

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO PROVÁVEL DE VIDEIRA, SANTA CATARINA

Álvaro José Back¹ & Márcio Sônego²

Abstract: Knowledge of evapotranspiration is important for estimating water demand as well as for planning and managing water resources. When sizing irrigation systems, the most critical condition of water demand should be considered. This study aimed to determine the probable evapotranspiration in Videira, SC. Daily data from the period 1983 to 2016 from the Videira meteorological station were used. Based on the daily data, ETo was calculated by the Penman-Monteith method. The Normal, Log-Normal, Gamma and Beta probability distributions were tested with parameters estimated by the Method of Moments. The adherence of the mean ETo data for each pentad was evaluated with the Kolmogorov-Smirnov test and the performance of each distribution was evaluated by the criterion of smallest standard error of estimate. The monthly ETo ranged from 37.9 mm in June to 132.1 mm in December, with an annual total of 1023 mm. Daily ETo ranged from 0.65 mm/day to 6.40 mm/day and 80% of the pentadal series can be classified as approximately symmetrical. The Beta distribution was shown to be the most suitable for estimating probable ETo. ETo values were calculated with different levels and probabilities, and ETo values with probability levels of 75 to 90% were indicated for irrigation projects..

Resumo: O conhecimento da evapotranspiração é importante para estimativa da demanda hídrica bem como para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. No dimensionamento dos sistemas de irrigação deve-se considerar a condição mais crítica da demanda hídrica. Este trabalho teve como objetivo determinar a evapotranspiração provável em Videira, SC. Foram utilizados os dados diários do período de 1983 a 2016, da estação meteorológica de Videira. Com base nos dados diários foi calculada a ETo pelo método de Penman-Monteith. Foram testadas as distribuições de probabilidades Normal, Log-Normal, Gama e Beta com parâmetros estimados pelo Método dos Momentos. A aderência dos dados médios de ETo para cada pêntada foi avaliada com o teste de Kolmogorov-Smirnov e o desempenho de cada distribuição foi avaliado pelo critério de menor erro padrão de estimativa. A ETo mensal variou de 37,9 mm em junho à 132,1 mm em dezembro, com total anual de 1023 mm. ETo diária variou de 0,65 mm/dia a 6,40 mm/dia e 80% das séries pentadais podem ser classificadas como aproximadamente simétricas. A distribuição Beta se mostrou mais indicada para a estimativa da ETo provável. Foram calculados os valores de ETo com diferentes níveis e probabilidade, sendo indicados para projetos de irrigação valores de ETo com níveis de probabilidade e 75 a 90%.

Palavras-Chave – Irrigação; demanda hídrica; gestão.

1) Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). Rodovia SC 108, km 353, nº1563, Bairro da Estação, Urussanga, SC, CEP 88840-000, fone: (48) 3403-1382; e-mail: ajb@epagri.sc.gov.br

2) Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). Rodovia SC 108, km 353, nº1563, Bairro da Estação, Urussanga, SC, CEP 88840-000, fone: (48) 3403-1369; e-mail: sonego@epagri.sc.gov.br

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é um componente do ciclo hidrológico diretamente relacionado com a demanda hídrica, e dessa forma, o conhecimento da magnitude e variação sazonal da evapotranspiração é de grande importância para a caracterização climática, estimativa da necessidade de irrigação bem como para o planejamento e gestão dos recursos hídricos (Allen *et al.*, 1998).

Como a determinação de evapotranspiração é difícil e trabalhosa (Cruz *et al.*, 2017), e considerando que os principais fatores que atuam sobre a evapotranspiração são os fatores meteorológicos, a prática comum adotada é estimar a ETo a partir das variáveis climáticas. Nesse sentido foram desenvolvidos vários métodos para estimar a ETo e a escolha do método a ser usado depende principalmente da disponibilidade de séries históricas do local de estudo (Shiri *et al.*, 2014).

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) recomenda a equação de Penman-Monteith (PM-FAO 56) como padrão, pois os resultados indicaram que o método de PM-FAO 56 apresenta estimativas mais seguras comparadas aos dados de lisímetros (Allen *et al.*, 1998).

