

## ADEQUAÇÃO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS À EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO SUBMÉDIO DO VALE DO RIO SÃO FRANCISCO

**EDGO JACKSON PINTO SANTIAGO<sup>1</sup>; FRANK GOMES-SILVA<sup>1</sup>; ANTONIO SAMUEL ALVES DA SILVA<sup>1</sup>; JOSÉ RAMON BARROS CANTALICE<sup>1</sup>; MOACYR CUNHA FILHO<sup>1</sup> E JOSÉ DOMINGOS ALBUQUERQUE AGUIAR<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Estatística e Informática-DEINFO, Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada-PPGBEA, Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP: 52.171.900, Recife, Pernambuco, Brasil. [edgoj@hotmail.com](mailto:edgoj@hotmail.com), [franksinatrags@gmail.com](mailto:franksinatrags@gmail.com), [antonio.sasilva@ufrpe.br](mailto:antonio.sasilva@ufrpe.br), [cantalice21@hotmail.com](mailto:cantalice21@hotmail.com), [moacyr2006@gmail.com](mailto:moacyr2006@gmail.com), [aguiar.domingos@gmail.com](mailto:aguiar.domingos@gmail.com).

### 1 RESUMO

A evapotranspiração consiste no processo de perda de água do solo, da planta, e é fundamental para produção vegetal, constituindo uma das principais variáveis agrometeorológicas. Apesar disso, são escassos trabalhos que relacionam adequabilidade de distribuições de probabilidade a dados de evapotranspiração. O objetivo desse trabalho foi testar a aderência de diferentes distribuições de probabilidade a dados de evapotranspiração de referência, selecionando as mais adequadas para este fim. Esse estudo foi realizado com dados de evapotranspiração de referência obtidos pelas estações meteorológicas da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) em Petrolina, PE e Juazeiro, BA. Foram ajustadas as distribuições Gama, Weibull, Log-Normal, Beta, Exponencial, Log-Logística e Log-Logística Exponenciada. Os maiores p-valores foram obtidos para as distribuições Log-Logística e Log-Logística Exponenciada, possivelmente devido à leve assimetria positiva destas aos dados de evapotranspiração. Pelo teste da razão de verossimilhanças, a distribuição Log-Logística Exponenciada adequou-se mais aos meses de janeiro, agosto e dezembro em Juazeiro e Petrolina, somando-se a esta última o mês de novembro. As distribuições Log-Logística e Log-Logística Exponenciada foram as mais adequadas para modelar a evapotranspiração. A partir dessas distribuições, foram estimados valores de evapotranspiração para diferentes níveis de probabilidade, sendo janeiro o mês com maior demanda hídrica provável.

**Palavras-chave:** transpiração, evaporação, demanda hídrica, distribuição log-logística, irrigação.

**SANTIAGO, E. J. P.; GOMES-SILVA, F.; SILVA, A. S. A.; CANTALICE, J. R. B.; CUNHA FILHO, M.; AGUIAR, J. D. A.**

**ADJUSTMENT OF PROBABILISTIC MODELS TO THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE SUB-MEDIUM OF SÃO FRANCISCO RIVER VALLEY**

### 2 ABSTRACT

Evapotranspiration is the process of water loss from soil and plant surfaces, and it is essential for plant production, constituting one of the main agrometeorological variables. Nevertheless,

there are few studies that relate the adequacy of probability distributions to evapotranspiration data. The objective of this work was to test the adherence of different probability distributions to reference evapotranspiration data by selecting the most suitable ones for this purpose. This study was carried out with daily evapotranspiration reference data obtained by the meteorological stations of the Federal University of Vale of São Francisco (UNIVASF) in Petrolina, PE and Juazeiro, BA. The Gamma, Weibull, Log-Normal, Beta, Exponential, Log-Logistics and Exponentiated Log-Logistics distribution were adjusted. The highest p-values were obtained for the Log-Logistics and Exponentiated Log-Logistics distributions. The highest p-values were obtained for the Log-Logistics and Exponentiated Log-Logistics distributions, possibly due to the slight positive asymmetry of those to the evapotranspiration data. By testing the likelihood ratio, the Exponentiated Log-Logistics distribution was more suitable for the months of January, August and December in Juazeiro and Petrolina, adding to the latter the month of November. The Log-Logistics and Exponentiated Log-Logistics distributions were the most suitable to model evapotranspiration. From these distributions, evapotranspiration values were estimated for different levels of probability, with January being the month with the highest probable water demand.

