



<http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a280>

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EM PETROLINA, PE

A. O. da Silva<sup>1</sup>, J. S. Correia<sup>1</sup>, L. H. Bassoi<sup>2</sup>, A. H. de C. Teixeira<sup>3</sup>

**RESUMO:** A evapotranspiração é uma variável fundamental para estimar a exigência hídrica das culturas, e também fornece subsídio para o dimensionamento de sistemas de bombeamento, adução e distribuição de água na irrigação. A caracterização da distribuição de frequência da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), estimada pelo método do tanque classe “A” em Petrolina - PE, foi realizada com base em série histórica de dados de 1963 a 2010, os quais foram agrupados em períodos de 5, 10, 15 e 30 dias. As distribuições gama e normal foram aplicadas aos dados de ET<sub>o</sub> com probabilidade de 95, 90, 75, 50, 25, 10 e 5%, e foram aptas para representar os dados de evapotranspiração de referência para os períodos acumulados de 10, 15 e 30 dias. Os valores de ET<sub>o</sub> (11,06 e 11,07 mm dia<sup>-1</sup>, distribuição gama e normal, respectivamente) para o mês de outubro no período acumulado de 15 dias com probabilidade de 75%, foram os mais indicados para o dimensionamento da lâmina diária máxima de projetos de sistemas de irrigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Probabilidade, frequência de distribuição, semiárido.

## REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR DESIGN OF IRRIGATION SYSTEMS IN PETROLINA, BRAZIL

**ABSTRACT:** Evapotranspiration is a key variable to estimate crop water requirement, to support the design of pumping systems, supply and distribution of water for irrigation. The distribution frequency of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) estimated by class A pan in Petrolina, State of Pernambuco, Brazil, was characterized based on 1963 – 2010 data serie, grouped in periods of 5,10,15 and 30 days. Gamma and normal distributions were applied to the ET<sub>o</sub> data with a probability of 95, 90, 75, 50, 25, 10 and 5%, and were able to represent the ET<sub>o</sub> data for the cumulative periods of 10, 15 and 30 days. The ET<sub>o</sub> values (11.06 and 11.07 mm day<sup>-1</sup>, normal and gamma distribution, respectively) for the month of October in the period from 15 days with 75% probability were the most suitable for the scaling of the maximum daily irrigation depth of irrigation system designs.

**KEYWORDS:** Probability, distribution frequency, semi-arid.

## INTRODUÇÃO

A agricultura apresenta grande dependência das condições climáticas atuantes nas regiões de cultivo, sendo influenciada de maneira significativa pelos diversos fatores meteorológicos existentes, dentre estes fatores destacam-se a precipitação, radiação solar, vento, evapotranspiração, etc. Por isso, é fundamental estudar a influência das suas variações sobre as diferentes estratégias de uso do sistema agrícola, de modo a apresentar subsídios para o processo de tomada de decisão e otimizar o planejamento das atividades agrícolas (Frizzone & Andrade Júnior, 2005).

Na agricultura irrigada, o conhecimento da evapotranspiração é de grande importância na estimativa das necessidades hídricas das culturas, bem como para o manejo racional dos recursos

<sup>1</sup> Doutorando, bolsista CAPES/CNPq, UNESP/FCA, Botucatu - São Paulo. Email: alexsandro\_oliveira01@hotmail.com; linajua@hotmail.com

<sup>2</sup> Pesquisador, Embrapa Semiárido, Petrolina - Pernambuco. Email: luis.bassoi@embrapa.br

<sup>3</sup> Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas - São Paulo. E.mail: heriberto.teixeira@embrapa.br



hídricos (Frizzone, 2007; Carvalho & Oliveira, 2012). Segundo Saad et al., (2002) a estimativa da necessidade hídrica das culturas é de fundamental importância para dimensionar o sistema de adução, de distribuição e de aplicação de água, característicos de cada método de irrigação. Porém, existem dificuldades para uma estimativa adequada da evapotranspiração da cultura, pois a diversidade de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e a dificuldade para seu cálculo, devido a grande quantidade de parâmetros meteorológicos exigidos, além de breves históricos destes na maioria das propriedades, dificultam uma estimativa mais precisa. Por isso a utilização de métodos alternativos para estimativa da ET<sub>o</sub>, como o tanque classe “A”, devem ser utilizados para o planejamento da agricultura irrigada, devido principalmente a sua fácil aplicação, além de possuir em alguns casos, dados históricos maiores, devido ao período longo de uso das estações meteorológicas convencionais no Brasil (Trajkovic & Kolakovic, 2010; Sentelhas & Folegatti, 2003).

