

Evapotranspiração de referência para dimensionamento e manejo da irrigação na região do Alto Vale do Itajaí, SC

Álvaro José Back¹ e Márcio Sônego²

Resumo – As frequentes estiagens observadas nas últimas décadas têm aumentado a demanda por projetos de irrigação na região do Alto Vale do Itajaí, SC. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo determinar as informações de evapotranspiração de referência (ET_o) que possam orientar critérios de dimensionamento e manejo de irrigação nesta região. Foram utilizados os dados diários da estação meteorológica de Ituporanga, referentes ao período de 1985 a 2016. A ET_o diária foi calculada pelo método de Penman-Monteith, e posteriormente avaliada por pântadas. Foram avaliadas as distribuições de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama e Beta, com aderência testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%. Os resultados mostram que a distribuição Beta apresentou melhor desempenho. A ET_o média mensal obtida nos meses de agosto a novembro apresenta valores com diferença acima de 20% dos valores médios usados na região. Para fins de balanço hídrico seriado foram apresentados os valores médios por pântadas, considerando os dias secos e chuvosos. Foram apresentados os valores de ET_o com probabilidade de 50%, 75%, 80%, 90% e 95%. Os valores de ET_o com 75% de probabilidade foram 17 a 27% superiores aos valores de ET_o com 50% de probabilidade. Para o dimensionamento de sistema de irrigação e estimativas de demanda hídrica de pico, recomenda-se adotar os valores de ET_o associados a níveis de probabilidade de acordo com o risco adotado no projeto.

Palavras-chave: Probabilidade; Demanda hídrica; Evapotranspiração.

Reference evapotranspiration for irrigation design and management in the Alto Vale do Itajaí Region, SC

Abstract – The frequent droughts observed in recent decades have increased the demand for irrigation projects in the Alto Vale do Itajaí Region, SC. In this sense, this study aimed to determine the reference evapotranspiration (ET_o) information that can guide irrigation design and management criteria in this region. Daily data from the Ituporanga meteorological station, for the period from 1985 to 2016, were used. Daily ET_o was calculated by the Penman-Monteith method and later evaluated by pentads. The Normal, Log-Normal, Gamma, and Beta probability distributions were assessed, with adherence tested by the Kolmogorov-Smirnov test at a significance level of 5%. The results show that the Beta distribution performed best. The average monthly ET_o obtained from August to November presents values with a difference above 20% of the average values used in the region. For the serial water balance, the average values per pentad were presented, considering both dry and rainy days. The ET_o values were presented with probabilities of 50%, 75%, 80%, 90% and 95%. The ET_o values with 75% probability were 17 to 27% higher than the ET_o values with 50% probability. For the dimensioning of irrigation systems and estimates of peak water demand, it is recommended to adopt the ET_o values associated with probability levels according to the risk adopted in the project.

Keywords: Probability; Water demand; Evapotranspiration

Introdução

O Alto Vale do Itajaí é uma importante região agrícola de Santa Catarina, com produção diversificada de cereais, tabaco, frutas e hortaliças, onde se destaca o cultivo da cebola. As frequentes estiagens observadas nas últimas décadas têm aumentado a demanda por projetos de irrigação. No entanto, observa-se carência de informações de evapotranspiração de

referência (ET_o) para as recomendações de dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação.

Na ausência de dados mais detalhados, têm sido usados dados de ET_o média mensal, estimados com base em regressões entre as coordenadas (latitude e longitude) e a altitude, com os dados médios estimados pela fórmula de Thornthwaite (Wrege *et al.*, 2012; Massignan; Pandolfo, 2006). Estimativas mais precisas podem ser

obtidas com o método de Penman-Monteith (PM-FAO), considerado como método padrão (Monteiro *et al.*, 2017; Sharafi; Ghaleni; Scholz, 2023).

O conhecimento da ET_o é fundamental para a estimativa da demanda hídrica e da necessidade de irrigação, bem como para o dimensionamento do sistema de irrigação e definição do manejo como turno de rega.

A necessidade de irrigação pode

Recebido em 24/04/2025. Aceito para publicação em 13/06/2025.

Editor de seção: Dr. Luiz Carlos Pittol Martini/UFSC

¹ Engenheiro-agrônomo, Dr., Epagri/Estação Experimental de Urussanga (EEUR), Rodovia SC 108, km 353, n° 1563, Bairro Estação, CEP 88840-000, Urussanga, SC, ajb@epagri.sc.gov.br

² Engenheiro-agrônomo, Dr., Epagri/Estação Experimental de Urussanga (EEUR), Urussanga, SC, sonego@epagri.sc.gov.br

DOI: <https://doi.org/10.52945/rac.v38i2.2050>

ser estimada com base em balanço hídrico de longa série, e dessa forma, quantificar e estimar o risco de déficit hídrico. Como as séries de dados de ETo são geralmente menores que as séries de dados de chuva, uma alternativa adotada é usar o valor médio de ETo. Back e Vieira (2007) mostraram que se pode aumentar a precisão das demandas usando dados de ETo condicionados ao dia ser seco ou chuvoso.