**Keywords:** transpiration, evaporation, water demand, log-logistics distribution, irrigation.

### 3 INTRODUÇÃO

O fenômeno da evapotranspiração é de fundamental importância para produção vegetal, constituindo uma das principais variáveis em pesquisas agrometeorológicas. É relevante para o ciclo hidrológico, manejo de irrigação e gerenciamento de recursos hídricos. Consiste no processo de perda de água do solo e da planta para atmosfera, logo é um parâmetro de grande relevância para o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação (OLIVEIRA et al. 2017).

A importância do conhecimento da quantidade de água necessária às culturas para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação é destacada por Fernandes, Fraga Júnior e Takay (2011). O conhecimento das reais necessidades hídricas dos cultivos torna-se extremamente importante, uma vez que repercute no gerenciamento da água aplicada por irrigação visando sua reposição (SANTIAGO et al., 2016). Apesar disso, a variabilidade dos elementos meteorológicos durante o período de máxima demanda hídrica das culturas irrigadas, acarreta em

considerável dispersão dos valores estimados da evapotranspiração, o que exige uma análise da distribuição de frequência dos valores estimados para fins de dimensionamento de projetos de irrigação. Isso porque alguns critérios para dimensionamento de sistemas de irrigação levam em conta o nível de probabilidade de ocorrência da evapotranspiração e precipitação.

Castro e Leopoldo (1995), Doorenbos e Pruitt (1997) consideram que, na maioria das regiões irrigadas, os níveis de probabilidade estejam entre 75 e 80%. Passos, Raposo e Mendes (2017) recomendam o nível de probabilidade de 75% por apresentar maior confiabilidade, apesar disso afirmam que um nível de 90% pode ser utilizado no dimensionamento para culturas com grande sensibilidade ao déficit hídrico. Ressalta-se ainda que a escolha do nível de probabilidade adotado no dimensionamento de sistema de irrigação, sempre que possível, deverá considerar as exigências hídricas da cultura e seu valor econômico no que tange aos prejuízos resultantes de produção reduzida em decorrência de déficit hídrico ou aumento de

custos para implementar lâminas maiores, bem como a capacidade de água disponível do solo sob o qual se irrigará.

Distribuições de probabilidade aplicadas à evapotranspiração ainda são escassas nas mais diversas regiões do país, neste contexto as distribuições Beta, Normal, Log-Normal e Gama têm aparecido como as mais utilizadas. Apesar disso, ainda não há estudos sobre a adequabilidade de modelos probabilísticos a dados de evapotranspiração para a região do Submédio do Vale do Rio São Francisco. Destarte, o objetivo desse trabalho foi testar a aderência de diferentes distribuições de probabilidade a dados de evapotranspiração de referência, selecionando as mais adequadas para este fim, bem como, estimar valores de evapotranspiração de referência provável para a região de Petrolina, PE e Juazeiro, BA em diferentes níveis de probabilidade.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi realizado com dados diários (2015-2019) de evapotranspiração de referência-ET<sub>o</sub> (mm dia<sup>-1</sup>) obtidos pelas

estações meteorológicas automáticas da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), campus de Juazeiro, BA (latitude: 09°26'56"S, longitude: 40°31'27"W, altitude: 356m) e Petrolina, PE (latitude: 09°19'28"S, longitude: 40°33'34"W, altitude: 393m) localizadas na região do Submédio do Vale do Rio São Francisco.

A caracterização climática da região revela temperaturas mínimas médias que variam de 18,4 a 22,2 °C e máximas médias de 29,6 a 33,9 °C. As menores temperaturas são registradas no mês de julho e as maiores no mês de novembro. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é do tipo BSw<sub>h</sub>, sendo, portanto, um clima semiárido. A precipitação média anual fica entorno de 530 mm, com o período chuvoso concentrado entre os meses de novembro e abril.

