,71	1,66	0,98
Jul.	20	32	1,37	0,19	13,48	0,16	1,79	1,00
	21	32	1,45	0,17	11,99	0,14	1,82	1,04
	22	32	1,64	0,25	15,09	-0,08	2,09	1,14
Ago.	23	32	1,95	0,33	17,00	0,39	2,76	1,41
	24	32	2,07	0,29	14,04	0,12	2,80	1,53
	25	32	2,39	0,34	14,05	0,80	3,26	1,84
Set.	26	32	2,37	0,37	15,42	0,15	3,25	1,70
	27	32	2,50	0,37	14,89	0,45	3,23	1,92
Out.	28	33	2,85	0,31	10,84	-0,36	3,35	2,28

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

Mês	Dec.	N° de dados	Média ($mm.d^{-1}$)	Desvio padrão ($mm.d^{-1}$)	CV (%)	Assim.	Maior	Menor
	29	33	3,09	0,50	16,11	0,40	4,33	2,26
	30	33	3,48	0,47	13,42	-0,48	4,24	2,45
	31	32	3,58	0,64	17,92	0,37	5,19	2,53
Nov.	32	33	3,82	0,63	16,47	-0,57	4,70	2,57
	33	33	3,94	0,51	12,87	0,29	5,11	2,97
	34	33	4,01	0,48	11,84	0,04	4,91	2,94
Dez.	35	33	4,05	0,45	11,09	0,50	5,16	3,32
	36	33	3,99	0,49	12,30	0,47	5,14	3,13

Tabela 2 apresenta o resultado do teste de aderência K-S das distribuições aos dados diários de ET_0 agrupados por decêndio.

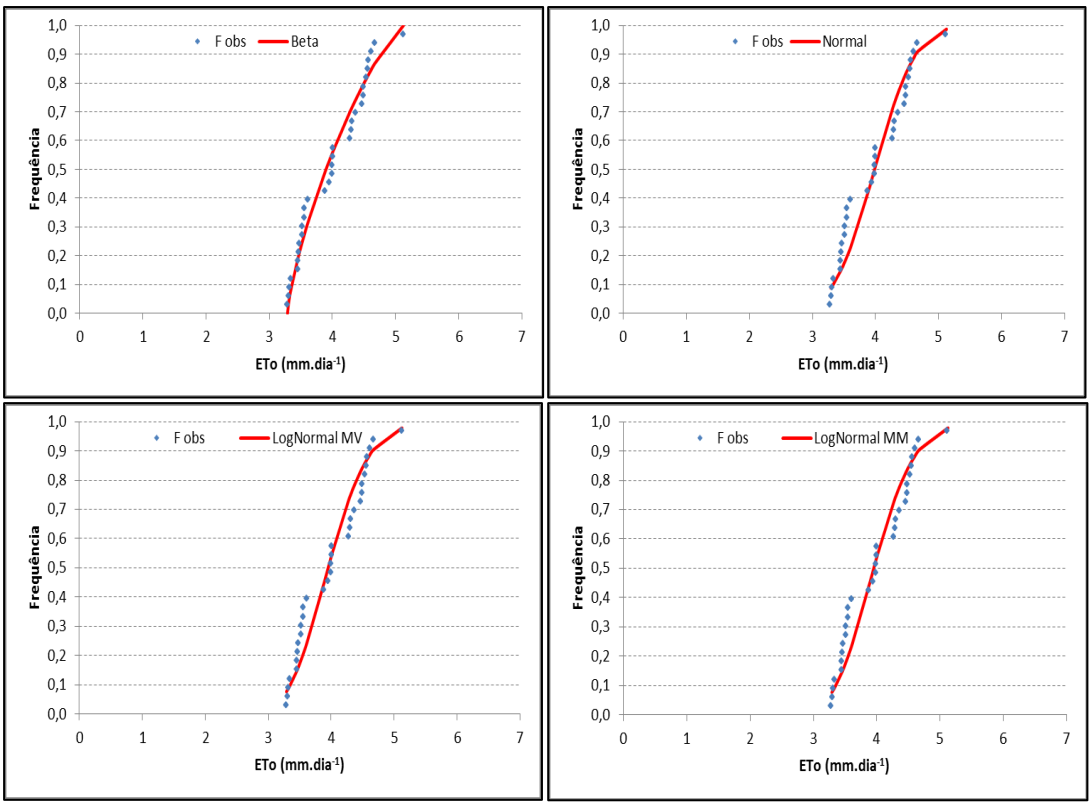
Tabela 2 – Teste de aderência K-S para valores de ET_0 decendial de Urussanga.