A ETo média também é usada no cálculo de consumo de água, definição de turno de rega, e no balanço hídrico climático. No entanto, para fins de dimensionamento do sistema de irrigação, deve-se considerar a condição mais crítica. Vários autores recomendam para o dimensionamento do sistema de irrigação usar a evapotranspiração com 75% de probabilidade de ocorrência (Assis *et al.*, 2014; Bernardo; Soares; Mantovani, 2006; Uliana *et al.*, 2017).

Este trabalho teve como objetivo determinar as informações de evapotranspiração de referência que possam orientar critérios de dimensionamento e manejo de irrigação na região do Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina.

Material e Métodos

Foram utilizados os dados diários de temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, insolação, umidade relativa do ar e velocidade do vento, do período de 01/08/1985 a 30/11/2016, da estação meteorológica de Ituporanga (Epagri, 2020). A estação está localizada na latitude -27,42°, longitude -49,65°, altitude 475m. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa, ou seja, subtropical, temperado chuvoso e quente, úmido sem estação seca definida e com inverno ameno (Alvares *et al.*, 2013).

A evapotranspiração de referência (ET₀) foi calculada pelo método de Penman-Monteith FAO (Allen *et al.*, 1998), possuindo a seguinte notação:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

Em que:

ET₀ = evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

R_n = saldo de radiação à superfície (MJ m⁻² d⁻¹);

G = fluxo de calor sensível no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

T = temperatura média do ar (°C);

U₂ = velocidade do vento a 2m de altura (m s⁻¹);

(e_s - e_a) = déficit de pressão de vapor (kPa);

δ = declividade da curva de pressão de saturação (kPa °C⁻¹);

γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

O saldo de radiação na superfície foi calculado pela seguinte equação:

$$R_n = (1 - r) \left(0,25 + 0,50 \frac{\text{ins}}{N} \right) R_a$$

em que:

r = albedo, considerado como 0,23;

ins = insolação observada (h);

N = insolação máxima teórica (h);

R_a = radiação no topo da atmosfera (MJ.m⁻².d⁻¹).

O fluxo de calor no solo foi desprezado (G = 0) e as demais variáveis foram calculadas seguindo as recomendações de Smith (1991) e Allen *et al.* (1998).

Para a estimativa da ETo por pântadas, os valores diários de ETo calculados pela equação PM-FAO foram agrupados em períodos consecutivos de 5 dias, iniciando no primeiro dia de cada mês, e na última pântada do mês foram agrupados os valores do dia 26 ao último dia do mês. Também foram calculadas as médias da ETo dos dias com chuva (ET_r) e dos dias sem chuva (ET_d). Como precipitação pluviométrica é registrado o total de chuva entre 12h UTC de um dia às 12h UTC do dia seguinte, na definição do dia seco ou chuvoso considerou-se a precipitação pluvial do dia posterior, considerando chuvoso todo dia com precipitação igual ou superior a 0,1mm.

Para cada série pentadal de ETo foram testadas as distribuições de probabilidade Normal, Log-Normal, Gama e Beta. A aderência foi avaliada com o teste de Kolmogorov-Smirnov ao

nível de significância de 5% (Kite, 1977). Para a seleção de melhor distribuição de probabilidades, utilizou-se o critério do menor erro padrão de estimativa entre as ETo observadas e estimadas com a distribuição de probabilidades (Kite, 1977). Com a distribuição de probabilidades selecionada, foram estimados os valores de ETo com probabilidades de ocorrência 50, 75, 80, 90 e 95%.

As distribuições Normal, Log-Normal e Gama são de ampla aplicação na climatologia e hidrologia (Assis; Arruda; Pereira, 1996). A distribuição de probabilidade Beta tem função de densidade de probabilidade para o intervalo (a, b) dada por:

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

sendo a ≤ x ≤ 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:

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

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

Onde m₁ é o momento de ordem 1 para a variável x'; m₂ é o momento de ordem 2 para a variável x'; transformada pela expressão

$$x' = \frac{x - a}{b - a}$$

Resultados e discussão

Os resultados mostram que os valores obtidos nesse estudo apresentam diferenças superiores a 20% em relação aos valores estimados com as equações propostas por Wrege *et al.* (2012), Massignam e Pandolfo (2006), nos meses de agosto

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

Table 1. Monthly mean values of mean air temperature (Tm), relative humidity (UR), wind speed (Vel), insolation (Ins) and calculated reference evapotranspiration (ETo), and mean ETo values used for Ituporanga, SC