Para a estimativa dos valores de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), foram ajustadas as distribuições de probabilidade Gama (G), Weibull (W), Log-Normal (LN), Beta (B), Exponencial (E), Log-Logística (LL) e Log-Logística Exponenciada (LLE), cujas densidades são dadas, respectivamente, por:

$$f_G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}; x > 0 \quad (1)$$

$$f_W(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}; x > 0 \quad (2)$$

$$f_{LN}(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log x - \mu}{\sigma}\right)^2}; x > 0 \quad (3)$$

$$f_B(x) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}; 0 < x < 1 \quad (4)$$

$$f_E(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}}; x \geq 0 \quad (5)$$

$$f_{LL}(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-2} \left(1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right)^{-2}; x > 0 \quad (6)$$

$$f_{LLE}(x) = \frac{\delta\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-2} \left(1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}\right)^{-(\delta-1)} \left(1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}\right)^{-2}; x > 0 \quad (7)$$

Nas Equações (1)-(7),  $x$  representa a evapotranspiração de referência (mm) em escala diária e  $\alpha > 0$ ,  $\beta > 0$ ,  $\delta > 0$ ,  $\sigma > 0$  e  $-\infty < \mu < \infty$  são parâmetros dos respectivos modelos probabilísticos.

A escolha das distribuições supracitadas se deu por já serem aplicadas em outros fenômenos hidrológicos. As estimativas dos parâmetros de todas as distribuições foram feitas pelo método de máxima verossimilhança.

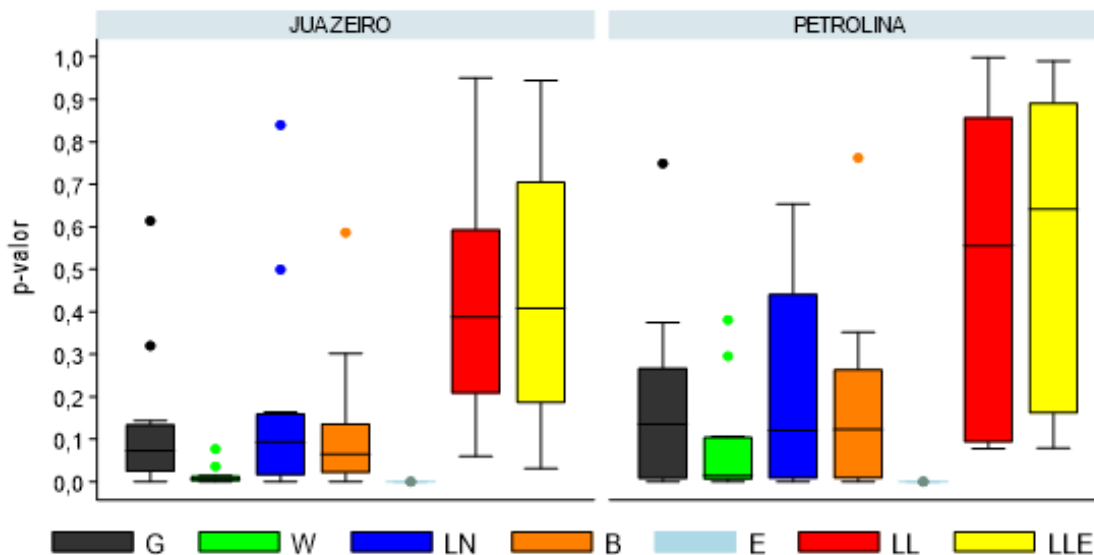
Para verificar a adequabilidade das distribuições aos dados aplicou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%. As distribuições foram comparadas entre si por meio dos p-valores obtidos no teste de aderência, selecionando como distribuições candidatas as mais adequadas para modelar os dados, as que obtinham os maiores p-valores. Além disso, aplicou-se também o critério de informação de Akaike (AIC) e o critério Bayesiano (BIC) bem como o teste da razão de verossimilhanças. As estimativas de evapotranspiração de

referência prováveis foram obtidas para os níveis probabilísticos de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 95%, utilizando para isso as distribuições que melhor se ajustaram aos dados segundo o maior p-valor obtido no teste de aderência.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos boxplot dos p-valores obtidos pelo teste de aderência, ao testar a hipótese de que as distribuições teóricas propostas representam adequadamente a distribuição empírica dos dados em ambas as cidades, são apresentados na Figura 1. Verificou-se que seis das sete distribuições produziram algum p-valor capaz de assegurar a ausência de evidências suficientes para rejeição da hipótese testada, ou seja, p-valor  $> 0,05$ . Dentre aquelas, destacam-se a LL e a LLE, por apresentarem maiores valores médios e medianos tanto em Petrolina quanto em Juazeiro. Por outro lado, a distribuição E não aderiu aos dados de evapotranspiração de referência.

