

IX-009 – AVALIAÇÃO DE DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERENCIA QUINZENAL DE URUSSANGA, SC

Álvaro José Back ⁽¹⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina e professor titular da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

Ana Paula Nola Denski

Engenheira Ambiental pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

Endereço ⁽¹⁾: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Epagri, Estação Experimental de Urussanga: Rodovia SC 108, km 353, n° 1563, bairro da Estação, CEP 88.840-000 - Urussanga, SC - Brasil - Caixa-Postal: 049 Telefone: (48) 34031382- e-mail: ajb@epagri.sc.gov

RESUMO

A evapotranspiração é componente do ciclo hidrológico, inverso à precipitação, representa a água que retorna para a atmosfera, a qual em forma de vapor, através dos processos de evaporação e transpiração vegetal. 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. O objetivo deste trabalho foi analisar a aderência de diferentes distribuições de probabilidade Beta, Normal, Log Normal MM (parâmetros estimados pelo método dos momentos), 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) aos dados de evapotranspiração de referência (ET_0) quinzenal estimadas pelo método Penman-Monteith FAO para Urussanga, SC. O trabalho foi desenvolvido a partir de uma série de 33 anos de 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 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas no município de Urussanga, SC. Para os valores de ET_0 agrupados por quinzena observou-se que as distribuições de frequência analisadas ajustaram-se adequadamente as frequências observadas de evapotranspiração de referência, possuindo valor de $D_{máx}$ inferiores ao D_{crit} . No entanto, a distribuição Beta teve melhor aderência que as demais distribuições.

PALAVRAS-CHAVE: Distribuições de probabilidade, Evapotranspiração, Penman-Monteith FAO.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é um dos componentes do ciclo hidrológico, oposto à precipitação. A precisão na sua estimativa é de extrema importância para diversos estudos, como balanço hidrológico, projetos e manejo de sistemas de irrigação, simulação de produtividade das culturas e planejamento e gerenciamento de recursos hídricos.

A evapotranspiração de referência (ET_0) descreve a demanda evaporativa da atmosfera independentemente do tipo de cultura, estágio de desenvolvimento e forma de manejo (ALLEN et al. 1998). 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

Existem diversos métodos tanto para a medição direta quanto indireta da ET_0 . Conforme Pereira, Villa Nova, Sedyama (1997) a escolha de um método de estimativa da evapotranspiração depende da disponibilidade de dados meteorológicos, escala de tempo requerida e as condições climáticas para as quais foram desenvolvidos tais métodos.

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) desde 1994 (CARVALHO et al. 2011).

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. 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.

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). 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.

Segundo Dourado Neto et al. (2005) faz-se necessário um estudo das distribuições de variáveis climáticas ao longo do tempo para obter o entendimento dos fenômenos meteorológicos, determinando seus padrões de ocorrência em uma região no intuito de permitir uma previsibilidade razoável de seu comportamento climático. Ainda, conforme Assis et al. (2004) 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.

A simulação de dados climáticos para regiões consideradas homogêneas é uma alternativa para se realizar tais estudos, embora para realizar simulações é preciso conhecer o comportamento da variável climática durante uma determinada série histórica, estimativas dos parâmetros da distribuição, os quais são utilizados para se verificar a adequabilidade dos dados a modelos de distribuições de probabilidade conhecidos, tais como: Normal, Log-Normal, Beta Exponencial, Gama e Weibull (MARTIN et al., 2008)

Uma função densidade de probabilidade descreve a chance que uma variável pode assumir ao longo de um espaço de valores.

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), 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.

Para o estudo da evapotranspiração, as distribuições de probabilidade mais indicadas pela literatura são a Beta, Normal, Log Normal MM (parâmetros estimados pelo método dos momentos), 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) (Back, 2007; Peixoto, Levien e Bezerra, 2011; Vellame, Queiroz e Oliveira, 2012; Saad e Scaloppi, 1988; Saad 1990; Pereira e Frizzone, 1994; Fietz e Urchei, 2002; Cury. Saad et al., 2002; Assis, Arruda e Pereira, 1996).

Segundo 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, Arruda e Pereira (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.