Mês	Tm (°C)	UR (%)	Vel (m s ⁻¹)	Ins. (h)	ETo (mm)	ETo ¹ (mm)	ETo ² (mm)
Janeiro	24,1	77,8	1,7	5,2	123,4	114,9	114,0
Fevereiro	24,1	78,2	1,6	5,4	106,7	100,4	98,5
Março	23,1	79,0	1,6	5,4	100,3	95,4	94,2
Abril	20,4	81,4	1,5	4,7	70,2	68,3	67,1
Mai	16,4	83,3	1,5	4,2	49,1	48,3	49,2
Junho	14,5	85,6	1,3	3,5	36,4	36,0	37,0
Julho	14,0	85,0	1,4	3,7	40,0	36,2	35,6
Agosto	15,8	81,8	1,6	4,3	55,9	44,6	43,1
Setembro	16,9	80,2	1,9	3,8	68,4	51,6	51,4
Outubro	19,4	78,8	2,1	4,1	92,4	60,5	69,3
Novembro	21,4	74,3	2,3	5,3	114,5	86,0	84,1
Dezembro	23,2	75,0	2,0	5,5	127,6	107,8	104,7
Total	-	-	-	-	984,9	849,6	845,9

¹ETo segundo Wrege et al. (2012) ² ETo segundo Massignam e Pandolfo (2006)

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Source: elaborated by the authors (2025)

a novembro (Tabela 1), indicando que o uso dos valores médios referenciados pode subestimar a necessidade de irrigação. Essas diferenças se devem, em parte, ao fato dos períodos de dados utilizados terem sido diferentes, mas principalmente pelas diferenças nos métodos, conforme já reportado por Back (2008) e Lindner *et al.* (2006).

Um dos usos dos dados de ETo ocorre nos estudos de balanço hídrico seriado. Como normalmente se dispõe de séries de precipitação pluvial maiores do que as séries de dados de ETo, têm sido usados os valores médios de ETo para simular o balanço hídrico. Back e Vieira (2007) avaliaram o desempenho da média mensal da evapotranspiração de referência, calculando a média mensal da evapotranspiração dos dias com chuva, e a média mensal da evapotranspiração dos dias sem chuva. Em relação à evapotranspiração diária no balanço hídrico seriado, constataram ganhos nos índices de precisão e desempenho. A relação entre a ETo dos dias secos e ETo dos

dias chuvosos (ETd/ETr) variou de 0,97 a 1,37, com média de 1,15 (Tabela 2). Em trabalhos semelhantes, Back (2022) e Back (2015) constataram variações de 1,22 a 1,65 para Chapecó, e 1,18 a 1,59 para Urussanga. Nas pântadas correspondentes aos meses de outono e inverno, quando ocorre menor proporção de dias chuvosos, observa-se que a ETo média se aproxima mais da ETo dos dias secos.

Entre as distribuições de probabilidades avaliadas, a distribuição Beta apresentou o menor erro padrão de estimativa para a maioria (62,5%) das séries pentadais (Tabela 3), ficando ainda na segunda colocação em 20,8% das pântadas, não sendo rejeitada em nenhum caso pelo teste de aderência (Tabela 3), e dessa forma, foi utilizada no estudo. Esses resultados estão de acordo com vários trabalhos que concluíram que a distribuição Beta é adequada para a análise de frequência de dados de evapotranspiração (Blain *et al.*, 2009; Queiroz *et al.*, 2012; Back, 2022).

Com os parâmetros da distribuição Beta (Tabela 4) podem-se estimar os valores de ETo associados a determinado nível de probabilidade, sendo mais utilizados os valores de ETo para as probabilidades de 50%, 75%, 80%, 90% e 95%. Esses dados podem ser usados como valores para estimativa da demanda de pico para o dimensionamento dos sistemas de irrigação. 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; Fietz; Folegatti, 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 (Jensen; Burman; Allen; 1990). Saad e Scaloppi (1988) ponderam que nas condições de irrigação suplementar, como é o caso de Santa Catarina, dificilmente se justifica, do ponto de vista econômico, adotar níveis superiores a 90%. Por outro lado, Gurski *et al.* (2021) ressaltam 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 do 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.

Observa-se que as relações entre os valores de ETo com probabilidade de 50%, e a ETo média de cada pântada variam de 0,87 a 1,01, com média de

Tabela 2. Evapotranspiração média (ETo), média dos dias secos (ETd), média dos dias chuvosos (ETr), e número de dias secos (Nd) e dias chuvoso (Nr) de Ituporanga, Santa Catarina (1985-2016)
 Table 2. Mean evapotranspiration (ETo), mean dry days (ETd), mean rainy days (ETr), and number of dry days (Nd) and rainy days (Nr) for Ituporanga, Santa Catarina (1985-2016)