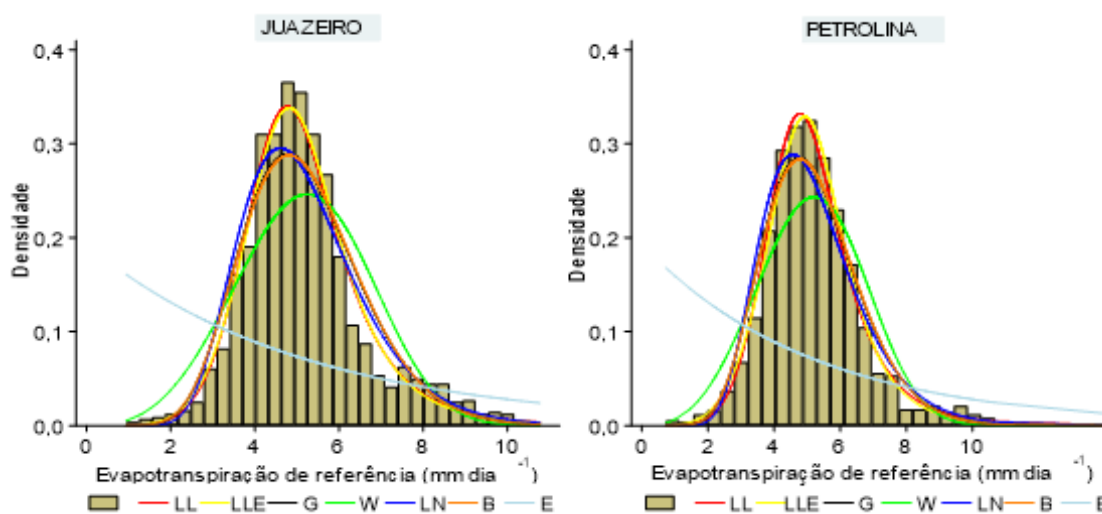
**Figura 1.** Boxplot dos p-valores obtidos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%. Cada caixa mostra a faixa interquartil, as linhas paralelas ao eixo das abscissas mostram, respectivamente, o máximo, a mediana, o mínimo e as bolas indicam valores extremos.



É possível que os bons resultados das distribuições LL e LLE devam-se à leve assimetria positiva dessas distribuições aos dados de ETo (Figura 2). Isso porque a forma da função densidade da LL pode, assim como da LN, ter formato de sino e ser simétrica, mas pode ser assimétrica com caldas mais espessas. O mesmo pode

acontecer com a LLE, porém com maior flexibilidade por conta do parâmetro adicional ( $\delta$ ). Tais fatos proporcionaram adequada representação dos dados e obtenção de p-valores superiores a 0,05 o que, conseqüentemente, conduziu a uma maior aceitação destas distribuições.

**Figura 2.** Frequências da evapotranspiração de referência sobrepostas pelas funções densidade de probabilidade estudadas no município de Petrolina, PE e Juazeiro, BA no período de 2015 a 2019.



Na Tabela 1, são apresentados os p-valores resultantes do teste de aderência, nela verifica-se que, com exceção da distribuição E, as demais distribuições aderiram aos dados. Segundo o maior p-valor, as distribuições LL e sua versão exponenciada (LLE), alternaram-se como as que mais frequentemente produziram melhores resultados de aderência. Comportamento verificado para os dois municípios estudados, provavelmente pela

proximidade de ambas, já que são vizinhas, separadas apenas pelo Rio São Francisco e, portanto, experimentam sinoticamente as mesmas manifestações atmosféricas.