A utilização de simulações com o uso de dados históricos para o planejamento da irrigação é uma técnica adotada com a finalidade de fazer previsões de fenômenos meteorológicos, consistindo em simular uma ocorrência futura de possíveis valores (Fietz et al., 1997). Segundo Frizzone & Andrade Júnior (2005), a técnica de simulação é de grande importância, pois séries de dados climáticos disponíveis para efetuar estudos envolvendo as inter-relações clima versus sistema agrícola são muito pequenas, levando a obtenção de resultados tendenciosos. Doorenbos & Pruitt (1997) advertem que o uso de dados climáticos médios em equações combinadas pode conduzir a erros significativos, comprometendo todo planejamento realizado.

Back (2007), Saad et al., (2002) e Silva et al., (1998) sugerem uma análise da probabilidade de ocorrência dos valores históricos de ET<sub>o</sub> para fins de dimensionamento de irrigação, porém estes autores afirmam que a escolha do nível de probabilidade deve basear-se em uma análise econômica, considerando 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. Doorenbos & Pruitt (1997) consideram que na maioria das regiões irrigadas os níveis de probabilidade estejam entre 75% e 80% sendo inviável economicamente a utilização de probabilidades superiores a 90%, mesmo em condições semiáridas. No Semiárido brasileiro, que apesar do baixo regime de precipitação, apresenta épocas chuvosas nos primeiros meses do ano. O objetivo deste trabalho foi o de analisar a frequência e a distribuição dos dados de evapotranspiração de referência pelo método do tanque classe “A”, na região de Petrolina - PE, e seu ajustamento aos modelos probabilísticos normal e gama.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os dados diários de evaporação, velocidade do vento e umidade do ar registrados na estação meteorológica da área experimental da Embrapa Semiárido, localizada no perímetro irrigado de Bebedouro em Petrolina-PE (latitude 09° 08' 10,4" S, longitude 40° 18' 30,6" W) no período de 1960 a 2013.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi calculada pelo método do tanque classe “A” conforme equação 1 e descritos por Doorenbos e Pruitt (1997), nos 12 meses de cada ano estudado. Posteriormente, foram obtidos os valores para os intervalos de cinco (pentadas), dez (decêndios), quinze (quinzenais) e trinta (mensais) dias para os valores de ET<sub>o</sub>.

$$ET_o = ECA \times Kp \quad (1)$$

em que:

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

ECA - evaporação do tanque (mm dia<sup>-1</sup>);

Kp - coeficiente do tanque classe “A” (adimensional).

Os valores do coeficiente do tanque para as condições de Petrolina foram obtidos com base na tabela proposta por Doorenbos & Pruitt (1977) utilizando-se a equação de regressão ajustada por Snyder (1992):

$$Kp = 0,482 + 0,024 \ln F - 0,000376 U + 0,0045 UR \quad (2)$$

em que:

F - distância da área de bordadura em relação ao centro do tanque (m);

U - velocidade do vento (km h<sup>-1</sup>);

UR - umidade relativa do ar (%).

Para verificar a frequência dos valores de ETo, foram calculados os valores esperados de evapotranspiração de referência com probabilidades de 5, 10, 25, 50, 75, 90 e 95%, utilizando a distribuição normal e a distribuição gama.

