

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DA EVAPOTRASPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA, EM ESCALA MENSAL, NA REGIÃO DE IGUATU, CE¹

EDMILSON G. C. JUNIOR², JOAQUIM B. DE OLIVEIRA³, BRUNO M. DE ALMEIDA⁴,
ELIAKIM M. ARAÚJO⁴, ÍTALO N. SILVA⁴

¹ Parte do TCC do primeiro autor como requisito para a obtenção do grau de Tecnólogo em Irrigação e Drenagem (IFET-CE)

² Graduando do Curso Superior em Tecnologia de Irrigação e Drenagem – IFET Campus Iguatu, Rodovia Iguatu/Várzea Alegre, Km 05 – Iguatu – CE, Fone: (0 xx 88) 35813471, ediguatu@yahoo.com.br

³ Eng. Agrônomo, Prof. M. Sc. IFET – CE Campus Iguatu.

⁴ Graduando do Curso Superior em Tecnologia de Irrigação e Drenagem – IFET – CE Campus Iguatu.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

RESUMO: Com o intuito de caracterizar a distribuição de frequência do regime de evapotranspiração de referência, da cidade de Iguatu, CE, para fins de uso em dimensionamentos de sistemas de irrigação, foi utilizada uma série histórica de 30 anos de dados meteorológicos para estimativa da evapotranspiração de referência, pelo método Penman-Monteith FAO 56. Foram analisadas através do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância a aderência das funções de distribuições gama, exponencial e log-normal aos dados médios mensais de ET_o . A distribuição log-normal se ajustou aos dados de todos os meses do ano. Através da função de distribuição log-normal foram estimados valores de ET_o para níveis de 60, 65, 70, 75, 80, 85 e 90% de probabilidade de ocorrência.

PALAVRAS-CHAVE: Evapotranspiração de referência, distribuição de frequência e dimensionamentos de sistemas de irrigação.

PROBABILITY OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION OCCURRENCE, IN THE MONTHLY SCALE, IN THE REGION OF IGUATU-CE, BRAZIL

ABSTRACT: With the objective of to characterize the frequency distribution of the reference evapotranspiration regime, of Iguatu city, in Ceará, to use in irrigation dimension systems, was utilized a historical series of 30 years of meteorological data to estimate the reference evapotranspiration, by the Penman-Monteith FAO 56 method. Were analyzed by the Kolmogorov-Smirnov test at 5% of significance the adherence of the gama, exponential and log-normal functions to the average monthly data of ET_o . The Log-normal distribution fit to data for all months of the year. Through of the log-normal function of distribution were estimated ET_o values to levels of 60, 65, 70, 75, 80, 85 and 90% of occurrence probability.

KEYWORDS: Reference evapotranspiration, distributions of frequency, irrigation systems design.

INTRODUÇÃO: A grande variação nos elementos meteorológicos das regiões, provocam elevada dispersão nos valores de ET_o , tornando-se necessária uma análise de probabilidade de ocorrência para um correto dimensionamento do sistema de irrigação. O estudo da distribuição de frequência é um meio de se compreender os fenômenos meteorológicos, através dela pode-se ter certa previsibilidade de determinado fenômeno, tais como precipitação, temperatura, evapotranspiração e entre outros. A evapotranspiração de referência (ET_o) é um fator fundamental na agricultura, pois serve como parâmetro para

estimar o consumo de água das cultura e serve como base para o dimensionamento dos sistemas de irrigação, por isso é de suma importância um estudo detalhado de uma série histórica de determinada região para que se possa ter um correto dimensionamento. Um erro muito comum em análise de dados climatológicos é desprezar as características das funções de distribuição mais adequadas para os dados em estudo. Mais frequentemente adotando-se a distribuição Normal por ser de mais fácil estimativa, sem antes verificar se é a que mais se ajusta ao conjunto de dados. Essa verificação pode ser realizada pelo teste de aderência como Kolmogorov-Smirnov. Este trabalho tem por objetivo testar o ajuste das funções exponencial, log-normal e gama aos dados mensais de ET_o da cidade de Iguatu-CE, estimados pelo método Penman-Monteith FAO 56, visando a obtenção da probabilidade de ocorrência da ET_o na região.

