

ANÁLISE DE ADERÊNCIA DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE A DADOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM SETE LAGOAS, MG

JOÃO C. F. BORGES JÚNIOR¹, ANTONIO J. STEIDLE NETO², CAMILO L. T. ANDRADE³,
PRISCILLA T. NASCIMENTO⁴, IVALDO M. BOGGIONE⁵

¹ Engº Agrícola, Prof. Adjunto, Campus Sete Lagoas, UFSJ, Sete Lagoas - MG, Fone: (31) 3771.3305, jcborges@ufs.edu.br

² Engº Agrícola, Prof. Dr., Campus Sete Lagoas, UFSJ, Sete Lagoas - MG

³ Engº Agrícola, Pesquisador Dr., Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas - MG

⁴ Estudante de Graduação no Curso de Agronomia, Campus Sete Lagoas, UFSJ, Sete Lagoas - MG

⁵ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Campus Sete Lagoas, UFSJ, Sete Lagoas - MG

Apresentado no
XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2013
04 a 08 de Agosto de 2013 - Fortaleza - CE, Brasil

RESUMO: Para o planejamento aplicado a agricultura irrigada ou de sequeiro, faz-se relevante o conhecimento da distribuição de probabilidade da evapotranspiração de referência, ET_o , para fins de estimativa do requerimento hídrico. Objetivou-se neste trabalho verificar o ajuste de funções de probabilidade a dados mensais de ET_o , obtidos de longa série de dados meteorológicos. Utilizou-se uma série histórica dos anos de 1927 a 2010, em base diária, da Estação Meteorológica do INMET-Embrapa Milho e Sorgo, na latitude $19^{\circ} 40'$ Sul, longitude $44^{\circ} 17'$ Oeste e altitude de 732 m, para calcular a ET_o pelo método FAO Penman-Monteith. Os totais mensais de ET_o foram obtidos a partir das médias dos valores diários de ET_o em cada mês, multiplicadas pelo número de dias do mês. Considerou-se as distribuições Valor Extremo, Normal, Rayleigh, Triangular e Weibull. Empregou-se o teste Kolmogorov-Smirnov, KS, para verificação dos ajustes. A técnica bootstrap foi empregada para obtenção de valores críticos da estatística do teste KS a diferentes níveis de probabilidade e de intervalos de confiança dos parâmetros das distribuições, com 95% de probabilidade. Exceto para a distribuição Rayleigh para fevereiro, obteve-se ajustes das funções, variando-se, entretanto, o ranque das mesmas conforme o mês e os valores críticos.

PALAVRAS-CHAVE: Kolmogorov-Smirnov, requerimento hídrico, bootstrap

FREQUENCY DISTRIBUTION ANALYSIS FOR REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION DATA IN SETE LAGOAS, MG

ABSTRACT: For planning applied to rainfed or irrigated agriculture, it is relevant the knowledge of the probability distribution of reference evapotranspiration, ET_o , for purposes of estimating water requirement. The objective of this work was to verify the fit of probability functions to monthly ET_o data obtained from long series of meteorological data. We used a series of years from 1927 to 2010, on daily basis, the Meteorological Station INMET-Embrapa Milho e Sorgo, in latitude $19^{\circ} 40'$ South, longitude $44^{\circ} 17'$ West and altitude of 732 m, to calculate ET_o by the FAO Penman-Monteith method. The total monthly ET_o were obtained from the average of the daily values of ET_o of each month, multiplied by the number of days in the month. It was considered extreme value Distributions, Normal, Rayleigh, Triangular and Weibull. We used the Kolmogorov-Smirnov, KS, to check the fit. The bootstrap technique was used to obtain critical values of the KS test statistic at different levels of probability and confidence intervals of the parameters of the distributions, with 95% of probability. Except for the Rayleigh distribution for February, the functions were fitted, varying, however, the rankings at each month and the critical values.

KEYWORDS: Kolmogorov-Smirnov, water requirement, bootstrap

INTRODUÇÃO: O conhecimento da variabilidade de elementos meteorológicos é requerido no planejamento de atividades agrícolas, estudos de viabilidade agrônômica relativa a diferentes épocas