Este trabalho teve como objetivo analisar a aderência destas diferentes distribuições de probabilidade aos dados de evapotranspiração de referência (ET_0) quinzenal para Urussanga, SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram usados os as séries de dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima, velocidade do vento, umidade relativa e insolação da Estação Meteorológica de Urussanga, relativa ao período de 01/10/1980 a 31/12/2013. Esta estação está localizada dentro da área da Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) sob as coordenadas 28°31'00" S e 49°19'00" W, com altitude de 48,17 metros (Figura 1).

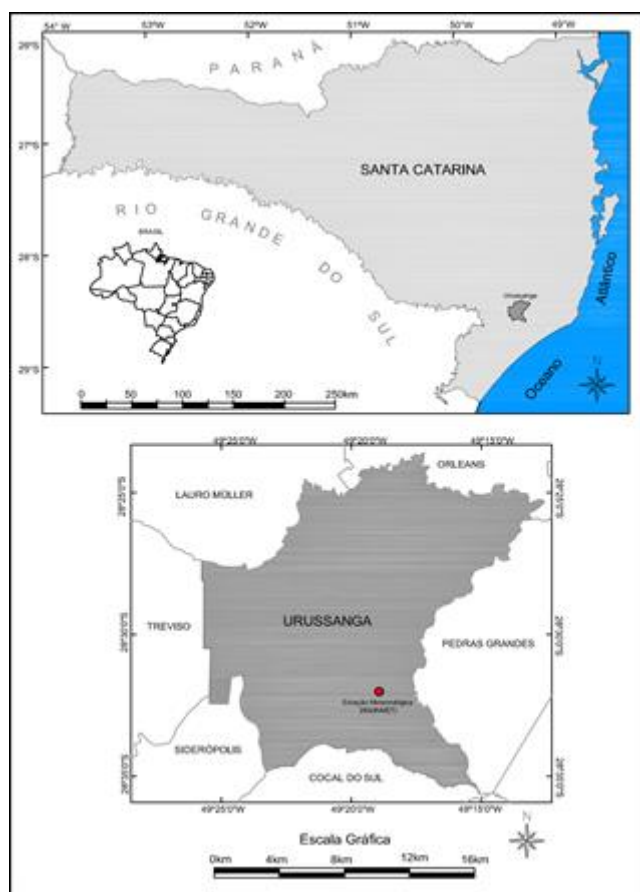


Figura 1 - Localização do município de Urussanga, SC.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região de Urussanga é do tipo Cfa, subtropical, temperado chuvoso sem estação seca definida e com inverno ameno. A média de temperatura do mês mais frio, que é junho, é 14,6°C (DUFLOTH et al., 2005).

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi calculada pelo método de Penman-Monteith conforme descrito em Smith (1991) e Allen et al. (1998).

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

Em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência (mm.d^{-1});
 R_n = saldo de radiação a superfície ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$);
 G = fluxo de calor sensível no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$);
 T = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);
 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 ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$);
 λ_e = calor latente de evaporação (MJ.kg^{-1});
 γ^* = constante psicrométrica modificada ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$);
 γ = constante psicrométrica ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$);

Os dados diários evapotranspiração de referência (ET_0) foram agrupados em períodos de quinzenais.

Foram testadas seis funções densidade de probabilidade: Beta, Normal, Log-Normal MV, Log-Normal MM, Gama MV e Gama MM.

A função de densidade de probabilidade da distribuição Beta para o intervalo (a, b) é:

$$f(x) = \frac{1}{(a-b) \Gamma(p) \Gamma(q)} \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^{p-1} \left(1 - \frac{x-a}{b-a} \right)^{q-1} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo: $a \leq x \leq b$, $p > 0$, $q > 0$;

Onde:

a é o menor valor da série de dados;

b é o maior valor da série de dados;

p e q são os parâmetros da distribuição Beta;

x é um valor qualquer da variável em estudo compreendido no intervalo (a, b).

A função de densidade de probabilidade da *distribuição Normal* ou “Curva de Gauss” é:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{equação (3)}$$

Para $-\infty < X < +\infty$

Sendo μ e σ os parâmetros da distribuição. Usualmente utiliza-se a notação DN (μ , σ).

