

PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PROVÁVEIS NO ESTADO DO PIAUÍ

COELHO, J. V.¹; SOUZA J. L. M.²; XAVIER, A. C.³; GURSKI, B. C.⁴; ROSA, S. L. K.¹

¹Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR; ²Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br; ³Professor UFES; ⁴Doutor em Ciência do Solo

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho determinar os parâmetros estatísticos de cinco funções de densidade de probabilidade (*fdp's*; Gama, Normal, Triangular, Uniforme e Exponencial), ajustadas aos valores decendiais observados de precipitação pluvial (*P*) e evapotranspiração de referência (*ET_o*) prováveis no Estado do Piauí, bem como calcular os valores da *ET_o* e *P* com 25% e 75% de probabilidade, respectivamente. A série de dados climáticos utilizados (1980 a 2015; 36 anos) foi proveniente da Agência Nacional de Águas, Instituto Nacional de Meteorologia e do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo. Os dados climáticos foram espacializados com os melhores interpoladores em *grid* regular de 0,25° x 0,25°, gerando 330 pontos para análise. A *ET_o* foi calculada diariamente com o método de Penman-Monteith. Os dados diários de *ET_o* e *P* foram somados e agrupados em períodos de dez dias (decêndios), totalizando 37 decêndios por ano. Para verificar o ajuste das *fdp's* às séries de *ET_o* e *P* de cada localidade foram realizadas distribuições de frequência e aplicados testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. Os resultados dos valores decendiais prováveis de *ET_{o25%}* e *P_{75%}* foram organizados conforme as estações do ano (verão, outono, inverno, primavera), e com a média dos decêndios do período foram gerados mapas utilizando o método de interpolação *krigagem* ordinária. As funções densidade de probabilidade Gama (67%) e Exponencial (21%) ajustaram-se melhor às séries de valores decendiais de *P*, enquanto Normal (52%) e Gama (34%) ajustaram-se melhor as séries de valores decendiais de *ET_o*. A *P_{75%}* total média provável foi menor que a *ET_{o25%}* total média provável. A *P_{75%}* foi maior durante as estações verão e outono na região litorânea e centro-norte. Os maiores valores de *ET_{o25%}* ocorreram na região leste/sudeste, independente da estação do ano.

Palavras-chave: Componentes hídricas, função densidade de probabilidade, teste de aderência, parâmetros estatísticos.

INTRODUÇÃO

A escassez dos recursos hídricos em regiões com sazonalidade em disponibilidade de água requer atividades de controle, uso e manejo adequado. O setor agrícola é o de maior exigência quanto à quantidade de água devido a demanda para o desenvolvimento das culturas, tornando-se relevante o estudo sobre as componentes hídricas, como a precipitação pluvial e evapotranspiração (Silva et al., 2011). O Estado do Piauí possui características climáticas distintas, com diferentes tendências que interferem na produção agrícola. Estudos prováveis da ocorrência de precipitação e evapotranspiração de referência em áreas com baixos índices pluviométricos auxiliam o planejamento de atividades agrícolas (Tagliaferre et al. 2012; Barreto et al., 2015).

A evapotranspiração de referência (*ET_o*) é importante para o dimensionamento de sistemas e manejo de água para irrigação, e seus valores podem ser medidos ou estimados. Contudo, devido à complexidade e dificuldade de realizar medidas, a estimativa da *ET_o* é muito utilizada, sendo que existem inúmeros métodos para essa finalidade (Souza, 2017). O método de Penman-Monteith considera variáveis como a temperatura e umidade relativa máxima e mínima do ar, velocidade do vento e radiação solar, sendo recomendado como método padronizado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO). O método é considerado internacionalmente o mais apropriado para estimar a *ET_o* (Allen et al., 1998).

As distribuições e funções densidade de probabilidade são bastante utilizadas em trabalhos probabilísticos envolvendo variáveis climáticas, como a precipitação pluvial e evapotranspiração de referência (Souza et al., 2014; Jerszurki et al., 2015; Gurski et al., 2017). A função densidade de probabilidade (*fdp*) descreve a chance que uma variável pode assumir considerando séries de valores (Denski e Back, 2015). A escolha da *fdp* para determinada variável é realizada conforme o melhor ajuste com as séries históricas, estando diretamente ligada à natureza dos dados a que ela se relaciona (Souza et al., 2014; Barreto et al., 2015).