Observou-se que a distribuição LL gerou evidências mais robustas (maiores p-valores) para a não rejeição da hipótese nula em sete meses em Juazeiro e cinco meses em Petrolina. Mesmo número foi obtido para a distribuição LLE em Petrolina e Juazeiro, respectivamente.

**Tabela 1.** p-valores mensais do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a uma probabilidade máxima de erro tipo I de 5%.

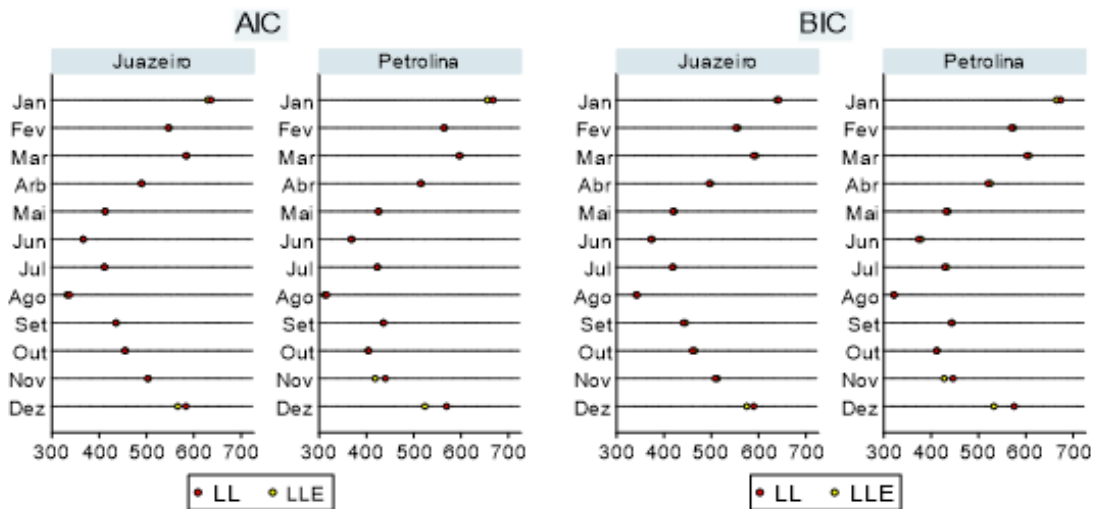
Cidade	Mês	Distribuições de probabilidade						
		G	W	LN	B	E	LL	LLE
Juazeiro	Jan	0,127	0,013	0,022	0,143	<0,001	0,253	0,235
	Fev	0,067	0,004	0,157	0,058	<0,001	0,415	0,415
	Mar	0,002	<0,001	0,009	0,001	<0,001	0,105	0,097
	Abr	0,001	<0,001	0,006	0,001	<0,001	0,161	0,136
	Mai	0,614	0,036	0,840	0,587	<0,001	0,950	0,841
	Jun	0,320	0,012	0,499	0,302	<0,001	0,911	0,944
	Jul	0,079	0,001	0,164	0,073	<0,001	0,686	0,664
	Ago	0,124	0,077	0,064	0,131	<0,001	0,378	0,748
	Set	0,044	0,001	0,093	0,039	<0,001	0,313	0,345
	Out	0,051	0,001	0,104	0,046	<0,001	0,396	0,402
	Nov	0,143	0,006	0,094	0,132	<0,001	0,502	0,482
	Dez	<0,001	0,014	<0,001	<0,001	<0,001	0,060	0,031
Petrolina	Jan	0,050	0,007	0,008	0,045	<0,001	0,078	0,148
	Fev	0,070	0,003	0,203	0,058	<0,001	0,649	0,635
	Mar	0,001	<0,001	0,007	0,001	<0,001	0,087	0,079
	Abr	0,002	<0,001	0,010	0,002	<0,001	0,093	0,090
	Mai	0,375	0,045	0,654	0,352	<0,001	0,858	0,930
	Jun	0,308	0,016	0,520	0,291	<0,001	0,927	0,928
	Jul	0,202	0,006	0,364	0,188	<0,001	0,858	0,857
	Ago	0,227	0,107	0,133	0,238	<0,001	0,603	0,856
	Set	0,200	0,013	0,108	0,191	<0,001	0,509	0,520
	Out	0,749	0,296	0,574	0,762	<0,001	0,999	0,990
	Nov	0,011	0,381	0,003	0,013	<0,001	0,498	0,647
	Dez	<0,001	0,104	<0,001	<0,001	<0,001	0,093	0,172

Gama (G), Weibull (W), Log-Normal (LN), Beta (B), Exponencial (E), Log-Logística (LL), Log-Logística Exponenciada (LLE).