Mês	Dec.	Dcrit	Valor Dmáx no teste de K-S					
			Beta	Normal	Log Normal		Gama	
			MM	MM	MV	MM	MM	MV
	1	0,234	0,093	0,159	0,155	0,154	0,155	0,160
Jan.	2	0,234	0,078	0,068	0,072	0,075	0,072	0,075
	3	0,234	0,068	0,072	0,065	0,065	0,066	0,071
	4	0,234	0,086	0,079	0,054	0,058	0,064	0,060
Fev.	5	0,234	0,149	0,163	0,136	0,136	0,145	0,144
	6	0,234	0,106	0,096	0,0754	0,071	0,080	0,082
	7	0,234	0,092	0,063	0,086	0,081	0,075	0,075
Mar.	8	0,234	0,068	0,086	0,083	0,101	0,095	0,089
	9	0,234	0,093	0,159	0,155	0,154	0,155	0,160
	10	0,234	0,063	0,090	0,086	0,084	0,083	0,089
Abr.	11	0,234	0,098	0,066	0,089	0,089	0,082	0,082
	12	0,234	0,105	0,141	0,140	0,144	0,142	0,144
	13	0,234	0,089	0,065	0,064	0,060	0,056	0,055
Maio	14	0,234	0,092	0,081	0,093	0,101	0,094	0,092
	15	0,234	0,087	0,113	0,085	0,092	0,099	0,091
	16	0,234	0,096	0,082	0,067	0,067	0,069	0,073
Jun.	17	0,234	0,076	0,122	0,108	0,106	0,110	0,115
	18	0,234	0,079	0,087	0,104	0,107	0,100	0,100
	19	0,234	0,121	0,115	0,109	0,103	0,104	0,113
Jul.	20	0,234	0,071	0,061	0,061	0,062	0,053	0,054
	21	0,234	0,093	0,073	0,063	0,061	0,057	0,058
Ago.	22	0,234	0,091	0,103	0,128	0,131	0,121	0,121

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

	23	0,234	0,081	0,082	0,086	0,086	0,083	0,089
	24	0,234	0,090	0,067	0,087	0,090	0,082	0,083
	25	0,234	0,096	0,078	0,074	0,067	0,069	0,078
Set.	26	0,234	0,106	0,066	0,093	0,091	0,083	0,082
	27	0,234	0,074	0,099	0,103	0,100	0,098	0,105
	28	0,230	0,095	0,132	0,148	0,152	0,145	0,145
Out.	29	0,230	0,093	0,087	0,081	0,082	0,072	0,071
	30	0,230	0,083	0,075	0,104	0,097	0,090	0,093
	31	0,230	0,084	0,086	0,088	0,090	0,084	0,088
Nov.	32	0,230	0,075	0,124	0,131	0,144	0,136	0,132
	33	0,230	0,081	0,109	0,107	0,108	0,107	0,112
	34	0,230	0,077	0,068	0,072	0,075	0,069	0,071
Dez.	35	0,230	0,093	0,090	0,070	0,070	0,077	0,074
	36	0,230	0,078	0,072	0,050	0,049	0,056	0,058

Na análise de ajuste das distribuições para os dados diários de ET_0 agrupados por decêndios a distribuição Beta apresentou melhor aderência à frequência observada, seguida pela distribuição Normal conforme apresentado na Figura 2.