Os valores médios de evapotranspiração são normalmente usados para a caracterização climática de uma região. No entanto, para efeito de dimensionamento dos sistemas de irrigação, deve-se considerar a demanda nos períodos de máxima exigência hídrica, com baixo risco de ser superado. Costa *et al.* (2021) ressaltam que a utilização de valores médios de ETo podem resultar em erros no dimensionamento de projeto agrícolas, recomendando o uso de ETo com determinado nível de probabilidade.

A região do Vale do Rio do Peixe é uma importante região agrícola de Santa Catarina, com destaque para fruticultura (uva, pêssego, ameixa) e grãos, onde se observa o aumento da demanda por projetos de irrigação. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar a evapotranspiração de referência para a região de Videira visando subsidiar estudos de gestão de recursos hídricos e o dimensionamento de sistemas de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesse trabalho foram utilizados os dados diários da estação meteorológica de Videira, do período de 01/01/1983 a 30/11/2016. A estação está localizada na latitude $-27,03^{\circ}$, longitude $-51,15^{\circ}$, altitude 774m. Foram usados os valores diários de temperatura máxima, temperatura mínima, velocidade do vento, umidade relativa e insolação.

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi calculada pelo método de Penman-Monteith FAO, seguindo as recomendações de Allen *et al.* (1998) possuindo a seguinte notação:

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

Em que: ET_0 = evapotranspiração de referência (mm.d^{-1}); R_n = saldo de radiação à superfície ($\text{MJ.m}^{-2}.d^{-1}$); G = fluxo de calor sensível no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.d^{-1}$); 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 ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$).

O saldo de radiação de ondas curtas foi calculado considerado a refletância de 23% ($r = 0,23$) e os parâmetros da equação de Angstrom respectivamente dados por $\alpha = 0,25$ e $\beta = 0,50$ (Allen *et al.*, 1998) e o fluxo de calor no solo foi desprezado ($G = 0$).

Para a estimativa da ETo provável foram testadas as distribuições de probabilidades mais indicadas para dados de evapotranspiração que são Normal, Log-normal, Gama e Beta (Saad e Scaloppi, 1998). Os parâmetros das distribuições foram ajustados pelo Método dos Momentos.

A função densidade de probabilidade da distribuição normal é dada por:

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

sendo: μ o parâmetro de locação, dado pela média, e σ o parâmetro de escala da distribuição, dado pelo desvio padrão.

A distribuição Log-Normal tem função densidade de probabilidade dada por:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln x - \mu_y]^2}{2\sigma_y^2}} \quad 0 < x < \infty \quad (3)$$

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

A distribuição Gama tem como função densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} x^{\beta-1} e^{-x/\alpha} \quad 0 < x < \infty \quad (4)$$

Em que α e β são os parâmetros da distribuição e $\Gamma(\beta)$ é a função gama.

Os parâmetros são estimados por:

$$\alpha = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}^2}{s^2} \quad (6)$$

A distribuição Beta tem como função densidade de probabilidades:

$$f(x) = \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^{p-1} \left(1 - \frac{x-a}{b-a} \right)^{q-1} \quad (7)$$

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 estimativa dos parâmetros da distribuição foi realizada utilizando o método dos momentos:

$$p = \frac{m_1 \beta}{(1-m_1)} \quad (8)$$

$$q = (1 - m_1) \left[\frac{m_1 - m_1^2}{m_2} - 1 \right] \quad (9)$$

onde m_1 é o momento de ordem 1 para a variável x'; m_2 é o momento de ordem 2 para a variável x'; transformada pela expressão:

$$x' = \frac{x-a}{b-a} \quad (10)$$

A aderência dos dados às distribuições ajustadas para cada pêntada foi testada pelo teste Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância e 5%. Para selecionar a melhor distribuição utilizou-se o critério de menor erro padrão de estimativa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 constam os valores médios mensais das variáveis climáticas usadas no cálculo da ET₀, com os valores médios mensais de ET₀. Também constam os valores médios mensais de ET₀ estimados com as equações de regressão apresentadas por Massignam e Pandolfo (2006) e Wrege *et al.* (2012), que são normalmente usados nos estudos de caracterização climática da região. Constatam-se diferenças variando de 10 a 40%, especialmente nos meses de agosto a dezembro. Essas diferenças devem-se principalmente pelo método usado na estimativa de ET₀, uma vez que tanto Massignam e Pandolfo (2006) como Wrege et al. (2012) calcularam a ET₀ com o método de Thornthwaite, usando somente as temperaturas médias mensais e posteriormente ajustaram uma equação de regressão para estimativa de ET₀ baseado nas coordenadas (latitude, longitude e altitude). As diferenças nas médias das variáveis climáticas usadas no diferentes estudos, com aumento da temperatura média e redução da umidade relativa observada nas séries mais recentes, também explica parte das diferenças observadas dos valores de ET₀.