Na Figura 3, são apresentados os critérios AIC e BIC de bondade de ajustes para as distribuições LL e LLE, já que são modelos aninhados e apresentaram os maiores p-valores. Observa-se que os valores de AIC foram bem próximos para

ambas às distribuições, obtendo o modelo LL menores valores nos meses de fevereiro, março, abril, maio, setembro, outubro e novembro em Juazeiro e no primeiro semestre em Petrolina.

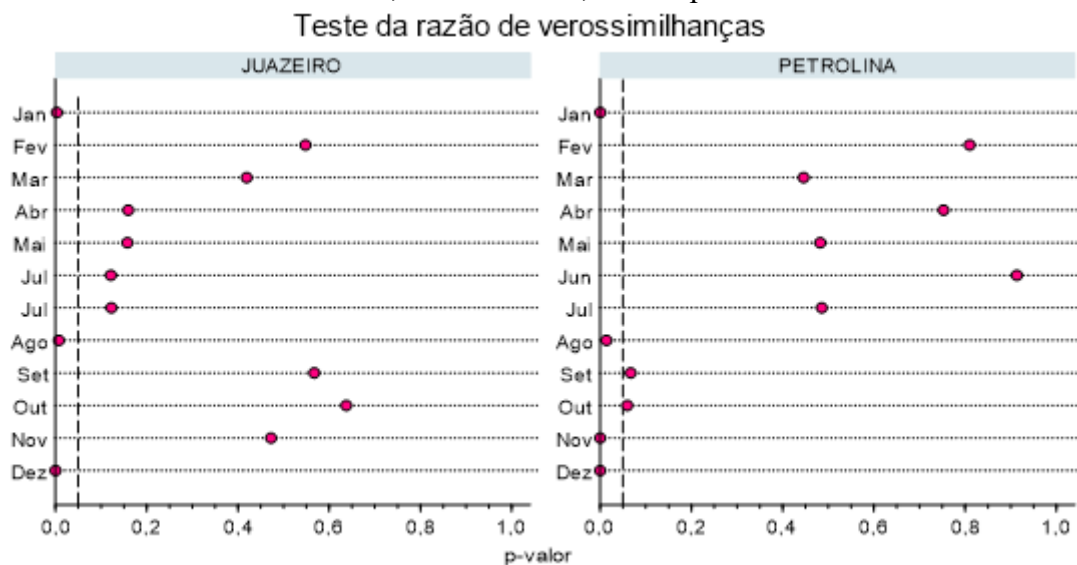
**Figura 3.** Valores de AIC e BIC para as distribuições de probabilidade LL e LLE em Petrolina, PE e Juazeiro, BA no período de 2015 a 2019.



Já para os valores de BIC, a distribuição LLE produziu menores valores em janeiro, agosto e dezembro em Juazeiro e Petrolina somando-se a esta última o mês

de novembro. Mesmo resultado obtido pelo teste da razão de verossimilhanças (Figura 4).

**Figura 4.** Teste da razão de verossimilhanças para comparar as distribuições de probabilidade LL e LLE em Petrolina, PE e Juazeiro, BA no período de 2015 a 2019.



O critério Bayesiano (BIC) é especialmente útil para selecionar modelos, pois penaliza aqueles com maior grau de liberdade, ou seja, com maior quantidade de parâmetros. Na prática, segundo esse critério, tanto a distribuição LL quanto a LLE foram adequadas, não havendo uma que tenha sobressaído hegemonicamente, já que ambas, quando comparadas em cada mês e cidade, apresentaram menores valores em alguns meses e em outros não. Apesar disso, nos meses em que uma distribuição não se adequou, a outra se destacava, e vice-versa.