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados climatológicos utilizados na pesquisa foram obtidos da Estação Climatológica Principal (ECP) de Iguatu-Ce, por meio da rede de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo que o local apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 6° 22' S; longitude 39° 17' W e altitude 217,67 m. A classificação climática de Köppen, classifica Iguatu como BSw'h', ou seja, semi-árido quente, com temperatura média anual de 27,5 °C e precipitação pluvial total anual de 750 mm. A estimativa da ET_o foi feita através software REF-ET, utilizando o método de Penman-Monteith(FAO-56), que é considerado padrão, e recomendado pela FAO no seu manual 56. Para estimativa da ET_o foram utilizados dados climatológicos de um período de 30 anos alternados entre os anos de 1961 a 2005. A razão da falta de alguns anos no intervalo utilizado, esta ligada a falta de dados necessários à aplicação do método de Penman-Monteith (FAO-56) em determinados anos, sendo que de acordo com ASSIS (1996) em climatologia, se aceita como razoável uma amostra de dados, com no mínimo 30 anos de observações. Com os dados diários de ET_o foi obtida uma média mensal de cada ano e posteriormente submetidos ao estudo de distribuição de frequência, para obtenção da frequência observada. Em seguida aos dados médios mensais de ET_o foram aplicadas as funções exponencial, gama e log-normal.

Distribuição Log-normal

A função densidade de probabilidade da distribuição log-normal a dois parâmetros segundo MIRSHAWKA, (1971, apud CATALUNHA. et al. 2002):

$$F(X) = \frac{1}{X\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{[\ln(X) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right] \quad \text{Eq.1}$$

sendo:

μ média dos logaritmos da variável x; e

σ desvio-padrão dos logaritmos da variável x.

Para encontrar a probabilidade de que uma variável aleatória x, tendo distribuição Log-Normal, assuma valores entre a e b ($a \leq x \leq b$), tem-se:

$$F(a \leq x \leq b) = \int_a^b \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(x) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad \text{Eq.2}$$

Distribuição Gama

Sua função densidade de probabilidade assume a seguinte forma (ASSIS, 1996):

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \text{ para } 0 < x < \infty \quad \text{Eq.3}$$

Sendo $F(X)$ a probabilidade de ocorrência de um evento menor ou igual a x , pode-se escrever que a função de distribuição acumulada de probabilidade é representada pela função Gama incompleta, segundo THOM (1958) citado por CATALUNHA. et al. 2002:

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x u^{\alpha-1} e^{-\frac{u}{\beta}} du \quad \text{Eq. 4}$$

em que:

x variável aleatória contínua;
 $\Gamma(\alpha)$ função Gama do parâmetro alfa;
 α parâmetro de forma da variável aleatória x ;
 β parâmetro de escala da variável aleatória x ; e
 e base do logaritmo neperiano (2,718281828...).

O método utilizado para estimar os parâmetros (β, α) foi o da máxima verossimilhança, segundo THOM (1966):

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4(\ln(\bar{x}) - x_g)}{3}}}{4(\ln(\bar{x}) - x_g)} \quad \text{Eq. 5}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad \text{Eq. 6}$$

sendo \bar{x} a média aritmética e x_g a média geométrica.

A equação 4 não tem solução imediata, exigindo tabelas ou técnicas de integração numérica como expansão em série, então alterando-se na equação (32): $(X/\beta)=t$; $X=\beta t$; $du=\beta dt$, tem-se:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\alpha) e^\alpha} \left[1 + \frac{t}{\alpha + 1} + \frac{t^2}{(\alpha + 1)(\alpha + 2)} + \frac{t^3}{(\alpha + 1)(\alpha + 2)(\alpha + 3)} + \dots \right] \quad \text{Eq. 7}$$

Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial é geralmente aplicada a dados com forte assimetria, ou seja, cujo o histograma apresenta uma forma de “J” invertido. A sua função de probabilidade utilizada é descrita por ASSIS (1996):

$$F(X) = 1 - e^{-\frac{x}{\bar{x}}} \quad \text{Eq. 8}$$

sendo \bar{x} a média.

Para verificação do nível de aderência entre a frequência observada e a estimada pelas funções analisadas no estudo, aplicou-se os testes de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância. Segundo ASSIS et al. (1996), esses testes podem ser aplicados para verificar se os valores de uma série temporal podem ser considerados como provenientes de uma população com distribuição teórica preestabelecida, sob a hipótese da nulidade H_0 .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Analisando a Tabela 1, nota-se que na distribuição log-normal a hipótese H_0 foi aceita para todos os meses analisados, ao nível de significância de 5%, sendo assim a mais adequada a representar os dados de ET_0 deste estudo. Silva et al. (1998) trabalhando com dados de ET_0 acumulada na região de Cruz das Almas, BA, também verificaram um bom ajuste da distribuição log-normal aos dados.