Pêntada	ETd	ETr	ETo	Ns	Nc	Pên-tada	ETs	ETc	ETo	Ns	Nc
	(mm.dia ⁻¹)						(mm.dia ⁻¹)				
1	4,44	3,73	4,08	76	79	37	1,14	1,17	1,15	88	66
2	4,38	3,70	4,03	72	78	38	1,18	1,18	1,18	82	73
3	4,46	3,77	4,07	64	81	39	1,33	1,26	1,31	110	45
4	4,33	3,79	4,02	62	87	40	1,36	1,16	1,27	87	67
5	4,13	3,35	3,73	75	78	41	1,41	1,3	1,37	90	65
6	4,22	3,71	3,97	93	92	42	1,48	1,31	1,42	128	58
7	4,55	3,52	4,09	84	70	43	1,60	1,44	1,55	105	50
8	4,17	3,55	3,84	74	81	44	1,76	1,37	1,62	98	55
9	4,05	3,46	3,73	71	83	45	1,74	1,59	1,70	100	45
10	4,01	3,49	3,77	83	70	46	1,99	1,68	1,89	102	47
11	3,77	3,37	3,53	61	90	47	2,04	1,77	1,95	96	53
12	3,91	3,39	3,65	48	50	48	2,18	1,82	2,08	131	51
13	3,69	3,40	3,57	86	64	49	2,27	2,09	2,21	97	47
14	3,64	3,35	3,55	102	48	50	2,43	1,82	2,20	90	54
15	3,54	3,08	3,34	88	65	51	2,40	2,08	2,27	83	57
16	3,32	3,06	3,22	96	58	52	2,62	1,93	2,29	73	67
17	3,13	2,83	3,01	91	62	53	2,67	2,06	2,39	74	63
18	3,01	2,50	2,81	112	71	54	2,62	2,04	2,32	69	72
19	2,86	2,41	2,69	95	59	55	2,81	2,48	2,66	81	69
20	2,71	2,37	2,62	114	41	56	3,20	2,34	2,83	89	66
21	2,52	2,32	2,45	104	51	57	3,31	2,48	2,90	79	76
22	2,42	2,02	2,30	108	47	58	2,99	2,61	2,79	75	80
23	2,16	1,73	1,99	94	61	59	3,37	2,84	3,17	92	57
24	2,04	1,90	2,00	109	46	60	3,67	3,16	3,46	107	73
25	1,91	1,61	1,82	107	48	61	3,91	2,98	3,49	83	69
26	1,75	1,67	1,72	105	48	62	4,04	3,32	3,76	86	55
27	1,67	1,51	1,60	88	66	63	3,67	3,57	3,63	84	62
28	1,61	1,42	1,54	95	55	64	4,24	3,77	4,07	93	54
29	1,49	1,48	1,48	96	53	65	4,05	3,52	3,83	90	64
30	1,40	1,32	1,37	113	67	66	4,42	3,83	4,13	78	75
31	1,24	1,25	1,24	99	51	67	4,39	3,91	4,21	95	58
32	1,30	1,25	1,28	91	58	68	4,22	3,60	3,99	96	57
33	1,20	1,21	1,20	99	52	69	4,22	3,80	4,02	82	72
34	1,21	1,14	1,18	85	70	70	4,69	3,97	4,40	92	61
35	1,20	1,18	1,19	100	55	71	4,33	3,75	4,04	77	76
36	1,17	1,20	1,18	98	57	72	4,43	3,62	4,05	98	88

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)
 Source: elaborated by the authors (2025)

Tabela 3. Estatística do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov e erro padrão de estimativa para as distribuições de probabilidades testadas

Table 3. Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test statistics and standard error of estimate for the tested probability distributions