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

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x) - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad \text{equação (4)}$$

Para $0 < X < +\infty$

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

A distribuição Gama tem como função densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(y)\beta^y} x^{y-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{equação (5)}$$

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

Neste trabalho utilizou-se o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (teste KS) para verificar qual das distribuições possui maior aderência às estimativas de ET_0 quinzenal. A estatística do teste KS é calculada pela maior diferença absoluta ($D_{\text{máx}}$) dada entre as frequências teórica teórica e empírica:

$$D_{\text{máx}} = |F(x)_{\text{empirica}} - F(x)_{\text{teórica}}|$$

RESULTADOS OBTIDOS

Observa-se que para todas as distribuições de probabilidade estudadas os valores de D_{\max} foram inferiores aos valores críticos do teste de Kolmogorov-Smirnov (D_{crit}), indicando que todas estas distribuições poderiam ser utilizadas na estimativa da probabilidade de ET_0 quinzenal. No entanto, a distribuição Beta teve melhor aderência que as demais distribuições, apresentando os menores valores de D_{crit} , como pode ser visualizado na Tabela 1 e Figura 1. Após a distribuição Beta, a distribuição Normal teve a segunda melhor aderência a frequência observada.

Tabela 1. Teste de aderência KS para valores de ET_0 quinzenal de Urussanga-SC.

Quinzena	D_{crit}	Distribuição de probabilidade					
		Beta	Normal	Log Normal MV	Log Normal MM	Gama MM	Gama MV
1	0,2308	0,0546	0,0874	0,0752	0,0713	0,0762	0,0820
2	0,2308	0,0899	0,0758	0,0569	0,0618	0,0663	0,0605
3	0,2308	0,0579	0,0533	0,0463	0,0471	0,0396	0,0419
4	0,2308	0,0546	0,0874	0,0752	0,0713	0,0762	0,0820
5	0,2308	0,1512	0,0995	0,1149	0,1154	0,1104	0,1077
6	0,2308	0,0695	0,0856	0,0804	0,0783	0,0803	0,0852
7	0,2308	0,0681	0,0661	0,0647	0,0687	0,0642	0,0656
8	0,2308	0,0736	0,0556	0,0702	0,0666	0,0626	0,0622
9	0,2308	0,0587	0,0959	0,1024	0,1066	0,1026	0,1038
10	0,2308	0,1208	0,1291	0,1051	0,1075	0,1151	0,1102
11	0,2308	0,0939	0,0824	0,0734	0,0748	0,0768	0,0797
12	0,2308	0,0635	0,0936	0,1027	0,1044	0,1004	0,1031
13	0,2308	0,0687	0,0659	0,0684	0,0688	0,0668	0,0711
14	0,2308	0,0972	0,0774	0,0984	0,0971	0,0909	0,0894
15	0,2308	0,1089	0,0785	0,1018	0,1037	0,0952	0,0953
16	0,2308	0,0804	0,0819	0,0852	0,0933	0,0886	0,0877
17	0,2308	0,0904	0,1357	0,1101	0,1069	0,1164	0,1168
18	0,2308	0,1168	0,1312	0,1085	0,1073	0,1151	0,1166
19	0,2274	0,1003	0,0712	0,0877	0,0867	0,0818	0,0801
20	0,2274	0,1319	0,1595	0,1719	0,1784	0,1720	0,1699
21	0,2274	0,0922	0,0932	0,0978	0,1075	0,1019	0,1000
22	0,2274	0,0766	0,0819	0,0974	0,0998	0,0937	0,0944
23	0,2274	0,0725	0,0625	0,0787	0,0791	0,0734	0,0732
24	0,2274	0,1233	0,1210	0,1066	0,1087	0,1131	0,1082

Diversos trabalhos realizados no Brasil, Pereira & Frizzzone (1994) para Viçosa, MG; Saad (1990) para Piracicaba, SP; Silva et al (1994) para Cruz das Almas, BA; Cury.Saad et al. (2002) para Piracicaba, SP; Blain e Brunini (2005) para o estado de SP; Back (2007) para Urussanga, SC; Peixoto, Levien, Bezerra (2011) para Mossoró, RN; Vellame, Queiroz, Oliveira (2012) para Ouricuri, PE, demonstram o melhor ajuste da distribuição Beta à evapotranspiração de referência (ET_0).