Tabela 1 - Valores médios mensais de temperatura média do ar (Tm), umidade relativa (UR) velocidade do vento (Vel), insolação (Ins) e Evapotranspiração de referência (ET₀) calculada e valores médios usados para Videira, SC.

Mês	Tm (°C)	UR (%)	Vel (m s ⁻¹)	Ins. (h)	ET ₀ (mm)	ET ₀ ¹ (mm)	ET ₀ ² (mm)
Janeiro	23,0	73,3	0,81	6,41	129,2	111,3	110,1
Fevereiro	22,9	76,5	0,73	5,94	106,2	94,8	93,9
Março	21,7	76,1	0,74	6,15	100,8	90,6	88,4
Abril	19,1	78,5	0,70	5,41	70,1	64,8	61,2
Maio	15,4	80,3	0,65	4,74	48,1	44,1	44,1
Junho	14,2	80,3	0,64	4,54	37,9	34,0	33,6
Julho	13,9	77,9	0,75	4,97	43,6	34,8	33,9
Agosto	15,6	73,6	0,83	5,74	61,3	44,7	43,0
Setembro	16,6	72,8	0,92	5,23	75,0	52,3	51,7
Outubro	19,2	72,5	0,90	5,50	99,9	61,0	70,1
Novembro	20,8	69,1	0,91	6,67	118,8	85,5	84,0
Dezembro	22,3	70,6	0,86	6,81	132,1	106,9	103,3
Ano	18,7	75,1	0,79	5,68	1023,0	824,0	816,9 835,7

¹ET₀ segundo Wrege *et al.* (2012); ²ET₀ segundo Massignam e Pandolfo (2006)

Na Tabela 2 constam as estatísticas descritivas dos valores de ET₀ de Videira para cada pêntada, em que a ET₀ variou de 0,65 mm/dia a 6,40 mm/dia. As médias pentadais variam de 1,21 a 4,38 mm/dia, com coeficiente de assimetria variando de -0,62 a 0,93. Constatou-se que 29% das pêntadas apresentaram assimetria positiva, sendo que 80% das pêntadas apresentaram assimetria de -0,5 a 0,5, que podem ser classificados como aproximadamente simétricas (Alam *et al.*, 2018).

Tabela 2 - Estatística descritiva da ET₀ (mm/dia) por pêntadas de Videira, (SC).