de plantio, zoneamento agrícola e dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem. A evapotranspiração de referência, E_{To} , agrega o efeito da radiação, temperatura, velocidade do vento e umidade relativa sobre o requerimento hídrico de cultivos. O tratamento do risco associado a quebras de rendimento agrícola envolve, desta forma, o conhecimento da distribuição de probabilidade da E_{To} . A qualidade do ajuste de funções de densidade de probabilidade a dados amostrais pode ser verificada por meio de testes como o Critério de Informação Akaike, Critério de Informação Bayesiana, Qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, raiz quadrada do erro quadrado médio, Lilliefors, Shapiro-Wilk (CARGNELUTTI FILHO et al., 2004; PALISADE CORPORATION, 2012). O teste Kolmogorov-Smirnov tem sido empregado para verificação de ajuste de aderência de distribuições de probabilidade a dados, inclusive aqueles de elementos meteorológicos (ARAÚJO et al., 2010; LEITE & VIRGENS FILHO, 2011). Neste teste, a hipótese de nulidade (H_0) refere-se à aceitação de que a distribuição testada ajusta-se à distribuição empírica verificada em um conjunto amostral de dados. Em relação às distribuições de probabilidade, há várias alternativas aplicáveis a variáveis aleatórias contínuas, dentro das quais se enquadram aquelas relativas aos elementos meteorológicos, citando-se as distribuições Normal, Rayleigh, Triangular, Valor Extremo e Weibull. Objetivou-se neste trabalho verificar o ajuste destas funções de probabilidade a dados mensais de evapotranspiração de referência, obtidos de longa série de dados meteorológicos no município de Sete Lagoas, Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS: Foi utilizada uma série histórica dos anos de 1927 a 2010, em base diária, da Estação Meteorológica do INMET-Embrapa Milho e Sorgo, na latitude $19^{\circ} 40'$ Sul, longitude $44^{\circ} 17'$ Oeste e altitude de 732 m, com dados de temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, horas de brilho solar e velocidade do vento. Foi realizada a análise de consistência dos dados tabulados em planilha eletrônica (Excel - Microsoft Corporation), por meio de procedimentos computacionais e análise visual de gráficos. Valores máximos de horas de brilho solar foram verificados considerando-se o dia do ano. Seguindo procedimento sugerido por ALLEN (2011), considerou-se o valor mínimo de $0,5 \text{ m s}^{-1}$ para a velocidade do vento. Descartou-se períodos com sequências de falhas superiores a 10 dias; dados faltosos foram preenchidos considerando-se a média do dia anterior e dia posterior à falha. Após análise de consistência de dados, obteve-se o total de 30.395 dias de dados, frente a 30.680 dias do período, ou seja, houve redução de 0,9% do total de dias de dados. Utilizou-se o programa REF-ET, versão 3.1.08 - 2012 (ALLEN, 2011), para processamento dos dados, calculando-se a evapotranspiração de referência segundo o método FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998; BERNARDO et al., 2008). O arquivo de resultados gerado pelo REF-ET foi também tabulado em uma planilha eletrônica, obtendo-se totais mensais de E_{To} a partir das médias dos valores diários em cada mês, multiplicadas pelo número de dias do mês, empregando-se macros escritas em Visual Basic para execução destes procedimentos computacionais. Obteve-se, assim, doze séries de totais mensais de E_{To} . Às séries de totais mensais de E_{To} foram ajustadas as distribuições Valor Extremo (ou Gumbell), Normal, Rayleigh, Triangular e Weibull. A verificação da qualidade do ajuste das distribuições aos dados amostrais foi feita empregando-se o teste Kolmogorov-Smirnov, KS, sendo que a estatística do teste foi também empregada para ranquear as distribuições. Utilizou-se a técnica bootstrap para obtenção de valores críticos da estatística do teste KS a diferentes níveis de probabilidade e de intervalos de confiança dos parâmetros das distribuições com 95% de probabilidade. O processamento dos ajustes, teste KS e aplicação da técnica bootstrap foi executado empregando-se o software @Risk (PALISADE CORPORATION) integrado à planilha eletrônica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O ranque das distribuições de probabilidade, quanto ao ajuste aos dados mensais de E_{To} , são apresentados nas tabelas 1 e 2. Nestas tabelas observa-se que a distribuição Normal apresentou melhor ajuste em quatro dos doze meses e segundo melhor ajuste em seis meses. A distribuição Weibull foi a melhor ranqueada em quatro meses. Observa-se, contudo, que não foi possível fazer a obtenção do valor-p com o processamento da técnica bootstrap aos dados amostrais considerados para a distribuição de Weibull, nos meses de março e agosto. Em relação à distribuição Normal, observa-se que apenas para o mês de setembro não se aceitou a hipótese de nulidade do teste Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%. Neste mês, a hipótese de nulidade não foi aceita para nenhuma das distribuições consideradas, neste nível de significância. Para o mês de setembro, a hipótese de nulidade seria aceita ao nível de significância de 1% para a distribuição normal, conforme se verifica pelo conjunto de valores críticos obtidos com a técnica de bootstrap para

diferentes níveis de probabilidade. Desempenho relativamente bom, dada a simplicidade do modelo e na obtenção dos parâmetros, foi também verificado para a distribuição Triangular, sendo a melhor ranqueada para o mês de fevereiro.