Pêntada	Teste de KS					Erro padrão (mm.dia ⁻¹)			
	Normal	Log-Normal	Gama	Beta	KS crit	Normal	Log-Normal	Gama	Beta
1	0,0937	0,1172	0,1105	0,0790	0,109	0,196	0,315	0,238	0,161
2	0,0745	0,0990	0,0899	0,0699	0,111	0,186	0,277	0,210	0,162
3	0,0659	0,0874	0,0864	0,0579	0,113	0,128	0,226	0,163	0,125
4	0,0661	0,1113	0,0990	0,0621	0,111	0,139	0,279	0,198	0,099
5	0,1013	0,0735	0,0861	0,0664	0,110	0,185	0,207	0,168	0,112
6	0,0611	0,1069	0,0909	0,0622	0,100	0,128	0,264	0,186	0,094
7	0,0919	0,1308	0,1226	0,0720	0,109	0,197	0,345	0,258	0,125
8	0,0749	0,1178	0,1073	0,0629	0,109	0,140	0,272	0,192	0,094
9	0,0966	0,1318	0,1256	0,0745	0,109	0,211	0,334	0,258	0,120
10	0,0887	0,1043	0,1040	0,0635	0,110	0,185	0,289	0,222	0,120
11	0,0633	0,0707	0,0728	0,0650	0,111	0,142	0,191	0,150	0,146
12	0,1093	0,1386	0,1354	0,0896	0,137	0,153	0,270	0,207	0,132
13	0,0799	0,1106	0,1030	0,0462	0,111	0,142	0,274	0,201	0,059
14	0,0762	0,0881	0,0911	0,0530	0,111	0,110	0,201	0,146	0,079
15	0,0901	0,1193	0,1146	0,0439	0,110	0,137	0,258	0,193	0,060
16	0,0904	0,1134	0,1133	0,0531	0,109	0,152	0,267	0,199	0,073
17	0,0947	0,1309	0,1220	0,1101	0,110	0,154	0,201	0,166	0,169
18	0,1067	0,1278	0,1290	0,1030	0,100	0,149	0,244	0,188	0,163
19	0,0581	0,0999	0,0885	0,0720	0,109	0,100	0,125	0,093	0,087
20	0,0580	0,0863	0,0815	0,0646	0,109	0,068	0,119	0,086	0,088
21	0,0963	0,1152	0,1148	0,1143	0,109	0,148	0,210	0,166	0,137
22	0,0718	0,0971	0,0781	0,0908	0,109	0,147	0,106	0,106	0,126
23	0,0937	0,1229	0,1080	0,1194	0,109	0,153	0,136	0,131	0,142
24	0,0660	0,0992	0,0838	0,0741	0,109	0,086	0,071	0,058	0,060
25	0,1012	0,1045	0,1030	0,0832	0,109	0,096	0,103	0,087	0,083
26	0,0731	0,0725	0,0568	0,0839	0,110	0,138	0,077	0,089	0,094
27	0,0790	0,0903	0,0760	0,1007	0,109	0,080	0,072	0,063	0,061
28	0,0783	0,0724	0,0549	0,0854	0,111	0,087	0,040	0,048	0,061
29	0,0914	0,0807	0,0729	0,1192	0,111	0,190	0,132	0,143	0,140
30	0,0800	0,0795	0,0664	0,0670	0,101	0,090	0,037	0,048	0,048
31	0,0932	0,0954	0,0852	0,0590	0,111	0,080	0,041	0,048	0,045
32	0,1756	0,0782	0,1745	0,1406	0,111	0,330	0,269	0,270	0,239
33	0,1096	0,0573	0,0818	0,0777	0,111	0,117	0,081	0,087	0,087
34	0,1443	0,0678	0,1237	0,1323	0,1091	0,213	0,165	0,169	0,169
35	0,1077	0,0779	0,0913	0,0823	0,1091	0,152	0,095	0,102	0,088
36	0,1012	0,0872	0,0879	0,1030	0,1091	0,133	0,081	0,088	0,082
37	0,1211	0,1076	0,1100	0,0886	0,1094	0,147	0,105	0,111	0,097
38	0,1630	0,0875	0,1446	0,1428	0,1091	0,207	0,161	0,163	0,135

Pêntada	Teste de KS					Erro padrão ((mm.dia ⁻¹))			
	Normal	Log-Normal	Gama	Beta	KS crit	Normal	Log-Normal	Gama	Beta
40	0,0817	0,0702	0,0656	0,0696	0,1094	0,137	0,089	0,097	0,096
41	0,0812	0,0500	0,0651	0,0801	0,1091	0,151	0,095	0,105	0,106
42	0,0805	0,0501	0,0600	0,0566	0,0996	0,136	0,081	0,091	0,090
43	0,0634	0,0905	0,0780	0,0691	0,1091	0,057	0,065	0,052	0,057
44	0,1140	0,0788	0,0930	0,1234	0,1098	0,320	0,258	0,269	0,264
45	0,0683	0,0933	0,0819	0,0722	0,1128	0,069	0,067	0,058	0,064
46	0,0691	0,0929	0,0743	0,1032	0,1113	0,179	0,129	0,137	0,151
47	0,0896	0,1158	0,0946	0,0915	0,1113	0,100	0,126	0,097	0,075
48	0,0590	0,0908	0,0716	0,0863	0,1007	0,155	0,111	0,110	0,128
49	0,0954	0,1076	0,0861	0,0981	0,1132	0,175	0,128	0,122	0,130
50	0,1215	0,1190	0,1167	0,0978	0,1132	0,170	0,147	0,134	0,123
51	0,1181	0,1100	0,1123	0,0781	0,1148	0,193	0,176	0,153	0,083
52	0,1251	0,1162	0,1102	0,0710	0,1148	0,190	0,148	0,137	0,073
53	0,1394	0,1072	0,1093	0,0969	0,1160	0,215	0,173	0,164	0,128
54	0,1351	0,1149	0,1143	0,0766	0,1144	0,215	0,158	0,154	0,070
55	0,1255	0,1130	0,1071	0,0744	0,1109	0,242	0,216	0,194	0,109
56	0,1284	0,1114	0,1182	0,0709	0,1091	0,230	0,223	0,192	0,107
57	0,1183	0,1052	0,1071	0,0705	0,1091	0,233	0,202	0,177	0,116
58	0,1379	0,1028	0,0990	0,1064	0,1091	0,281	0,227	0,217	0,090
59	0,1548	0,1459	0,1497	0,0909	0,1113	0,300	0,295	0,258	0,133
60	0,0824	0,1087	0,0981	0,0812	0,1012	0,195	0,290	0,211	0,152
61	0,0939	0,0993	0,0949	0,0743	0,1101	0,242	0,255	0,201	0,140
62	0,0728	0,0858	0,0750	0,0675	0,1144	0,201	0,211	0,156	0,134
63	0,1217	0,0959	0,1048	0,0623	0,1124	0,220	0,263	0,213	0,114
64	0,0899	0,1229	0,1176	0,0866	0,1120	0,191	0,344	0,245	0,190
65	0,0760	0,0981	0,0907	0,0733	0,1094	0,222	0,177	0,163	0,171
66	0,0600	0,1046	0,0932	0,0644	0,1098	0,149	0,252	0,164	0,138
67	0,0920	0,1298	0,1099	0,0909	0,1098	0,238	0,395	0,285	0,196
68	0,0962	0,0900	0,0845	0,0578	0,1098	0,220	0,257	0,204	0,098
69	0,0599	0,0891	0,0711	0,0731	0,1094	0,153	0,166	0,127	0,134
70	0,0602	0,1063	0,0943	0,0712	0,1098	0,164	0,227	0,155	0,149
71	0,0840	0,1143	0,0946	0,0776	0,1098	0,178	0,289	0,212	0,130
72	0,0749	0,1002	0,0947	0,0696	0,0996	0,202	0,296	0,227	0,184