Tabela 1 - Aderência das funções de distribuição de probabilidade para a escala mensal, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K) a 5% de significância.

Função de distribuição de probabilidade	Teste de Aderência											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Exponencial	*	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*

Gama	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Log-Normal	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Através distribuição log-normal obteve-se os valores de ET_o para níveis de 60, 65, 70, 75, 80, 85 e 90% de probabilidade de ocorrência para todos os meses, onde tais níveis de probabilidade representa os limites de ocorrência de valores iguais ou inferiores aos calculados, ou seja, de acordo com a Tabela 2 existe 80% de probabilidade de que a média mensal da ET_o de janeiro não ultrapasse $5,92 \text{ mm.d}^{-1}$. Tal valor também pode ser interpretado como se a cada 5 anos, 4 apresentarão valor igual ou menor que $5,92 \text{ mm.d}^{-1}$. Os meses de pico na região se concentraram nos meses de outubro e novembro. O valor da ET_o que serve como base no dimensionamento de sistemas de irrigação depende basicamente de dois fatores, que são o período de máxima exigência hídrica das culturas e o nível de probabilidade desejado para as condições específicas de cada região, onde segundo SAAD (1990) para as regiões onde a irrigação é tipicamente suplementar dificilmente se justifica economicamente usar níveis de probabilidade superiores a 90%, sendo que na prática os valores mais usados estão entre 50 e 75%. Como em Iguatu a irrigação acontece de forma suplementar somente na época chuvosa, que abrange os meses de fevereiro a maio, não se recomenda dimensionar sistemas fixos com base em dados de tal período, pois o sistema ficaria subutilizado para o restante do ano. Para restante dos meses do ano a única forma de suprir as necessidades hídricas das plantas é a irrigação, ou seja, a irrigação é total, assim não é indicado para a região usar níveis de probabilidade muito baixos para dimensionamento dos sistemas (< 75%). Vale ressaltar que o critério de escolha do nível de probabilidade deve ser baseado em uma análise econômica, considerando-se os prejuízos associados à redução da quantidade e da qualidade da produção decorrente da deficiência hídrica, e o aumento do custo de implantação do sistema para satisfazer níveis mais elevados de probabilidade (SILVA et al., 1998).

Tabela 2 - Evapotranspiração de referência mensal (mm.d^{-1}), obtida através da distribuição Log-Normal, para diferentes níveis de probabilidade e tempo de retorno.

Prob. (%)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Tempo de Retorno (anos)
60	5,24	5,05	4,84	4,57	4,65	4,66	2,5
65	5,38	5,15	4,96	4,69	4,67	4,82	2,9
70	5,53	5,25	5,09	4,81	4,83	4,99	3,3
75	5,72	5,35	5,21	4,92	4,99	5,16	4,0
80	5,92	5,5	5,37	5,09	5,15	5,39	5,0
85	6,15	5,64	5,55	5,26	5,38	5,67	6,7
90	6,48	5,85	5,79	5,51	5,65	5,99	10,0
Prob. (%)	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
60	5,16	5,91	6,43	6,79	6,61	6,05	2,5
65	5,31	6,05	6,58	6,95	6,79	6,21	2,9
70	5,47	6,21	6,76	7,14	6,99	6,37	3,3
75	5,67	6,38	6,96	7,36	7,19	6,53	4,0
80	5,89	6,57	7,16	7,58	7,44	6,73	5,0
85	6,13	6,82	7,44	7,89	7,74	6,98	6,7
90	6,49	7,12	7,76	8,24	8,12	7,28	10,0