A função densidade de probabilidade para a distribuição gama pode ser verificada pela equação 3 (Devore, 2006):

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} & x \geq 0 \\ 0 & \text{Caso contrario} \end{cases} \quad (3)$$

As estimativas dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  foram efetuadas pelo método da máxima verossimilhança, por meio das equações 4 a 8 (Assis et al., 1996):

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (5)$$

em que:

$\alpha$  - parâmetro de forma

$\beta$  - parâmetro de escala da distribuição gama, sendo:

$$A = \ln \bar{X} - X_g \quad (6)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (7)$$

$$X_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x_i) \quad (8)$$

em que:

$\bar{X}$  - média aritmética da amostra;

$X_g$  - média geométrica da amostra;

N - é o número de anos observados.

A função densidade de probabilidade da distribuição normal pode ser representada pela equação 9 (Araújo et al., 2010; Martin et al., 2007):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \text{para } -\infty < +\infty \quad (9)$$

em que:

$\mu$  - média;

$\sigma$  - desvio padrão da variável aleatória;

Para verificar o ajuste das distribuições de probabilidade aos dados de evapotranspiração de referência, foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de significância, conforme equações (Kite, 1978; Back, 2007; Saad et al., 2002):

$$D_n^+ = \max(F_n(x) - F(x)) \quad (10)$$

$$D_n^- = \max(F(x) - F_n(x)) \quad (11)$$

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1, & \text{se } y_i < x, \\ 0, & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad (12)$$

em que:

$F_n(x)$  - é a função distribuição acumulada para  $n$  observações;

$F(x)$  - é a função de distribuição em hipótese.

## RESULTADOS DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontram-se os valores dos desvios máximos entre os valores observados e os valores estimados de evapotranspiração de referência para a distribuição normal e gama. Observa-se que as distribuições estudadas no período de 5 dias não apresentaram ajuste para a maioria dos meses em estudo, rejeitando-se assim a hipótese  $H_0$  ao nível de significância de 5%. Para os demais períodos (10, 15 e 30 dias) as distribuições de frequências estudadas apresentaram um ajuste adequado para o teste de aderência proposto, aceitando-se assim a hipótese  $H_0$  para estas condições. Segundo Silva et al., (1998), em estudos sobre a distribuição e frequência da evapotranspiração em Cruz das Almas-BA, devido a semelhança entre os ajustes das distribuições de frequência com relação ao teste de aderência, estes autores recomendam o uso da distribuição normal, devido a sua maior facilidade de aplicação. Porém, alguns autores como Back (2007) e Saad et al., (2002) recomendam o uso da distribuição beta pois esta apresentou melhores ajustes para as regiões de Urusanga-SC e Piracicaba-SP.

Na Figura 1, estão representados os valores de evapotranspiração de referência calculados para um período acumulado de 15 dias com diferentes níveis de probabilidade para os 12 meses do ano. Observa-se que a maior demanda hídrica foi encontrada para o mês de outubro com valores máximos de 11,86 e 11,71 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição normal (A) e gama (B), com probabilidade de 95%. Os menores valores foram observados para a probabilidade de 5% apresentando 7,47 e 7,46 mm dia<sup>-1</sup> para a distribuição normal e gama, respectivamente. Possivelmente a ausência de chuva neste período contribuiu de maneira significativa para o aumento da ETo, fazendo com que a irrigação seja de grande importância neste período.

A Figura 2 apresenta a evapotranspiração de referência para os diferentes níveis de probabilidade de ocorrência para a distribuição normal em função da duração dos períodos estudados para o mês de outubro. Observa-se que houve uma diminuição dos valores da ETo com o aumento do período estudado. Segundo Jensen (1974), o período de máxima exigência hídrica das culturas anuais irrigadas não deve se restringir a um único dia, devendo ser compreendido entre duas ou três semanas. Com relação à probabilidade a ser utilizada para o uso em projetos de irrigação, diversos trabalhos como Back (2007), Saad et al., (2002) e Fietz et al., (1997) recomendam que o valor da evapotranspiração de referência para o dimensionamento de sistemas de irrigação, seja obtido com 75% de frequência no período de maior demanda de água do ano. Para esta probabilidade os períodos acumulados de 10, 15 e 30 dias (significativos pelo teste de aderência) apresentaram uma ETo de 10,7, 11,06 e 10,64 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo estes valores superiores aos obtidos por Silva et al., (1998) para a região de Cruz das Almas - BA.