As estimativas dos parâmetros das distribuições LL e LLE bem como as estimativas da ETo em diferentes níveis probabilísticos mostram que, as maiores taxas médias de ETo (Tabela 2) ocorreram nos meses de outubro a janeiro

(primavera/verão) em ambas as cidades. Isso deve-se à alta oferta de radiação solar, baixa umidade relativa do ar, vento moderado e à ausência ou escassa ocorrência de chuvas na região nesse período do ano.

Dentre os elementos meteorológicos que afetam a taxa evapotranspiratória, tanto a temperatura média do ar quanto a radiação solar são variáveis com maior influência sobre a evapotranspiração de referência. Segundo Lemos Filho et al. (2010), somam-se àquelas a umidade relativa do ar e o vento. De acordo com Santiago et al. (2016), a região de Juazeiro e Petrolina é caracterizada por alta incidência de radiação solar e, conseqüentemente, maior disponibilidade de calor sensível para o processo de evapotranspiração, sobretudo nos períodos secos.



**Tabela 2.** Estimativas dos parâmetros das distribuições LL e LLE bem como da evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>) em diferentes níveis probabilísticos.

Cidade	Mês	Estimativas			Nível de probabilidade (%) - p(X ≤ xi)											
		$\alpha$	$\beta$	$\delta$	Média	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	
<b>Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)</b>																
Juazeiro	Jan	5,70	5,38	-	5,8	3,8	4,4	4,9	5,3	5,7	6,2	6,7	7,4	8,6	9,9	
	Fev	5,03	5,60	0,87	5,1	3,2	3,7	4,1	4,5	4,8	5,2	5,7	6,3	7,2	8,3	
	Mar	4,95	5,79	-	5,3	3,4	3,9	4,3	4,6	4,9	5,3	5,7	6,3	7,2	8,2	
	Abr	4,76	7,22	-	5	3,5	3,9	4,2	4,5	4,8	5,0	5,4	5,8	6,5	7,2	
	Mai	4,40	8,74	-	4,5	3,4	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,2	5,7	6,2	
	Jun	3,72	7,81	1,74	4,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,8	5,3	5,8	
	Jul	4,36	8,76	-	4,5	3,4	3,7	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,1	5,6	6,1	
	Ago	5,12	16,51	0,51	4,7	3,9	4,2	4,5	4,6	4,8	4,9	5,1	5,3	5,6	5,9	
	Set	5,24	9,16	1,15	5,5	4,3	4,6	4,9	5,1	5,4	5,6	5,9	6,2	6,8	7,3	
	Out	5,63	9,82	1,11	5,8	4,6	5,0	5,3	5,5	5,7	5,9	6,2	6,6	7,1	7,7	
	Nov	5,81	8,25	-	5,9	4,5	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,9	7,6	8,3	
	Dez	5,58	6,50	-	5,6	4,0	4,5	4,9	5,2	5,6	5,9	6,4	6,9	7,8	8,8	
Petrolina	Jan	6,86	7,01	0,47	5,9	3,4	4,2	4,8	5,3	5,8	6,2	6,7	7,4	8,4	9,3	
	Fev	4,86	5,01	-	5,2	3,1	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,8	6,4	7,5	8,7	
	Mar	4,98	5,60	-	5,3	3,4	3,9	4,3	4,6	5,0	5,4	5,8	6,4	7,4	8,4	
	Abr	4,69	6,50	-	4,9	3,3	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,8	6,6	7,4	
	Mai	4,24	7,85	1,23	4,5	3,4	3,7	4,0	4,2	4,4	4,6	4,9	5,2	5,8	6,3	
	Jun	4,33	8,35	-	4,2	3,3	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,8	5,1	5,6	6,2	
	Jul	4,17	7,79	1,24	4,5	3,4	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,8	5,1	5,7	6,3	
	Ago	5,15	17,46	0,53	4,8	4,0	4,3	4,6	4,7	4,9	5,0	5,2	5,3	5,6	5,9	
	Set	5,67	11,24	0,67	5,4	4,2	4,6	4,9	5,2	5,4	5,6	5,8	6,2	6,6	7,1	
	Out	5,70	11,74	-	5,8	4,8	5,1	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,5	7,0	7,4	
	Nov	6,62	18,65	0,33	5,9	4,6	5,1	5,5	5,7	6,0	6,2	6,4	6,6	7,0	7,3	
	Dez	6,68	15,24	0,26	5,5	3,7	4,4	4,9	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	7,0	7,4	

Legenda:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\delta$  são parâmetro das distribuições: Gama (G), Weibull (W), Log-Normal (LN), Beta (B), Exponencial (E), Log-Logística (LL) e Log-Logística Exponenciada (LLE).