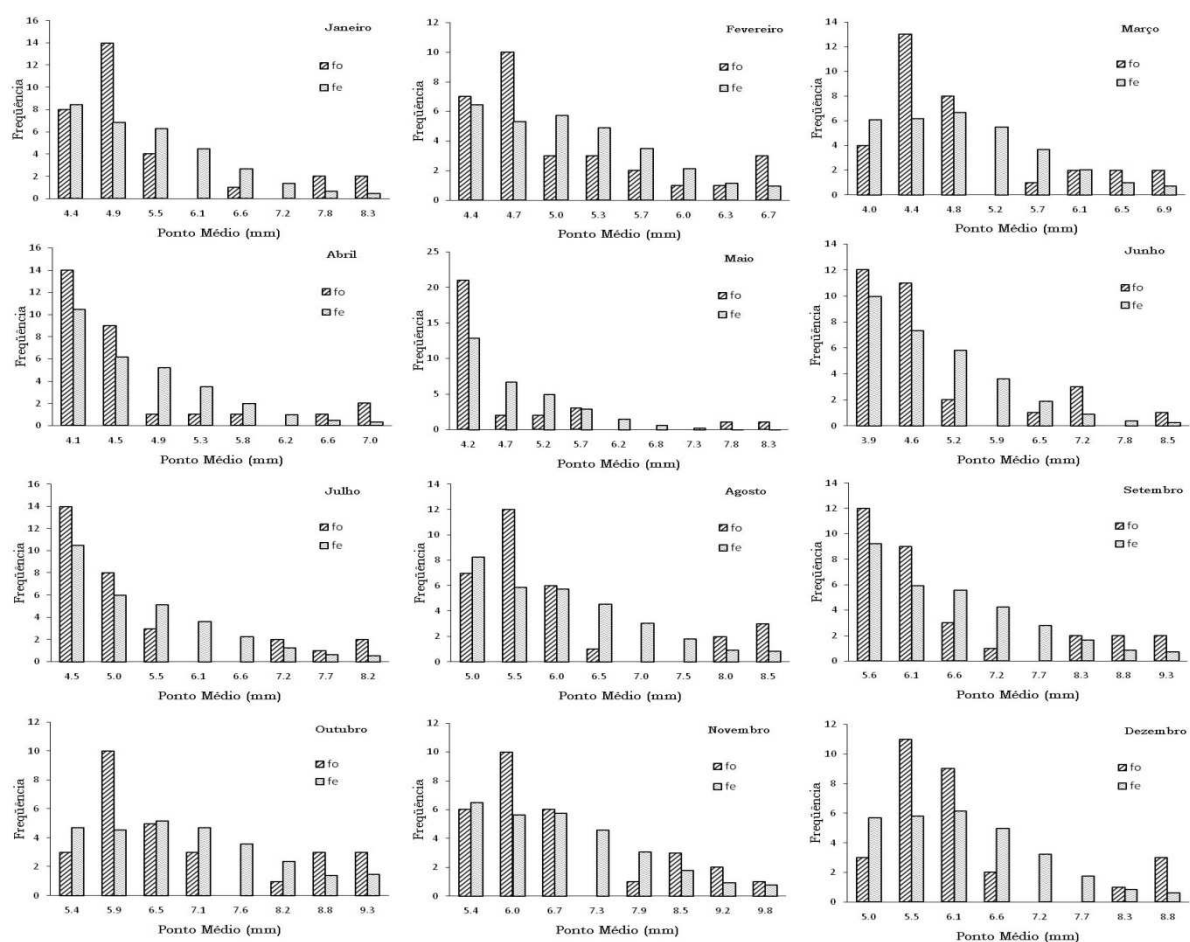


Figura 1 - Histogramas da frequência observada e a esperada, pela função de probabilidade Log-normal, com os dados de ET_0 , em escala mensal, para todos os meses do ano.

CONCLUSÃO: A distribuição Log-normal esta apta a representa a variabilidade da evapotranspiração de referência mensal da região de Iguatu-CE, segundo o teste Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALLEN, R. G. **REF-ET Reference Evapotranspiration Software**. Kimberly: University of Idaho 2000. Disponível em: <<http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/>>. Acesso em: 27 nov. 2007.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas-RS: Universitária, 1996. 161 p.
- CATALUNHA, M. J., et al. Avaliação 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.
- SAAD, J. C. C. **Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação**. 1990. 79 f. Dissertação (Mestre em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- SILVA, F. C., et al. Distribuição e frequência da evapotranspiração de referência de Cruz das Almas, BA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 2, n. 3, p. 284-286, 1998.
- THOM, H.C.S. **Some methods of climatological analysis**. Geneva: World Meteorological Organization, 1966, (Reprinted in 1971). 53 p. (Technical Note, nº 81).