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

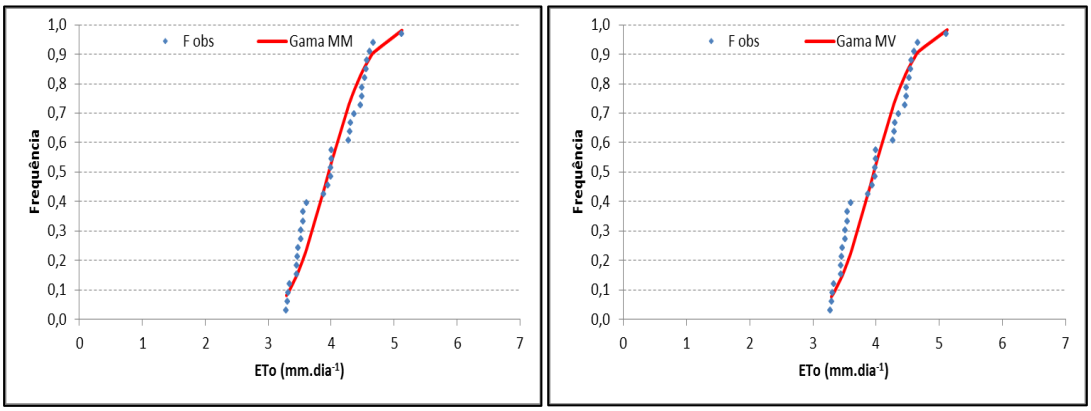


Figura 2 – Aderência dos valores de ET_0 diária agrupada por decêndio as distribuições Beta, Normal, Log-Normal MV, Log-Normal MM, Gama MM e Gama MV.

O resultado do teste de aderência K-S (Tabela 2) comprova que as seis distribuições de frequência analisadas ajustaram-se adequadamente as frequências observadas de evapotranspiração de referência decendial, possuindo valor de Dmáx inferiores ao Dcrit. No entanto, em todos os intervalos agrupados a distribuição Beta (Tabela 2 e Figura 2) teve melhor aderência que as demais distribuições. A distribuição que teve o melhor desempenho, após a distribuição Beta, foi à distribuição Normal.

4. CONCLUSÕES

Com base nos dados de evapotranspiração de referencia (ET_0) estimados para Urussanga no período de outubro de 1980 a dezembro de 2013, pode-se concluir que:

A ET_0 média decendial variou entre 4,05 $mm.d^{-1}$ e 1,22 $mm.d^{-1}$;

Com base nos testes de aderência da ET_0 estimados para Urussanga as funções de distribuição de probabilidade – Beta, Normal, Log Normal MM, Log Normal MV, Gama MM e Gama MV – pode-se concluir que:

Para os valores de ET_0 decendial observou-se que as seis distribuições de frequência analisadas ajustaram-se adequadamente as frequências observadas de evapotranspiração de referência, possuindo valor de Dmáx inferiores ao Dcrit. No entanto, em todos os intervalos agrupados, a distribuição Beta teve os menores valores de Dmáx indicando melhor aderência que as demais distribuições.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.* Rome: FAO, 1998

ARAÚJO, E. M. SILVA, I, N; OLIVEIRA, J.B.; CAVALCANTE JR, E.G. ALMEIDA, B.M. Aplicação de seis distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatu – CE. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 1, p. 36-45, jan-mar, 2010.

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

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R**.** *Aplicações de estatística à climatologia.* 1. ed. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1996. 161 p.

ASSIS, J. P.; SOUSA, R.P; SILVA, R.M; LINHARES, P.C.F. Ajuste de séries históricas de temperatura e radiação solar global diária às funções densidade de probabilidade normal e log-normal, em Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 12, n. 01, p. 113-121, 2004.

BACK, A. J. Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, p.139-145. 2007.

BRAGA, H. J.; GHELLERE, R. *Proposta de diferenciação climática para o Estado de Santa Catarina.* In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia. 1999. Florianópolis, SC. *Anais...* Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia – SBA, 1999. CD-ROM.