Existem diversas *fdp*'s para estimar a frequência de ocorrência de variáveis climáticas. As *fdp*'s Beta, Normal, Log Normal e Gama são as mais indicadas para estudo da evapotranspiração (Denski e Back, 2015). A *fdp* Gama e Log-Normal são as mais utilizadas para a estimativa da precipitação (Assis et al., 1996). Saad e Scaloppi (1988) recomendam que não se deve trabalhar com nível de probabilidade de ocorrência de precipitação inferior a 50%. Doorenbos e Pruitt, (1977) recomendam a escolha de valores que tenham probabilidade de ocorrer, em média, três vezes a cada quatro anos, para minimizar os riscos e custos na elaboração de projetos agrícolas baseando-se na *ET_o*. Níveis mais elevados de probabilidade (80 a 90%) são selecionados para culturas de grande valor econômico e condições reduzidas de água disponível no solo (Pruitt et al., 1972; Jensen, 1974). Saad e Scaloppi (1988) consideram que nas condições de irrigação complementar normalmente são utilizados níveis que variam entre 50 e 75% para a precipitação pluviométrica.

Como o estudo das variações climáticas é estratégia para dimensionamento de sistemas agrícolas, teve-se por objetivo no presente trabalho determinar os parâmetros estatísticos de cinco funções densidade de probabilidade (*fdp*; Gama, Normal, Triangular, Uniforme e Exponencial), ajustadas aos valores decendiais observados de precipitação pluvial (*P*) e evapotranspiração de referência (*ET_o*) prováveis no Estado do Piauí, bem como calcular os valores da *ET_o* e *P* com 25% e 75% de probabilidade, respectivamente.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Estado do Piauí, localizado na região Nordeste do Brasil, abrangendo área aproximada de 251.529,2 km². O Estado do Piauí apresenta dois tipos climáticos, conforme a classificação de Álvares et al. (2013): *Aw* e *BSh*. O clima tropical quente e úmido (*Aw*) caracteriza-se pela ocorrência de chuvas no verão e inverno seco, com precipitação anual acima de 800 mm. O clima semi-árido seco e quente (*BSh*) apresenta chuvas de verão e inverno seco, com precipitação anual inferior a 500 mm e evapotranspiração potencial anual superior à precipitação anual. Os valores de temperatura variam entre 28 °C e 30 °C na região centro-norte, e entre 26 °C a 28 °C nas regiões sul e leste. As maiores umidades relativas do ar (70% a 75%) predominam na região centro-norte, e os menores (60% a 65%) na região sudeste (Andrade Junior et al., 2009).

No presente estudo, utilizou-se o *grid* de dados climáticos especializados provenientes da pesquisa realizada por Xavier et al. (2016). As fontes dos dados foram o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional das Águas (ANA) e o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), provenientes de estações meteorológicas convencionais e automáticas, no período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2015, totalizando série histórica de 36 anos. Os dados climáticos utilizados foram:

- Precipitação pluviométrica (*P*), medidos diariamente em pluviômetros; e,
- Evapotranspiração de referência (*ET_o*), calculados por Xavier et al. (2016) conforme a *Food and Agriculture Organization* (FAO), usando o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

Várias abordagens foram desenvolvidas para interpolar os dados de *ET_o* e *P*. Conforme considerações realizadas por Xavier et al. (2016), foram testadas diferentes metodologias de interpolação: média aritmética, interpolação natural, *spline*, ponderação da distância inversa, ponderação de distância angular e *krigagem* ordinária. O melhor interpolador foi obtido por meio do procedimento de validação cruzada, e os dados meteorológicos foram espacializados em *grid* regular na resolução de 0,25° x 0,25°, cobrindo todo o Estado do Piauí, totalizando 330 pontos (FIGURA 1).