Back (2007) diz que são observados menores desvios entre os valores observados e os valores estimados de evapotranspiração de referência com a distribuição Beta e esta se ajusta melhor aos dados de evapotranspiração de referência do que a distribuição Normal.

Os trabalhos de Saad e Scaloppi (1988) e Saad (1990) para Piracicaba, SP; e Pereira e Frizzzone (1994) para Viçosa, MG; Fietz e Urchei (2002) para Dourados, MS; Cury. Saad et al. (2002) para Piracicaba, SP;

demonstraram que a distribuição de frequência da evapotranspiração de referencia (ET_0) também se ajusta a distribuição Normal e Log-Normal.

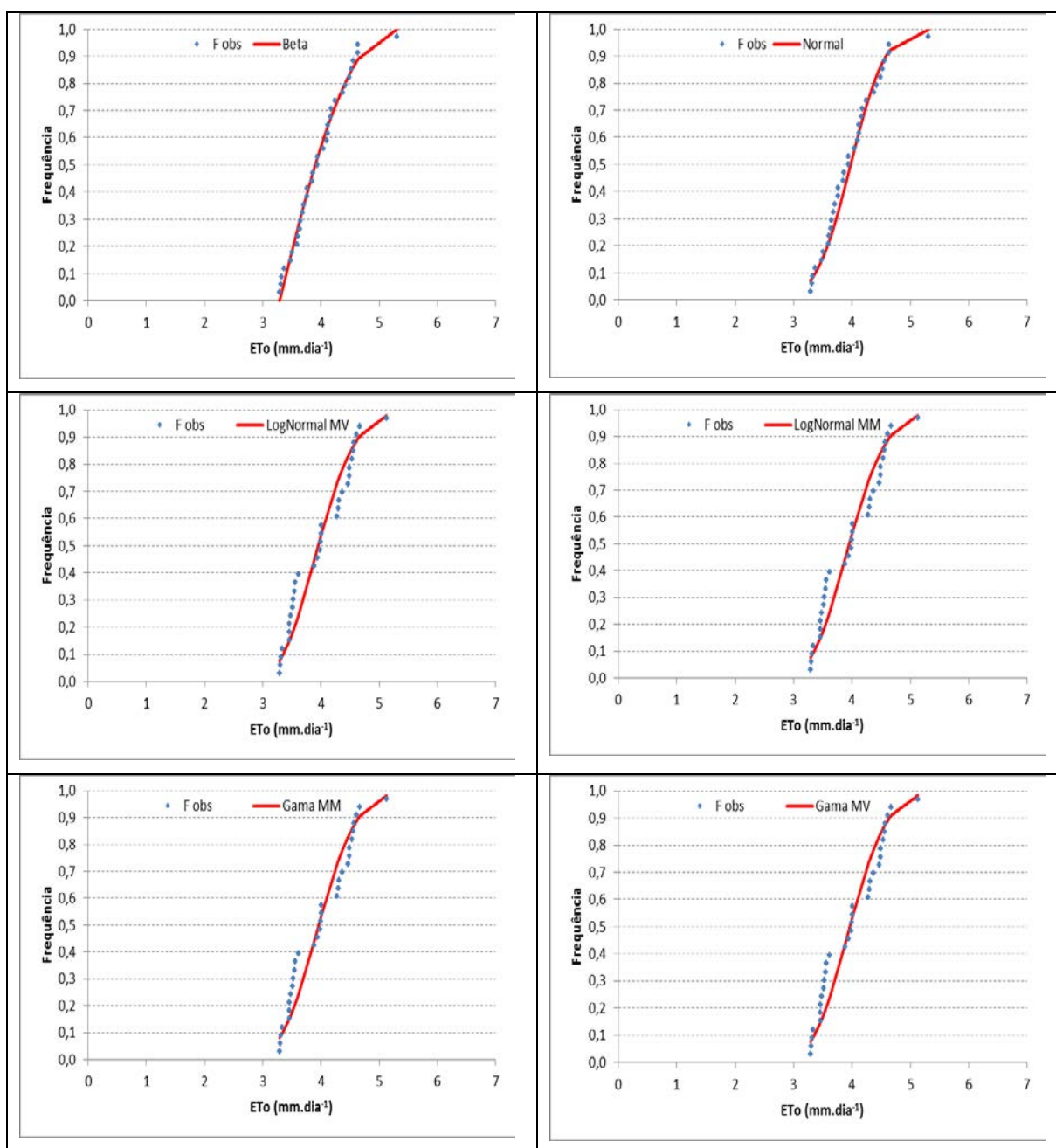


Figura 1. Aderência da evapotranspiração quinzenal as distribuições de probabilidade

CONCLUSÕES

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 agrupados por quinzena observou-se que as seis distribuições de frequência analisadas ajustaram-se adequadamente as frequências observadas de evapotranspiração de referência, possuindo valor de $D_{máx}$ inferiores ao D_{crit} . No entanto, em todos os intervalos agrupados, a distribuição Beta teve melhor aderência que as demais distribuições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLEN, R.G et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998.
2. ARAÚJO, E. M.; SILVA, I.N; OLIVEIRA, J. B.; CAVALCANTE JUNIOR, 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.
3. ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. Aplicações de estatística à climatologia. 1. ed. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1996. 161 p.
4. ASSIS, J.P.; NETO, D.D.; MANFRON, P.A.; MARTIN, G.S.; SPAROVEK, G.; TIMM, L.C. 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, Santa Maria, v.12, n.1, p.113-121, 2004. .
5. BACK, A. J. Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, p.139-145. 2007.
6. BLAIN, G. C; BRUNINI, O. Quantificação da seca agrícola pelo índice padronizado de evapotranspiração real (IPER) no estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, v 65, n 3, p .517-525,2006.
7. 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.
8. CATALUNHA, M. J. et al.. 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.