Pen.	Maior	Menor	Média	DP ¹	CA ²	Pen.	Maior	Menor	Média	DP ¹	CA ²
1	6,03	2,22	4,26	0,97	-0,39	37	2,51	0,79	1,33	0,32	0,83
2	6,09	2,16	4,26	1,04	-0,39	38	2,32	0,75	1,26	0,27	0,43
3	6,03	2,21	4,18	0,97	-0,28	39	2,58	0,76	1,42	0,33	0,30
4	5,85	2,14	4,25	0,99	-0,39	40	2,99	0,67	1,36	0,37	0,93
5	6,00	2,08	4,06	1,01	-0,17	41	3,10	0,71	1,44	0,37	0,86
6	5,82	2,19	4,02	0,98	-0,16	42	2,84	0,87	1,59	0,40	0,32
7	5,68	2,13	4,09	0,94	-0,36	43	2,54	0,82	1,67	0,38	-0,37
8	5,72	1,93	3,85	0,92	-0,26	44	2,96	0,81	1,77	0,45	-0,07
9	5,22	2,06	3,75	0,92	-0,17	45	3,70	0,93	1,98	0,50	0,15
10	5,58	2,02	3,77	0,84	-0,24	46	3,81	1,03	1,99	0,57	0,09
11	5,47	1,86	3,46	0,83	0,04	47	3,17	1,03	2,14	0,54	-0,24
12	5,16	1,77	3,59	0,84	-0,36	48	3,68	0,96	2,26	0,56	-0,39
13	5,17	1,85	3,63	0,83	-0,53	49	3,41	1,20	2,31	0,57	-0,08
14	4,87	1,84	3,56	0,73	-0,51	50	4,59	1,17	2,52	0,69	-0,17
15	4,78	1,67	3,34	0,67	-0,54	51	4,31	1,13	2,41	0,75	0,17
16	4,73	1,67	3,23	0,76	-0,59	52	4,23	1,33	2,52	0,72	-0,04
17	4,40	1,61	2,97	0,71	-0,38	53	4,03	1,36	2,61	0,75	-0,10
18	4,16	1,46	2,86	0,68	-0,3	54	4,50	1,44	2,63	0,81	0,10
19	3,97	1,27	2,74	0,63	-0,4	55	4,27	1,54	2,91	0,83	-0,24
20	3,76	1,43	2,62	0,55	-0,28	56	4,74	1,49	3,05	0,85	-0,22
21	3,78	1,28	2,38	0,62	-0,22	57	5,16	1,60	3,05	0,92	0,05
22	3,3	1,23	2,23	0,52	-0,21	58	5,43	1,65	3,18	0,94	-0,05
23	3,01	1,23	2,08	0,49	-0,3	59	4,91	1,72	3,39	0,95	-0,25
24	2,96	1,10	1,97	0,44	-0,28	60	5,48	1,82	3,66	0,95	-0,41
25	2,92	1,03	1,82	0,42	-0,21	61	5,72	1,76	3,60	1,03	-0,18
26	2,69	0,96	1,67	0,37	-0,17	62	5,45	1,91	3,82	1,00	-0,44
27	2,35	0,88	1,57	0,34	0,15	63	5,89	1,83	3,85	0,99	-0,27
28	2,34	0,77	1,48	0,31	0,11	64	5,90	2,07	4,11	0,93	-0,62
29	2,3	0,77	1,47	0,32	-0,05	65	5,78	2,04	4,12	0,95	-0,56
30	2,21	0,82	1,33	0,29	0,36	66	6,26	2,05	4,26	1,01	-0,59
31	2,11	0,76	1,30	0,29	0,52	67	6,03	2,00	4,28	1,06	-0,61
32	2,02	0,72	1,29	0,28	0,19	68	6,40	2,19	4,22	1,07	-0,30
33	1,92	0,65	1,28	0,29	0,07	69	5,86	2,01	4,15	0,98	-0,45
34	1,98	0,69	1,24	0,28	0,24	70	6,11	2,25	4,38	1,00	-0,60
35	2,40	0,68	1,21	0,29	0,63	71	6,00	2,07	4,32	0,98	-0,49
36	2,32	0,71	1,26	0,29	0,49	72	5,79	2,29	4,22	1,03	-0,33

¹DP – Desvio padrão (mm/da); ²CA – Coeficiente de assimetria

Na Tabela 3 constam os valores do erro padrão de estimativa e as estatísticas do teste KS. Observa-se que, para as distribuições Normal, Log-Normal, Gama e Beta, respectivamente 19, 51, 44 e 9 pêntadas apresentaram valores de KS superiores aos valores críticos ao nível de significância de 5%, indicando a rejeição da hipótese que a distribuição ajustada representa os dados observados.

Tabela 3 - Teste de Kolmogorov-Smirnov e erro padrão de estimativa de ETo pentadal de Ituporanga para diferentes distribuições de probabilidades