Os valores observados para a distribuição gama (Figura 3) foram semelhantes aos observados na distribuição normal (+0,34%, em média) podendo ser ambas as distribuições utilizadas para a determinação da frequência da ETo. Para os períodos acumulados de 10, 15 e 30 dias a distribuição gama apresentou ETo de 10,7, 11,07 e 10,69 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, para a probabilidade de 75%.

## CONCLUSÃO

As distribuições normal e gama foram aptas para representar os dados de evapotranspiração de referência para os períodos acumulados de 10, 15 e 30 dias. A evapotranspiração de referência apresentou tendência de redução de acordo com o aumento do período acumulado, sendo recomendado o período acumulado de 15 dias com probabilidade de 75% para o dimensionamento de sistemas de irrigação para a região de Petrolina-PE.

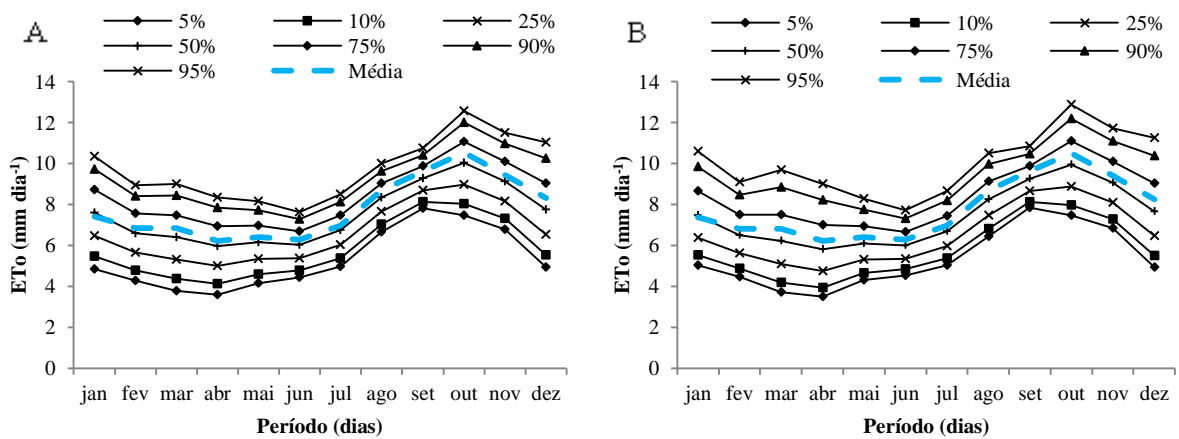
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, E. M.; SILVA, I. N.; OLIVEIRA, J. B.; CAVALCANTE JÚNIOR, 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, 2010.
- ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PREREIRA, A.R. Aplicação de estatística à climatologia. Pelotas, Editora Universitária, Universidade Federal de Pelotas, 1996 161p.
- BACK, A. J. Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n.1, p.139-145, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000100007>
- CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada. Viçosa: Ed. UFV, 2012, 240p.
- DEVORE, J. L. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências. São Paulo: Thomson, 2006. 692p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Crop water requirements. Roma: FAO, 1997. 212p.
- FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.1, n.1, p.24-49, 2007. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v1n100107>
- FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Planejamento de irrigação: Análise de decisão e investimentos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626p.
- FIETZ, C. R.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V.; PINTO, J. M. Probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência na região de Dourados, MS. *Ciência Rural*, v. 27, n.2, p. 207-210, 1997. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84781997000200006>
- JENSEN, M.E. Consumptive use of water and irrigation water requirements. New York: ASCE, 1974. 215 p.
- KITE, G.H. Frequency and risk analyses in hydrology. Fort Collins: Water Resources Publications, 1978. 224 p.
- MARTIN, T. N.; STORCK, L.; DOURADO NETO, D. Simulação estocástica da radiação fotossinteticamente ativa e da temperatura do ar por diferentes métodos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 09, p. 1211-1219, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000900001>
- SAAD, J. C.; BISCARO, G. A.; DELMANTO JÚNIOR, O.; FRIZZONE, J. A. Estudo da distribuição da evapotranspiração de referência visando o dimensionamento de sistemas de irrigação. *Irriga*, v. 7, n. 1, 2002.
- SENTELHAS, P. C.; FOLEGATTI, M. V. Class A pan coefficients (p) to estimate daily reference evapotranspiration. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n.1, p.111-115, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000100018>
- SILVA, F. C.; FIETZ, C. R.; FOLEGATTI, M. V.; PEREIRA, F. A. 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.
- TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Comparison of simplified pan-based equations for estimating reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 136, 137-140, 2010. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000133](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000133)