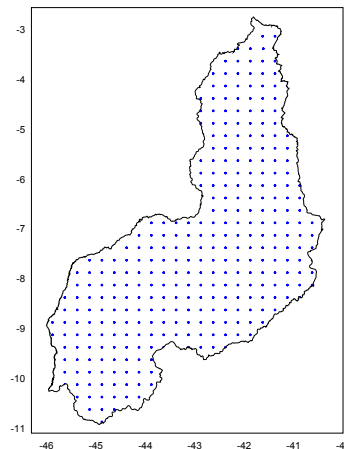


FIGURA 1– *Grid* regular 0,25° x 0,25°, contendo os 330 pontos no Estado do Piauí, em que foram analisados os valores diários de *ET_o* e *P*, agrupados em decêndios.

Obteve-se dados meteorológicos diários (36 anos), formando *grid* regular contendo 330 localidades. Os dados diários de *ETo* e *P* foram somados e agrupados em período de dez dias (decêndios), totalizando 37 decêndios por ano. O trigésimo sétimo decêndio de cada ano foi composto pelos cinco ou seis (ano bissexto) últimos dias do ano.

Os procedimentos e cálculos necessários no presente trabalho foram organizados e realizados com o auxílio de planilha eletrônica, contendo rotinas desenvolvidas especialmente para essa finalidade (Souza et al., 2013), seguindo as recomendações de Souza et al. (2018). Os procedimentos estão descritos a seguir:

- i) Os dados diários de *ETo* e *P* foram tabulados e agrupados em períodos de dez dias (decêndios), separando-se os decêndios sem ocorrência de precipitação (P_o) dos com precipitação diferente de zero;
- ii) Cálculo dos parâmetros estatísticos das cinco *fdp*'s testadas (Gama, Normal, Exponencial, Triangular e Uniforme), com as séries de valores decendiais observados de *ETo* e *P*;
- iii) Realização dos testes de aderência seguindo a metodologia de Kolmogorov-Smirnov (Assis et al., 1996; Souza, 2018), a 5% de probabilidade;
- iv) Determinação dos valores prováveis decendiais de *P* à 75%, e *ETo* a 25% de probabilidade para cada localidade do *grid* regular.

$$P_{75\%} = P(P_{75\%} \in P \mid P_i \geq P_{75\%}) = 75\%$$

$$ETo_{25\%} = P(ETo_{25\%} \in ETo \mid ETo_i \geq ETo_{25\%}) = 25\%$$

A $P_{75\%}$ refere-se ao valor decendial de P_i que tenha 75% de probabilidade de ser igualado ou superado, o que corresponde à probabilidade da precipitação P_i ocorrer três vezes a cada quatro anos ou com tempo de retorno $T = 1,33$ anos, em média. A $ETo_{25\%}$ refere-se ao valor decendial de evapotranspiração ETo_i que tenha 25% de probabilidade de ser igualado ou superado, o que corresponde à probabilidade da evapotranspiração ETo_i ocorrer uma vez a cada quatro anos ou com tempo de retorno $T = 4$ anos, em média (Gurski, 2018).

Com os valores decendiais prováveis calculados foram gerados mapas de *ETo* e *P* prováveis para todo o Estado do Piauí. Os mapas foram gerados com a interpolação dos dados prováveis obtidos de *ETo* e *P*, com o programa *Surfer* 8.0. O método empregado para a interpolação dos dados foi a *krigagem* ordinária.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos 12210 testes de aderência realizados para cada variável climática analisada (precipitação e evapotranspiração de referência) permitiram verificar a ocorrência de diferentes *fdp*'s nos ajustes as séries de valores decendiais, com os testes de aderência. Na TABELA 1 encontram-se as frequências das funções de densidade de probabilidade mais indicadas para estimar a *P* e *ETo*.