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Source: elaborated by the authors (2025)

Tabela 4. Parâmetros da distribuição Beta e Evapotranspiração de referência (ETo) com diferentes níveis de probabilidade para Ituporanga, SC

Table 4. Beta distribution parameters and reference evapotranspiration (ETo) with different probability levels for Ituporanga, SC

Pêntada	Parâmetros da distribuição Beta				ETo (mm.dia ⁻¹) com probabilidade de				
	p	q	a	b	50%	75%	80%	90	95%
1	1,331	1,779	2,12	6,69	4,00	4,93	5,15	5,67	6,00
2	1,499	2,522	2,07	7,32	3,91	4,84	5,07	5,65	6,07
3	1,837	2,732	2,04	7,09	3,99	4,83	5,04	5,54	5,91
4	1,425	1,559	2,02	6,20	3,99	4,85	5,04	5,47	5,74
5	1,855	2,049	1,51	6,19	3,71	4,55	4,74	5,19	5,49
6	1,664	1,843	1,93	6,23	3,95	4,76	4,94	5,37	5,65
7	1,398	1,438	2,01	6,22	4,08	4,96	5,15	5,57	5,82
8	1,566	1,667	1,78	6,04	3,83	4,66	4,85	5,27	5,54
9	1,036	1,154	2,03	5,63	3,70	4,58	4,76	5,16	5,37
10	1,298	1,667	1,97	6,09	3,71	4,57	4,77	5,23	5,53
11	1,675	3,233	1,91	6,66	3,42	4,17	4,36	4,85	5,22
12	1,803	1,886	1,74	5,64	3,64	4,35	4,51	4,88	5,12
13	1,383	1,190	1,75	5,13	3,60	4,32	4,46	4,76	4,93
14	2,205	2,459	1,52	5,81	3,53	4,23	4,39	4,78	5,05
15	1,428	1,134	1,68	4,66	3,39	4,01	4,13	4,38	4,51
16	1,224	1,280	1,64	4,88	3,21	3,94	4,09	4,43	4,62
17	1,772	3,293	1,56	5,69	2,92	3,56	3,72	4,14	4,46
18	1,824	2,817	1,43	4,95	2,76	3,33	3,48	3,83	4,09
19	1,470	2,504	1,43	4,83	2,61	3,21	3,37	3,74	4,02
20	1,762	2,718	1,43	4,45	2,57	3,07	3,20	3,51	3,73
21	1,215	1,993	1,34	4,28	2,37	2,97	3,11	3,46	3,71
22	1,365	2,994	1,22	4,67	2,20	2,77	2,92	3,30	3,60
23	1,287	3,865	1,16	4,49	1,88	2,35	2,48	2,83	3,12
24	1,637	2,898	1,01	3,74	1,94	2,39	2,50	2,79	3,00
25	1,272	2,277	1,01	3,26	1,75	2,18	2,29	2,55	2,74
26	1,398	4,159	0,95	4,03	1,63	2,05	2,17	2,47	2,73
27	1,273	2,649	0,92	3,01	1,53	1,90	2,00	2,24	2,42
28	1,412	2,949	0,84	3,00	1,48	1,84	1,93	2,17	2,35
29	1,236	5,125	0,82	4,24	1,37	1,77	1,88	2,20	2,47
30	1,255	2,888	0,78	2,73	1,30	1,63	1,72	1,95	2,12
31	1,342	2,700	0,71	2,31	1,19	1,47	1,54	1,73	1,86
32	0,794	5,784	0,74	5,22	1,11	1,53	1,65	2,03	2,37
33	1,554	4,490	0,68	2,71	1,15	1,41	1,48	1,68	1,84
34	1,630	5,708	0,54	3,42	1,10	1,43	1,52	1,77	1,97
35	0,987	3,455	0,69	2,94	1,09	1,43	1,52	1,78	1,99
36	1,435	4,090	0,61	2,81	1,11	1,42	1,50	1,72	1,90
37	1,179	4,912	0,69	3,09	1,07	1,36	1,44	1,67	1,86
38	0,982	5,147	0,72	3,61	1,08	1,39	1,49	1,75	1,99
39	1,408	3,106	0,76	2,52	1,26	1,54	1,62	1,81	1,96
40	1,958	6,501	0,58	3,58	1,21	1,53	1,61	1,85	2,05
41	1,344	4,579	0,73	3,53	1,28	1,63	1,73	2,00	2,23
42	1,406	4,474	0,78	3,47	1,34	1,69	1,79	2,05	2,27
43	1,957	3,141	0,76	2,81	1,51	1,83	1,91	2,11	2,26
44	1,139	7,281	0,86	6,49	1,46	1,95	2,09	2,51	2,88
45	1,647	3,079	0,94	3,11	1,65	2,00	2,09	2,31	2,48
46	1,552	5,020	0,92	5,03	1,78	2,28	2,42	2,79	3,11
47	1,261	1,861	0,98	3,37	1,89	2,38	2,50	2,78	2,97
48	1,586	4,391	1,00	5,06	1,97	2,51	2,65	3,05	3,36