Pêntada	Teste Kolmogorov-Smirnov					Erro padrão de estimativa (mm)				
	Normal	Log-Normal	Gama	Beta	KS ¹	Normal	Log-Normal	Gama	Beta	
1	0,098	0,113	0,117	0,067	0,105	0,190	0,341	0,259	0,107	
2	0,101	0,136	0,126	0,068	0,106	0,201	0,374	0,277	0,121	
3	0,097	0,119	0,117	0,059	0,107	0,169	0,304	0,231	0,099	
4	0,092	0,128	0,121	0,049	0,106	0,183	0,343	0,256	0,074	
5	0,075	0,108	0,102	0,048	0,106	0,157	0,294	0,217	0,069	
6	0,083	0,086	0,094	0,048	0,096	0,159	0,280	0,210	0,076	
7	0,096	0,134	0,125	0,062	0,105	0,183	0,324	0,248	0,081	
8	0,072	0,103	0,092	0,062	0,104	0,143	0,278	0,204	0,093	
9	0,086	0,109	0,104	0,036	0,104	0,184	0,293	0,230	0,037	
10	0,086	0,095	0,101	0,078	0,104	0,116	0,225	0,167	0,099	
11	0,061	0,083	0,067	0,051	0,104	0,106	0,170	0,127	0,060	
12	0,117	0,167	0,149	0,111	0,129	0,150	0,270	0,205	0,120	
13	0,110	0,151	0,140	0,089	0,104	0,187	0,322	0,245	0,138	
14	0,115	0,145	0,140	0,077	0,105	0,143	0,254	0,195	0,085	
15	0,092	0,128	0,116	0,078	0,105	0,120	0,219	0,166	0,115	
16	0,130	0,156	0,156	0,105	0,105	0,193	0,326	0,248	0,167	
17	0,086	0,122	0,111	0,079	0,104	0,149	0,253	0,194	0,121	
18	0,082	0,112	0,103	0,057	0,095	0,117	0,216	0,161	0,073	
19	0,102	0,135	0,129	0,072	0,105	0,115	0,215	0,160	0,077	
20	0,065	0,111	0,092	0,076	0,104	0,071	0,141	0,106	0,060	
21	0,098	0,134	0,125	0,106	0,106	0,130	0,205	0,159	0,114	
22	0,098	0,135	0,126	0,085	0,105	0,089	0,148	0,115	0,064	
23	0,107	0,148	0,131	0,111	0,104	0,113	0,166	0,134	0,090	
24	0,092	0,131	0,120	0,091	0,105	0,075	0,126	0,098	0,070	
25	0,119	0,148	0,142	0,117	0,104	0,085	0,126	0,103	0,087	
26	0,082	0,107	0,104	0,078	0,104	0,065	0,103	0,081	0,065	
27	0,064	0,083	0,078	0,051	0,104	0,045	0,056	0,045	0,024	
28	0,049	0,068	0,061	0,052	0,105	0,032	0,047	0,036	0,034	
29	0,061	0,093	0,080	0,058	0,105	0,032	0,063	0,046	0,032	
30	0,058	0,076	0,064	0,074	0,095	0,045	0,033	0,031	0,031	
31	0,065	0,053	0,045	0,063	0,105	0,045	0,022	0,024	0,035	
32	0,058	0,070	0,059	0,050	0,104	0,026	0,034	0,024	0,022	
33	0,052	0,070	0,063	0,054	0,105	0,028	0,047	0,034	0,025	
34	0,061	0,074	0,070	0,046	0,104	0,037	0,039	0,031	0,022	
35	0,057	0,068	0,057	0,078	0,105	0,052	0,031	0,034	0,039	
36	0,050	0,075	0,061	0,063	0,105	0,048	0,033	0,033	0,038	
37	0,076	0,076	0,063	0,089	0,105	0,075	0,049	0,054	0,065	
38	0,078	0,079	0,078	0,068	0,104	0,045	0,037	0,035	0,037	

Continua...

Tabela 3 – Continuação...