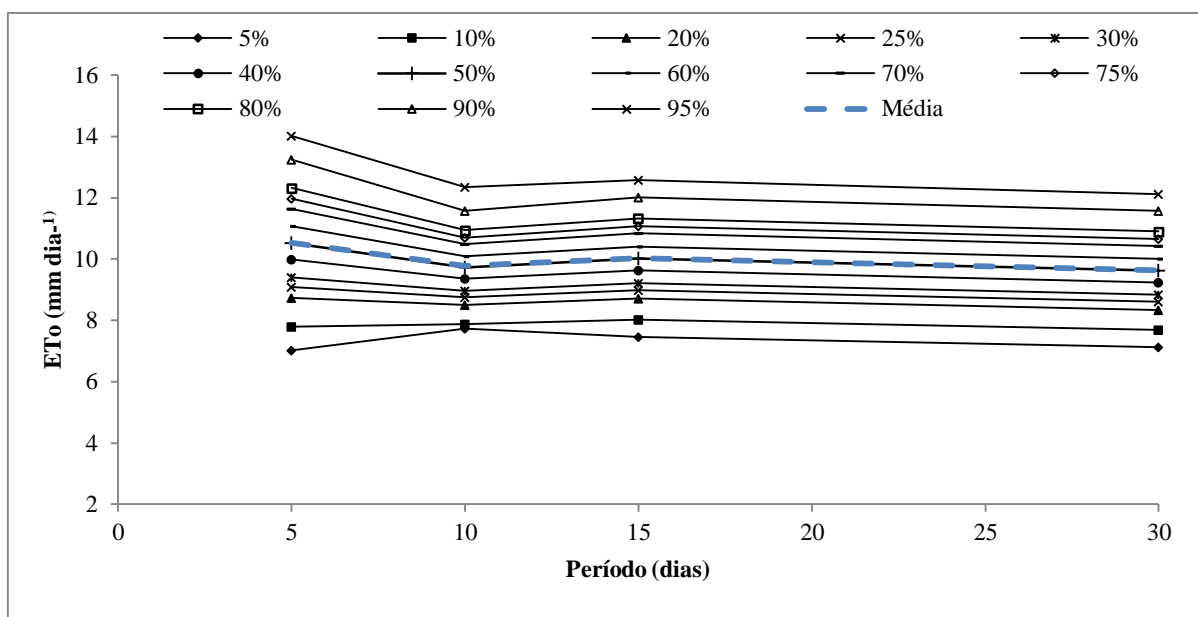
**Tabela 1.** Desvios máximos entre as frequências observadas e as frequências estimadas pela distribuição normal e distribuição gama para valores de evapotranspiração de referência em Petrolina-PE.