49	1,192	2,593	1,09	4,65	2,09	2,73	2,89	3,32	3,64
50	1,207	3,003	1,16	4,79	2,07	2,67	2,83	3,25	3,58
51	1,098	1,826	1,04	4,32	2,17	2,87	3,04	3,45	3,73
52	0,885	1,752	1,25	4,35	2,15	2,84	3,02	3,45	3,74
53	1,272	1,841	1,03	4,36	2,32	3,00	3,17	3,55	3,81
54	0,875	1,690	1,26	4,37	2,18	2,89	3,06	3,50	3,79
55	1,024	1,847	1,30	5,10	2,52	3,33	3,53	4,03	4,36
56	1,053	1,947	1,43	5,43	2,69	3,52	3,73	4,24	4,60
57	0,977	1,956	1,51	5,69	2,73	3,61	3,83	4,38	4,77
58	0,725	1,225	1,53	4,92	2,62	3,54	3,75	4,24	4,53
59	0,805	1,381	1,66	5,75	2,98	4,01	4,26	4,84	5,19
60	1,251	2,066	1,71	6,36	3,34	4,26	4,49	5,04	5,42
61	1,144	1,987	1,65	6,68	3,33	4,36	4,61	5,23	5,66
62	1,144	2,143	1,93	7,19	3,58	4,62	4,89	5,54	6,00
63	1,142	1,724	1,86	6,29	3,51	4,46	4,69	5,23	5,58
64	1,381	1,967	2,01	7,00	3,97	4,96	5,19	5,75	6,13
65	2,053	4,263	1,66	8,33	3,70	4,61	4,84	5,45	5,93
66	1,876	2,708	1,68	7,67	4,05	5,04	5,28	5,88	6,31
67	1,141	1,365	2,02	6,82	4,14	5,24	5,48	6,02	6,34
68	1,051	1,546	2,11	6,75	3,86	4,92	5,17	5,74	6,11
69	1,921	3,731	1,97	8,01	3,90	4,78	5,01	5,59	6,04
70	1,589	2,501	2,07	8,07	4,28	5,34	5,60	6,24	6,71
71	1,244	1,568	2,06	6,54	3,97	4,94	5,16	5,67	5,98
72	1,495	2,437	2,08	7,25	3,93	4,86	5,09	5,66	6,07

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Source: elaborated by the authors (2025)

0,96. Os valores inferiores a 1,0 se explicam pela leve assimetria dos dados de ETo em intervalos pentadais. O valor de ETo com 75% de probabilidade ($ET_{0,75}$) apresenta valores variando de 17 a 27% acima do valor de ETo com 50% de probabilidade ($ET_{0,50}$). 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. Back (2022) observou que para Chapecó essas diferenças foram de 10 a 32%, enquanto Saad *et al.* (2002), apontaram diferenças de 7,1 a 16,7% para Piracicaba (SP). Para a ETo com 90%, essas diferenças variaram de 31 a 59%, evidenciando que a análise da distribuição de frequências de ETo permite ao projetista dimensionar o sistema de irrigação mais adequado de acordo com os riscos admitidos para cada projeto.

Conclusão

– A evapotranspiração média diária

por pântada na região do Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina, varia de 1,15 a 4,40mm dia⁻¹;

– A distribuição Beta apresentou melhor desempenho para estimativas de probabilidades de ETo quando comparada com as distribuições Normal, Log-Normal e Gama. Os valores de ETo com 75% de probabilidade apresentam valores de 17 a 27% superiores aos valores de ETo com 50% de probabilidade;

– Para o dimensionamento de sistemas de irrigação e estimativas de demanda hídrica de pico, recomenda-se adotar os valores de ETo associados a níveis de probabilidade de acordo com o risco adotado no projeto.