9. CURY.SAAD.J.C; BISCARO, G.A; DELMANTO JR, O Estudo da distribuição da evapotranspiração de referência visando o dimensionamento de sistemas de irrigação. Irriga, Botucatu, v.7, n.1,2002.
10. DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. Crop water requirement. Rome: FAO, 1977. 144p. FAO Irrigation and Drainage Paper 24.
11. DOURADO NETO, D.; ASSIS, J. P.; TIMM, L. C.; MANFRON, P. A.; SPAROVEK, G.; MARTIN, T. N. Ajuste de modelos de distribuições de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba-SP. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.13, n.2, p.273-283, 2005.
12. DUFLOTH, J. H.; CORTNA, N.; VEIGA, M. da; MIOR, L. C. (Org). Estudos básicos regionais de Santa Catarina. Florianópolis: EPAGRI, 2005. 1 CD-ROM
13. FIETZ, C. R.; URCHER, M. A. Análise de Frequência da Evapotranspiração de Referência da Região de Dourados, MS. Comunicado Técnico 53. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2002.4p.
14. JENSEN, M.E. Consumptive use of water and irrigation water requirements. New York:ASCE,1974.215p.
15. MARTIN, T. N.; DOURADO NETO, D.; VIEIRA JUNIOR, P.; MANFRON, P. A. Homogeneidade espaço-temporal e modelos de distribuição para a precipitação pluvial no estado de São Paulo. Revista Ceres, Viçosa, v.55, n.5, p. 476-481, 2008.
16. 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
17. PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração. Piracicaba: Fealq, 1997. 183 p.
18. PEREIRA, A.S., FRIZZONE, J. A. Relatório de Pesquisa. Piracicaba: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, 1994. Análise de frequência da evapotranspiração potencial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação: 42 p.

19. PRUITT, W.O et al. Central California evapotranspiration frequencies. Drainage Division, v.98, n.IR2, p177-184,1992.
20. 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
21. 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.
22. 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.
23. SMITH, M. Report on the expert consultations on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome: FAO, 1991. 45 p.
24. 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 .