TABELA 1. Ranque de distribuições de probabilidade quanto ao ajuste aos dados mensais de evapotranspiração de referência, para os meses de janeiro a junho.

Ranque	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho
1	Normal	Triangular	Weibull (**)	Normal	Weibull	Valor Ext.
2	Triangular	Normal	Normal	Weibull	Normal	Weibull
3	Weibull	Weibull	Valor Ext. (*)	Valor Ext.	Triangular	Normal
4	Rayleigh	Valor Ext. (*)	Triangular	Triangular	Valor Ext. (*)	Triangular (*)
5	Valor Ext. (*)		Rayleigh (*)	Rayleigh (*)	Rayleigh (*)	Rayleigh (*)

(*) Ho não aceita ao nível de significância de 5%; (**) vapor-p não disponibilizado com a técnica de bootstrap.

TABELA 2. Ranque de distribuições de probabilidade quanto ao ajuste aos dados mensais de evapotranspiração de referência, para os meses de julho a dezembro.

Ranque	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
1	Weibull	Weibull (**)	Weibull (*)	Normal	Triangular	Normal
2	Normal	Normal	Normal (*)	Weibull	Weibull	Weibull
3	Triangular	Triangular	Valor Ext. (*)	Triangular	Rayleigh	Valor Ext.
4	Valor Ext.	Valor Ext. (*)	Triangular (*)	Valor Ext. (*)	Valor Ext.	Triangular (*)
5	Rayleigh	Rayleigh (*)	Rayleigh (*)	Rayleigh (*)	Normal	Rayleigh (*)

(*) Ho não aceita ao nível de significância de 5%; (**) vapor-p não disponibilizado com a técnica de bootstrap.

ARAÚJO et al. (2010), empregando os teste Kolmogorov-Smirnov a 20% e Qui-quadrado a 5% de significância, observaram melhores ajustes obtidos com as distribuições Normal e Log-normal, em estudo conduzido para a temperatura máxima e mínima do ar em Iguatu, CE. CARGNELUTTI FILHO et al. (2004), em estudo conduzido para diversos municípios do Rio Grande do Sul para radiação solar global, com dados decendiais, observaram que a distribuição Normal foi a que propiciou o melhor ajuste. Nas figuras 1 e 2 são ilustradas as distribuições de probabilidade acumulada obtidas, respectivamente, para o meses de janeiro e setembro, considerando-se as distribuições verificadas na amostra (entrada), Normal, Triangular e Weibull. Observa-se a proximidade entre as curvas de probabilidade acumulada, especialmente para janeiro.

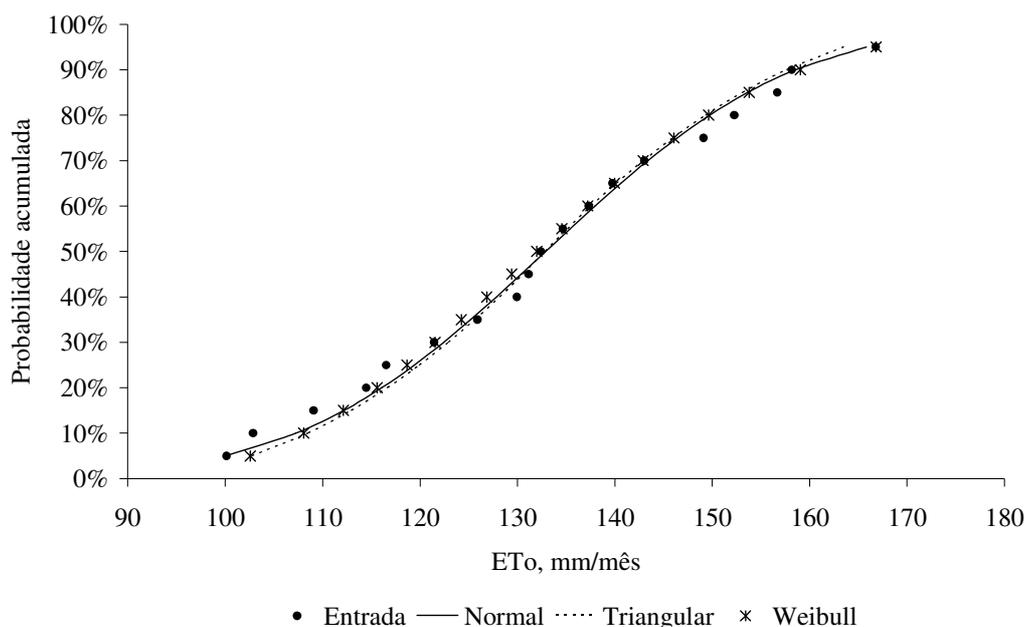


FIGURA 1. Distribuições de probabilidade acumulada da evapotranspiração de referência, para o mês de janeiro (“Entrada” refere-se à distribuição verificada com os dados de entrada).