CARVALHO, L. G; RIOS, G. F. A; MIRANDA, W.L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesq. Agropec. Trop.,* Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011.

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. 01, p. 153-162, 2002.

CLARKE, R. T. *Statistical modelling in Hydrology*. Chichester: John Wiley & Sons. 1994. 412 p.

CURY.SAAD.J.C; BISCARO,G.A, DELMANTO JR, O. Estudo da distribuição da evapotranspiração de referencia visando o dimensionamento de sistemas de irrigação. *Irriga*, Botucatu, v. 7, n 1,2002.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. *Crop water requirement*. Rome: FAO, 1977. 144p. FAO Irrigation and Drainage Paper 24.

FALLS, L. W. *The Beta distribution*: a statical model for world cloud cover Alabama: NASA, 1973. 6p

FIETZ, C. R., URCHEI, M. A. *Análise de Freqüência da Evapotranspiração de Referência da Região de Dourados, MS***.** Comunicado Técnico 53. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2002.4p.

JENSEN, M.E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York:ASCE,1974.215p.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.;GOMES, N.M, MELLO; C.R, SILVA; A.M. .Precipitação provável para a região de Madre de Deus, Alto Rio Grande: modelos de probabilidades e valores característicos. *Ciência e Agrotecnologia,* v. 31, n. 03, p. 842-850, 2007.

KITE, G. H. *Frequency and risk analyses in hydrology*. Fort Collins, Water Resources Publications, 1978. 224 p

LIMA, E. P. Evapotranspiração de referência de Penman- Monteith padrão FAO (1998) a partir de dados de temperatura máxima e mínima de Minas Gerais. 2005. 85 f. *Dissertação (Mestrado)* - Universidade Federal de Viçosa, MG.

LYRA, G. B, GARCIA, B.I.L, PIEDADE, S.M.S, SEDIYAMA, G.C, SENTELHAS,P.C. Probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 02, p.205-215, 2006.

NIMER, E**.** *Climatologia do Brasil.* 2. Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422 p.

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

PEIXOTO, T. D. C.; LEVIEN, S. L. A.; BEZERRA, A. H.F. *Probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência média em Mossoró-RN, utilizando o modelo de distribuição probabilístico beta.* In: II Reunião Sul-americana para Manejo e Sustentabilidade da Irrigação em regiões áridas e semiáridas. Cruz das Almas, Bahia, de 03 a 07 de abril de 2011.

PEREIRA, A.S., FRIZZONE, J. A. *Relatório de Pesquisa.* Piracicaba: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, 1994. Análise de freqüência da evapotranspiração potencial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação: 42 p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. *Evapotranspiração.* Piracicaba: Fealq, 1997. 183 p.

PRUITT, W.O.; OETTIGEN, S. V.; MORGAN, D.L. Central California evapotranspiration frequencies. *Journal of Irrigation and Drainage Division***,** ASCE, 98 (IR2):177-184, 1972.

SAAD, J.C.C. Estudo das distribuições de frequências da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação. 1990. 124 f. *Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)* - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SAAD, J.C.C.; SCALOPPI, E.J. Frequência de distribuição de evapotranspiração de referência para o dimensionamento de sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1988, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ABID, 1988. v.2, p.1037-52.

SEVRUK, B. GEIGER, H. Selection of distribution types for extremes of precipitation. In: *WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION REPORT*, 15. 1981, Genova, 65p.

SILVA, F.C. Distribuição e frequência da evapotranspiração de referência de Cruz das Almas, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.3, p.284-286, 1998.

VELLAME, L. M.; QUEIROZ, M. Z. S. S; OLIVEIRA, A. S. *Probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência em Ouricuri-PE.* In: INOVAGRI – International Meeting e IV WINOTEC – Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação. Fortaleza, CE. 28 a 31 de maio de 2012.

SMITH, M. *Report on the expert consultations on revision of FAO methodologies for crop water requirements*. Rome: FAO, 1991. 45 p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R.. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 2000. 449 p.

Texto submetido à RBClima na data de 24/11/2014