Pêntada	Teste Kolmogorov-Smirnov					Erro padrão de estimativa (mm)				
	Normal	Log-Normal	Gama	Beta	KS ¹	Normal	Log-Normal	Gama	Beta	
39	0,040	0,072	0,064	0,066	0,104	0,038	0,040	0,032	0,042	
40	0,063	0,086	0,069	0,067	0,104	0,091	0,058	0,064	0,070	
41	0,049	0,078	0,062	0,076	0,105	0,082	0,057	0,062	0,073	
42	0,048	0,066	0,053	0,066	0,095	0,051	0,048	0,036	0,042	
43	0,104	0,155	0,134	0,114	0,105	0,078	0,128	0,099	0,073	
44	0,068	0,105	0,085	0,086	0,104	0,053	0,108	0,074	0,060	
45	0,095	0,142	0,128	0,117	0,106	0,083	0,113	0,091	0,102	
46	0,085	0,110	0,100	0,095	0,106	0,096	0,139	0,105	0,104	
47	0,077	0,133	0,109	0,089	0,105	0,095	0,171	0,126	0,066	
48	0,088	0,136	0,119	0,091	0,095	0,105	0,204	0,146	0,102	
49	0,068	0,096	0,084	0,050	0,105	0,079	0,145	0,106	0,045	
50	0,093	0,132	0,123	0,102	0,104	0,130	0,228	0,168	0,150	
51	0,106	0,106	0,105	0,066	0,105	0,134	0,178	0,133	0,080	
52	0,104	0,134	0,120	0,101	0,105	0,147	0,214	0,166	0,115	
53	0,103	0,139	0,126	0,085	0,105	0,177	0,258	0,203	0,100	
54	0,135	0,132	0,122	0,090	0,105	0,212	0,257	0,216	0,141	
55	0,135	0,161	0,160	0,081	0,105	0,225	0,339	0,267	0,116	
56	0,119	0,145	0,142	0,087	0,105	0,195	0,315	0,240	0,131	
57	0,121	0,132	0,122	0,088	0,104	0,212	0,279	0,224	0,150	
58	0,103	0,125	0,121	0,085	0,105	0,209	0,307	0,239	0,163	
59	0,103	0,129	0,124	0,062	0,104	0,238	0,379	0,293	0,097	
60	0,113	0,154	0,140	0,099	0,095	0,214	0,379	0,279	0,166	
61	0,121	0,164	0,154	0,109	0,104	0,239	0,367	0,283	0,179	
62	0,157	0,192	0,187	0,112	0,104	0,261	0,435	0,331	0,150	
63	0,092	0,136	0,119	0,084	0,104	0,167	0,322	0,233	0,128	
64	0,126	0,171	0,156	0,113	0,104	0,216	0,384	0,285	0,187	
65	0,101	0,128	0,121	0,074	0,104	0,197	0,370	0,272	0,138	
66	0,130	0,164	0,157	0,105	0,104	0,240	0,428	0,318	0,202	
67	0,132	0,167	0,162	0,095	0,106	0,280	0,488	0,362	0,181	
68	0,115	0,154	0,143	0,105	0,106	0,233	0,381	0,294	0,176	
69	0,091	0,112	0,112	0,065	0,107	0,192	0,356	0,265	0,117	
70	0,107	0,150	0,136	0,084	0,107	0,233	0,412	0,309	0,170	
71	0,129	0,155	0,154	0,081	0,107	0,215	0,379	0,288	0,117	
72	0,105	0,135	0,131	0,056	0,098	0,238	0,387	0,302	0,081	

KS Critico ao nível de significância 5%

Na Figura 1 constam os valores de ETo observados e estimados com diferentes níveis de probabilidade. Observa-se que o valor de ETo com 75% de probabilidade (ETo₇₅) apresenta valores variando de 15 a 29% superior ao valor da ET com 50% de probabilidade (ETo₅₀). Se considerar o nível de probabilidade de 90% essas diferenças variam de 25 a 52%. Saad *et al.* (2002), analisando dados de ETo de Piracicaba (SP) constataram que a ETo com 75% de probabilidade apresentou valores de 7,1 a 16,7% maiores que a ETo com 50% de probabilidade. Back (2022), analisando

dados ETo diária agrupadas em pêntadas observou que para Chapecó a ETo com 75% de probabilidade (ETo_{75}) apresenta valores variando de 10 a 32% acima do valor de ETo com 50% de probabilidade (ETo_{50}), mostrando que para dados diárias as diferenças podem ser maiores do que quando analisadas por pêntadas. Os valores de ETo com 50% de probabilidade não apresentam diferenças significativas dos valores médios, que se justifica pela baixa assimetria das séries.