Mês	Intervalos (dias)							
	5		10		15		30	
	Normal	Gama	Normal	Gama	Normal	Gama	Normal	Gama
Jan	0,074*	0,122	0,041*	0,054*	0,080*	0,075*	0,098*	0,085*
Fev	0,101	0,086*	0,103	0,070*	0,066*	0,082*	0,142*	0,070*
Mar	0,098	0,075*	0,082*	0,092*	0,056*	0,098*	0,679	0,689
Abr	0,089*	0,064*	0,090*	0,060*	0,084*	0,093*	0,085*	0,070*
Mai	0,102	0,066*	0,035*	0,070*	0,068*	0,043*	0,101*	0,092*
Jun	0,079*	0,055*	0,048*	0,071*	0,062*	0,062*	0,081*	0,070*
Jul	0,127	0,093	0,042*	0,055*	0,074*	0,079*	0,055*	0,064*
Ago	0,151	0,133	0,065*	0,086*	0,092*	0,119*	0,247	0,350
Set	0,207	0,178	0,090*	0,105*	0,112*	0,131*	0,192*	0,232
Out	0,126	0,101	0,113*	0,138	0,050*	0,067*	0,129*	0,152*
Nov	0,064*	0,066*	0,106*	0,122	0,085*	0,110*	0,116*	0,137*
Dez	0,080*	0,114	0,064*	0,094*	0,058*	0,082*	0,078*	0,100*

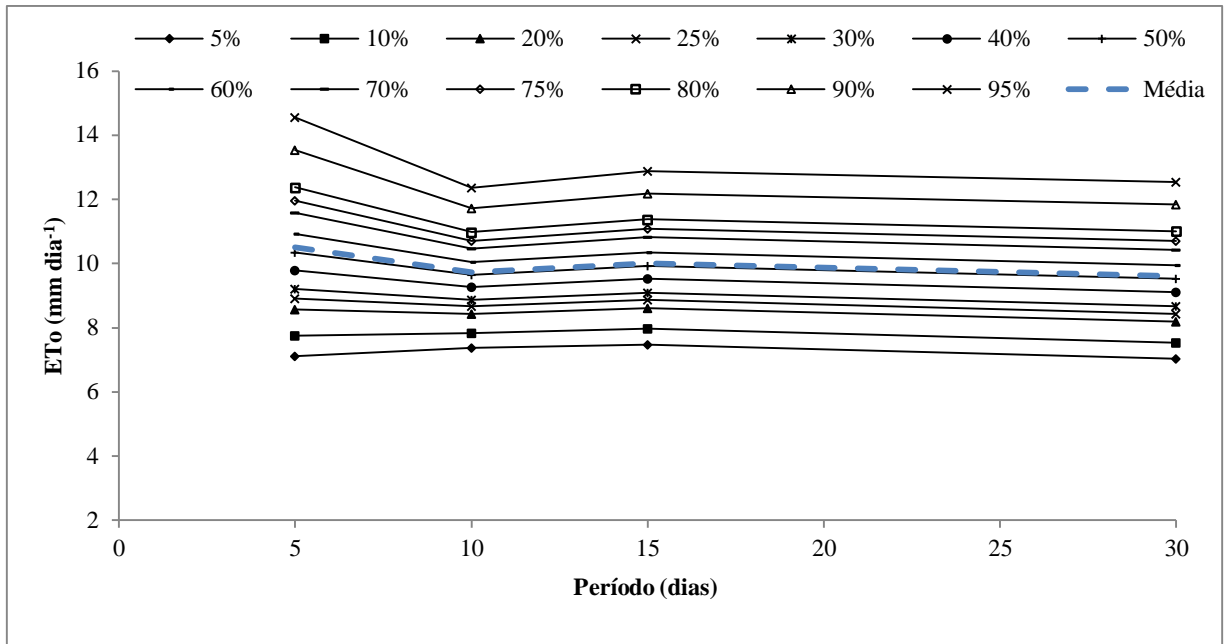
\* significativo a 5%



**Figura 1.** Evapotranspiração de referência calculada em intervalos de 15 dias com probabilidade de 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90% e 95% utilizando a distribuição normal (A) e gama (B), em Petrolina-PE.



**Figura 2.** Evapotranspiração de referência (ETo, mm) para os diferentes níveis de probabilidade de ocorrência para a distribuição normal em função da duração do período para o mês de outubro.



**Figura 3.** Evapotranspiração de referência (ETo, mm) para os diferentes níveis de probabilidade de ocorrência para a distribuição gama em função da duração do período para o mês de outubro.