Nota-se ainda que as ETo médias apresentaram probabilidade de ocorrência entre 50% e 60%, ou seja, espera-se em geral que a evapotranspiração de referência média ocorra numa frequência que vai de um a cada dois dias até seis de cada dez dias. Neste contexto, a utilização de valores médios de ETo para estimar o consumo hídrico de uma cultura de interesse na região de estudo, poderá levar a um acúmulo de déficit hídrico e reduzir drasticamente a produção da

mesma. Além disso, a utilização de valores médios pode comprometer o zoneamento agrícola de risco climático ao mascarar riscos de deficiência hídrica e, quando utilizado como referência do período mais crítico e de máxima demanda para dimensionamento hidráulico de sistemas de irrigação, poderá comprometê-lo, já que não atenderá a real demanda hídrica da cultura agrícola.

A utilização da média para dimensionamento pode gerar subdimensionamento de sistemas de irrigação resultando em prejuízos (COAN; BACK; BONETTI, 2014). Segundo Silva et al. (2013), o valor médio ocorre normalmente entre 40 e 50% de probabilidade e para Passos, Raposo e Mendes (2017), o valor médio não deve ser adotado como parâmetro no planejamento de sistemas de irrigação.

Verifica-se que para culturas de grande valor econômico, como é o caso da uva, o dimensionamento hidráulico de sistemas de irrigação deverá considerar como período de máxima demanda hídrica o mês de janeiro, para o qual é esperado com 90% de probabilidade, ETo de até 8,6 e 8,4 mm dia<sup>-1</sup> para os municípios de Juazeiro e Petrolina, respectivamente.

## 6 CONCLUSÃO

As distribuições Log-Logística e Log-Logística Exponenciada, mostraram-se como as mais adequadas para modelar a evapotranspiração de referência e fazer estimativas desta em diferentes níveis de probabilidade nos municípios de Juazeiro, BA e Petrolina, PE.

O mês de janeiro apresentou a maior demanda hídrica provável na região de Juazeiro, BA e Petrolina, PE.

## 7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## 8 REFERÊNCIAS

- CASTRO, R.; LEOPOLDO, P. R. Ajuste da distribuição gama incompleta na estimativa da precipitação pluviométrica provável para os períodos de 15 e 10 dias da cidade de São Manuel (SP). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 20-28, 1995.
- COAN, B. P.; BACK, A. J.; BONETTI, A. V. Precipitação mensal e anual provável no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 15, n. 10, p. 122-142, 2014.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Roma: FAO, 1997. 212 p.
- FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 270-276, 2011.
- LEMONS FILHO, L. C.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1294-1303, 2010.
- OLIVEIRA, G. M.; SANTIAGO, E. J. P.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; ROCHA, R. C.; GONÇALVES, I. S.; SILVA, R. R. Estimativa da evapotranspiração de referência para ambiente protegido. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 21-30, 2017.

PASSOS, M. L. V.; RAPOSO, A. B.; MENDES, T. J. Estimativa da distribuição da precipitação pluviométrica provável em diferentes níveis de probabilidade de ocorrência. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 1, p. 1106-1115, 2017.

SANTIAGO, E. J. P.; OLIVEIRA, G. M.; SILVA, R. R.; OLIVEIRA, V. E. A.; GONÇALVES, I. S. Ajuste da equação de Hargreaves e Samani a partir de dados lisimétricos para o município de Juazeiro, BA. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 108-114, 2016.

SILVA, E. S.; ZAVISLAK, F. D.; DALLACORT, R.; CARVALHO, M. A. C.; ARAUJO, D. V. Distribuição de probabilidade de chuva no município de Sapezal, MT. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1112-1122, 2013.