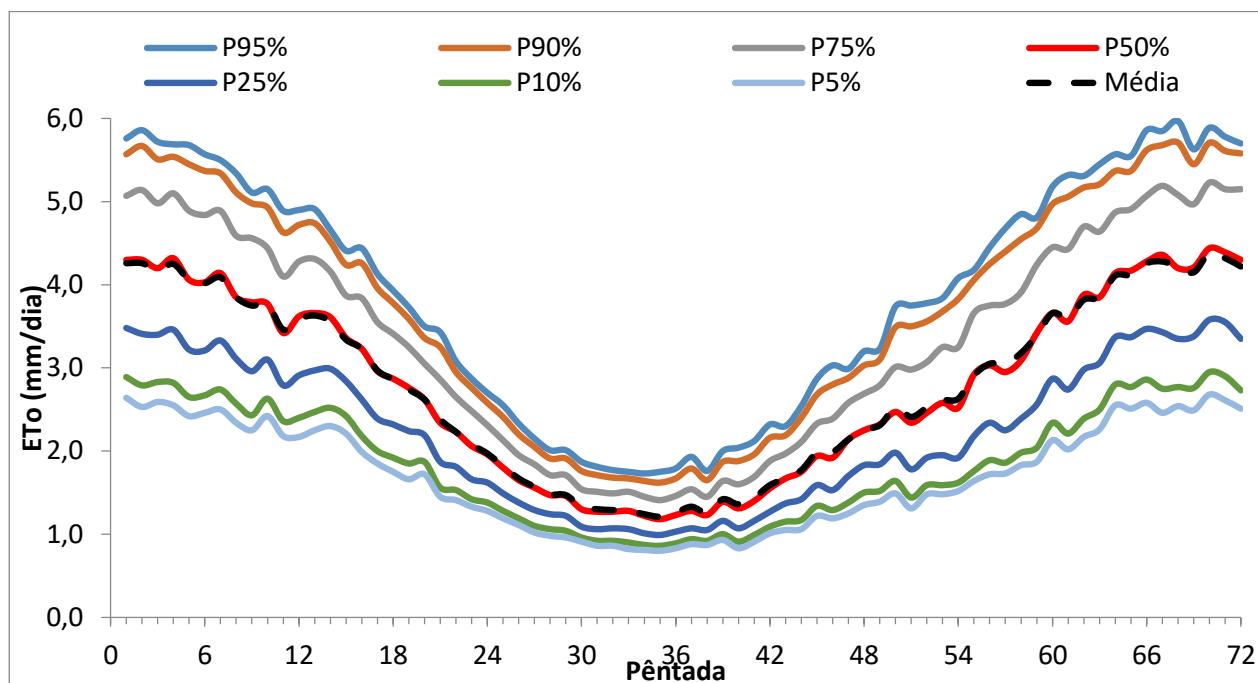


Figura 1 - ETo pentadal observada e estimada com diferentes níveis de probabilidade para Videira (SC).

Esses resultados mostram que a utilização do valor ETo médio ou com 50% de probabilidade no dimensionamento de projetos de irrigação podem implicar em subestimativas das demandas hídricas no pico. O estudo de frequências de ETo permite ao projetista dimensionar o sistema de irrigação mais adequado de acordo com os riscos admitidos para cada projeto.

O critério de escolha do nível de probabilidade deve basear-se em uma análise econômica, considerando-se 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 (Silva *et al.*, 1998). Saad *et al.* (2002) destacam que em condições de irrigação tipicamente suplementar, como se verifica na região centro-sul do Brasil, dificilmente a economia dos projetos de irrigação justifica a escolha de níveis de probabilidade de ocorrência superiores a 90%. Doorenbos e Pruitt (1984) ressaltam que na maioria das regiões irrigadas esses níveis variam entre 75 e 80%. Níveis mais elevados de probabilidade são selecionados para culturas de grande valor econômico e condições reduzidas de água disponível no solo (Pruitt *et al.*, 1972). Também Jensen (1990) destacou que na maioria das regiões irrigadas utiliza-se a evapotranspiração de referência ao nível de 75% de probabilidade de ocorrência, para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação. A probabilidade de 75% também é indicada por Assis *et al.* (2014), Uliana *et al.* (2017). De acordo com Saad e Scaloppi (1988) nas condições de irrigação suplementar dificilmente se justifica, economicamente, adotar níveis superiores a 90%, sendo normalmente utilizados níveis que variam entre 50 a 75%. Gurski *et al.* (2021) ponderam que embora a ETo com 75% de probabilidade seja recomendada na maioria da literatura sobre dimensionamento de sistemas de irrigação, considerando as características climáticas do estado Paraná, níveis de

probabilidade mais restritivos (como 90%) podem ser indicados para a região nordeste e menos restritivos (como 50%), para a região sudeste do estado do Paraná

CONCLUSÕES

Com base em dados diários de evapotranspiração de referência calculados pelo método de Penman-Monteith do período de 1983 a 2016 para Videira, Santa Catarina pode-se concluir que:

- A evapotranspiração média mensal varia de 37,9 mm em junho a 132,1 mm em dezembro, com total anual de 1023 mm;
- A estimativa obtida com o método Penman-Monteith apresenta valores superiores aos obtidos com as equações de regressão com base nas coordenadas geográficas;
- ETo variou de 0,65 mm/dia a 6,40 mm/dia e 80% das séries pentadais podem ser classificados como aproximadamente simétricas.
- A distribuição Beta se destacou com melhor desempenho para a estimativa de ETo provável;
- Observa-se que o valor de ETo com 75% de probabilidade apresenta valores variando de 15 a 19% superior ao valor da ET com 50% de probabilidade.
- Para dimensionamento dos projetos de irrigação recomenda-se utilizar a ETo associada a nível mais elevados de probabilidade, como 75 ou 90%.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (Fapesc), pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALAM, M.A.; EMURA, K.; FARNHAM, C.; YUAN, J. (2018). “*Best-Fit probability distributions and return periods for maximum monthly rainfall in Bangladesh*”. Climate, 6(1).
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome.
- ASSIS, J.P.; SOUSA, R.P.; BEZERRA NETO, F.; LINHARES, P.C.F. (2014). “*Tables of probabilities of reference evapotranspiration for the region of Mossoró, RN, Brazil*”. Revista Verde, 9(3), pp.58-67.
- BACK, Á.J. (2022). “*Probable reference evapotranspiration for Chapecó, Santa Catarina, Brazil*”. Revista Verde de Agroecologia de Desenvolvimento Sustentável, 17, pp.159-166.
- COSTA, N.; THEBALDI, M.S.; RODRIGUES, K.V. (2021). “*Estimativa da evapotranspiração potencial provável em Divinópolis, MG, Brasil*”. Revista de Ciências Ambientais, 15(3), pp.1-14.
- CRUZ, G.H.T.; SANTOS, L.C.; SILVA, S.M.C.; REIS, E.F. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Rio Verde-GO. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, 11(6):1854–1861, 2017.
- DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. O. (1984). *Guidelines for predicting crop water requirements*. Rome: FAO, 154p.

GURSKI, B.C.; SOUZA, J.L.M.; XAVIER, A.C.; ROSA, S.L.K. (2021). “*Probable precipitation and reference evapotranspiration in the state of Paraná, Southeast Brazil*”. Irriga, Edição Especial – Sul, 1(2), pp.367-380.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. (1990). *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 329 p. (ASCE Manual and Report on Engineering Practice, 70)

MASSIGNAM, A.M.; PANDOLFO, C. (2006). *Estimativa da evapotranspiração de referência mensal e anual no Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 24 p.

PEREIRA, A.S.; FRIZZONE, J.A. (1994). *Análise de frequência da evapotranspiração potencial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação*. Relatório de Pesquisa. Piracicaba: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). 42p.

PRUITT, W.O; OETTINGEN, S.V.; MORGAN, D.L. (1972). “*Central California evapotranspiration frequencies*”. Journal of the Irrigation and Drainage Division. 98, pp.177-184.

SAAD, J.C.C.; SCALOPPI, E.J. (1988). “*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... v.2, p.1037-1052 Florianópolis: ABID.

SAAD, J.C.C.; BISCARO, G.A.; DELMANTO Jr, O. (2002). “*Estudo da distribuição de evapotranspiração de referência visando o dimensionamento de sistemas de irrigação*”. Irriga, 7(1), pp.10-17.

SHIRI, J.; NAZEMIA, A. H.; SADRADDINIA, A.A.; LANDERASB, G.; KISIC, O.; FARDA, A.F.; MARTI, P. (2014). “*Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran*”. Computers and Electronics in Agriculture, 108(9), pp.230-241

SILVA, F.C.; FIETZ, C.R.; FOLEGATTI, M.V.; PEREIRA, F.A.C. (1998). “*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.

ULIANA, E.M.; SILVA, D.D.; SILVA, J.G.F.; FRAGA, M.S.; LISBOA, L. (2017). “*Estimate of reference evapotranspiration through continuous probability modelling*”. Engenharia Agrícola, 37(2), pp.257-267.

WREGE, M.S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I.R. (2012). *Atlas climático da região Sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul*. Brasília, DF: Embrapa, 334 p.