Contribuição dos autores

Álvaro José Back: Conceituação, Metodologia, Redação, Software, Investigação, Análise formal, Curadoria de dados. **Márcio Sônego:** Análise formal, Validação, Revisão e tradução, Visualização.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses no desenvolvimento deste trabalho.

Dados de pesquisa

Dados serão disponibilizados pelo autor por solicitação.

Financiamento

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

Referências

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome. 1998.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's

- climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, p.711-728, 2013.
- ASSIS, J.P.; SOUSA, R.P.; BEZERRA NETO, F.; LINHARES, P.C.F. Tables of probabilities of reference evapotranspiration for the region of Mossoró, RN, Brazil. **Revista Verde**, [S.l.], v.9, n.3, p.58-67, 2014.
- ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística a climatologia**: Teoria-prática. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1996. 161p.
- BACK, Á.J. Evapotranspiração de referência provável para Chapecó, Santa Catarina. **Revista Verde**, [S.l.], v.17, n.3, p.159-166, 2022. DOI:10.18378/rvads.v17i3.9351
- BACK, Á.J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga**, [S.l.], v.13, n.4, p.449-466, 2008.
- BACK, Á.J.; VIEIRA, H.J. Uso da evapotranspiração média corrigida para dias chuvosos e dias secos no balanço hídrico seriado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais [...]**, Bonito, 2007.
- BACK, Á.J. Evapotranspiração média de dias secos e dias chuvosos de Urussanga, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília. **Anais [...]**, Brasília, 2015.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- BLAIN, G.C.; KAYANO, M.T.; SENTELHAS, P.C.; LULU, J. Possible influences of Pacific decadal oscillation in the ten day based ratio between actual and potential evapotranspiration in the region of Campinas, São Paulo state, Brazil. **Bragantia**, [S.l.], v.68, n.3, p.797-805, 2009.
- DOOREMBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1984.
- EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2020. 20p. (Epagri, Documentos, 310)
- GURSKI, B.C.; SOUZA, J.L.M.; XAVIER, A.C.; ROSA, S.L.K. Probable precipitation and reference evapotranspiration in the state of Paraná, Southeast Brazil. **Irriga**, [S.l.], esp., v.1, n.2, p.367-380, 2021 DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v1n2p367-380>
- JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 332p. (ASCE Manual and Report on Engineering Practice, nº 70)
- KITE, G.W. **Frequency and risk analyses in Hydrology**. Colorado: Water Resources publications, 1977. 224p.
- LINDNER, E.A.; MASSIGNAM, A.M.; KOBIYAMA, M.; ZILIO, E. Estimativa da evapotranspiração potencial na bacia rio do Peixe/SC pelos métodos de Thornthwaite e Penman modificado. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL/SUDESTE, 1, 2006, Curitiba, **Anais [...]**, Curitiba, 2006.
- MASSIGNAM, A.M.; PANDOLFO, C. **Estimativa da evapotranspiração de referência mensal e anual no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2006. 24p.
- MONTEIRO, J.E.B.A.; CUADRA, S.V. OLIVEIRA, A.F.; NAKAI, A.M.; MACIEL, R.J.S. Estimativa da evapotranspiração diária baseada apenas em temperatura. **Agrometeoros**, [S.l.], v.25, n.1, p.227-236, 2017.
- QUEIROZ, M.Z.S.S.; VELLAME, L.M.; FREITAS, M.S.C.; PEIXOTO, G.K.S. Estimativa da ETo a partir de duas estações meteorológicas de Ouricuri-PE. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7., 2012, Palmas. **Anais [...]**, Palmas, 2012. p.1-8.
- SAAD, J.C.C.; SCALOPPI, E.J. 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 [...]**, Florianópolis, 1988, v.2, p.1037-1052.
- SAAD, J.C.C.; BISCARO, G.A.; DELMANTO Jr, O. Estudo da distribuição de evapotranspiração de referência visando o dimensionamento de sistemas de irrigação. **Irriga**, [S.l.], v.7, n.1, p.10-17, 2002.
- SHARAFI, S.; GHALENI, M.M.; SCHOLZ, M. Comparison of predictions of daily evapotranspiration based on climate variables using different data mining and empirical methods in various climates of Iran. **Heliyon**, [S.l.], v.9, p.1-16, e13245, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13245>
- SILVA, F.C.; FIETZ, C.R.; FOLEGATTI, M.V.F.A.C. Distribuição e frequência da evapotranspiração de referência de Cruz das Almas, BA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v.2, n.3, p.284-286, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v2n3p284-286>
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 54p.
- ULIANA, E.M.; SILVA, D.D.; SILVA, J.G.F.; FRAGA, M.S.; LISBOA, L. Estimate of reference evapotranspiration through continuous probability modelling. **Engenharia Agrícola**, [S.l.], v.37, n.2, p.257-267, 2017.
- WREGGE, M.S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I.R. de. **Atlas climático da região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 334p.