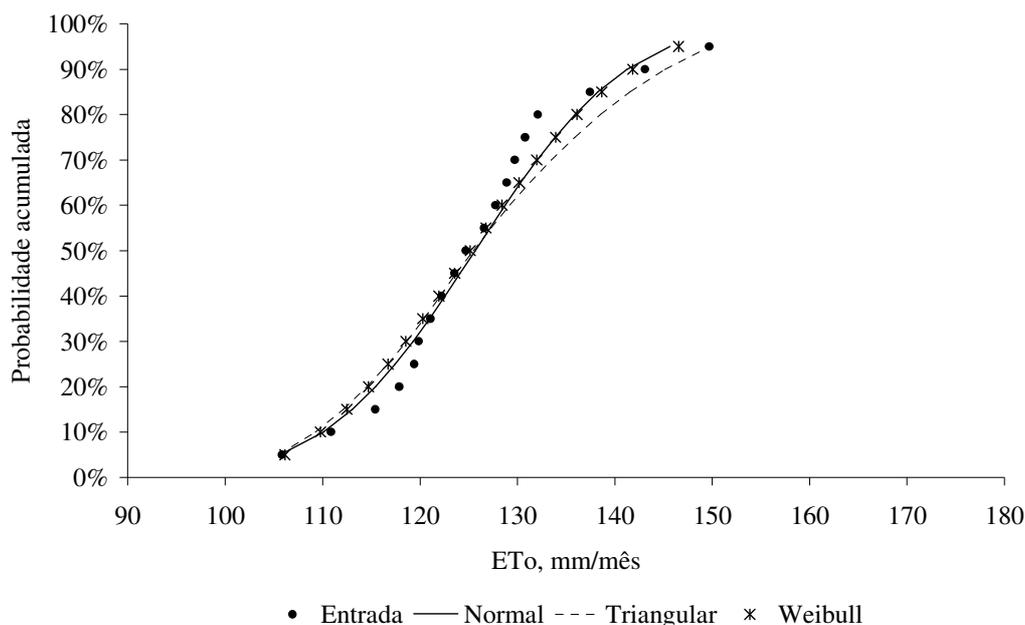


FIGURA 2. Distribuições de probabilidade acumulada da evapotranspiração de referência, para o mês de setembro (“Entrada” refere-se à distribuição verificada com os dados de entrada).

Para o mês de setembro (Figura 2), observa-se maior distanciamento, em alguns trechos, da curva de probabilidade acumulada ajustada diretamente aos dados de entrada, em comparação com as obtidas com as distribuições Normal, Triangular e Weibull, fato este condizente com a não aceitação de H_0 ao nível de significância de 5%, conforme informado na Tabela 2.

CONCLUSÕES: Verificou-se que exceto para a distribuição Rayleigh para fevereiro, obteve-se ajustes para todas as funções consideradas, variando-se, entretanto, o ranque das mesmas conforme o mês. A distribuição Normal foi a melhor ranqueada em quatro dos doze meses, sendo a segunda melhor ranqueada em outros seis meses, ressaltando-se a facilidade para obtenção de parâmetros desta distribuição, bem como para sua aplicação.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.G. **REF-ET: Reference Evapotranspiration Calculation Software for FAO and ASCE Standardized Equations**. University of Idaho. 2011. Disponível em <http://extension.uidaho.edu/kimberly/files/2013/03/Ref-ET-V3.1-Users-Manual.pdf>, acessado em 24/04/2013.
- ARAÚJO, E. M.; ELIAKIM MARTINS ARAÚJO, E. M.; JOAQUIM BRANCO DE OLIVEIRA, J. B.; SILVA, M. G.; VIANA, P. C.; ALVES, A. S. ALVES. Análise da aderência de distribuições de probabilidade aos dados de temperatura máxima e mínima do ar em Iguatu-CE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 3, p. 104-109, 2010.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 Ed. Rev. Atualizada e ampliada. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J. K. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1157-1166, 2004.
- LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S. Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries horárias de velocidade do vento para o município de Ponta Grossa, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 33, n. 4, p. 447-455, 2011.
- PALISADE CORPORATION. **Guide to Using @RISK: Risk Analysis and Simulation Add-In for Microsoft® Excel**. Ithaca, NY USA, 2012. 905p. Disponível em <http://www.palisade.com>, acessado em 24/04/2013.