Os valores médios decendiais no período de 36 anos estão apresentados na FIGURA 2. O Estado do Piauí apresenta dois períodos bem definidos, correspondendo com a natureza dos eventos de *P* e *ETo*. A *ETo* é superior no período mais seco entre o 11º (11/04 a 20/04) e 37º (27/12 a 31/12) decêndios, e a *P* é superior durante o período mais chuvoso, entre o 1º (01/01

a 10/01) e 10° (01/04 a 10/04) decêndios, aproximadamente. A partir do 12° (21/04 a 30/04) decêndio a ET_o foi superior à precipitação até o 37° (27/12 a 31/12) decêndio, correspondendo a maior probabilidade de ausência de precipitação ($P = 0$), caracterizando a tendência das variáveis na classificação climática de Köppen, para o Estado do Piauí.

TABELA 1 – Frequência das funções densidade de probabilidade (N – Normal; G – Gama; T – Triangular; E – Exponencial; U – Uniforme) de melhor ajuste para precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_o), para o Estado do Piauí.

Especificação	----- Função densidade de probabilidade (f_{dp}) -----									
	----- Melhor ajuste para $P_{75\%}$ -----					----- Melhor ajuste para $ET_{o25\%}$ -----				
	*N	T	G	E	U	N	T	G	E	U
Soma (unidades)	1173	191	8215	2589	42	6395	1390	4143	0	282
Porcentagem (%)	10%	2%	67%	21%	0,3%	52%	11%	34%	0%	2%

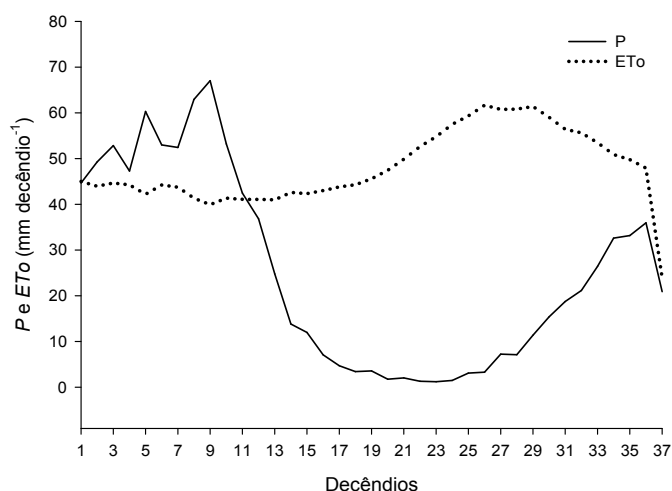


FIGURA 2 – Valores médios decendiais de P e ET_o , nos 37 decêndios do ano, considerando período de 36 anos, no Estado do Piauí.

O Estado do Piauí apresenta aspectos climáticos extremamente variáveis. A precipitação pluviométrica concentra-se nas estações verão e outono na região litorânea e centro-norte (FIGURA 3ab). Os valores mais elevados de umidade relativa do ar (70% a 75%) também ocorrem justamente nas áreas onde predominam a maior concentração da precipitação no Estado, apresentando verão chuvoso e inverno seco conforme a classificação de Köppen (Álvares et al., 2013). Durante a primavera, na região sul/sudoeste do Estado (FIGURA 3d) tem-se tendência bem característica da região (Álvares et al., 2013), ocorrendo chuvas ocasionais e período favorável para o plantio da cultura da soja na região, se estendendo até o verão. Apenas em uma localidade (norte) no inverno (FIGURA 3c) verificou-se risco de baixa precipitação com chuvas inferiores a 2 mm decêndio⁻¹.

Os maiores valores de $ET_{o25\%}$ ocorreram na área de abrangência da região semiárida (leste/sudeste), durante as quatro estações analisadas (FIGURA 4). São regiões que possuem alta incidência de energia solar, e o aumento da temperatura do ar contribui para a ocorrência

da ET_o . Além disso, a região é bem seca, apresentando precipitação pluviométrica entre 400 a 600 mm por ano (Andrade Júnior et al., 2009), o que agrava os problemas hídricos para o consumo humano, animal e destinado à agricultura. Gomes et al. (2005) estudando a ET_o mensal nos municípios do Estado do Piauí concluíram que as estimativas da ET_o apresentam dependência da localização geográfica (latitude e longitude) e da topografia local (altitude).

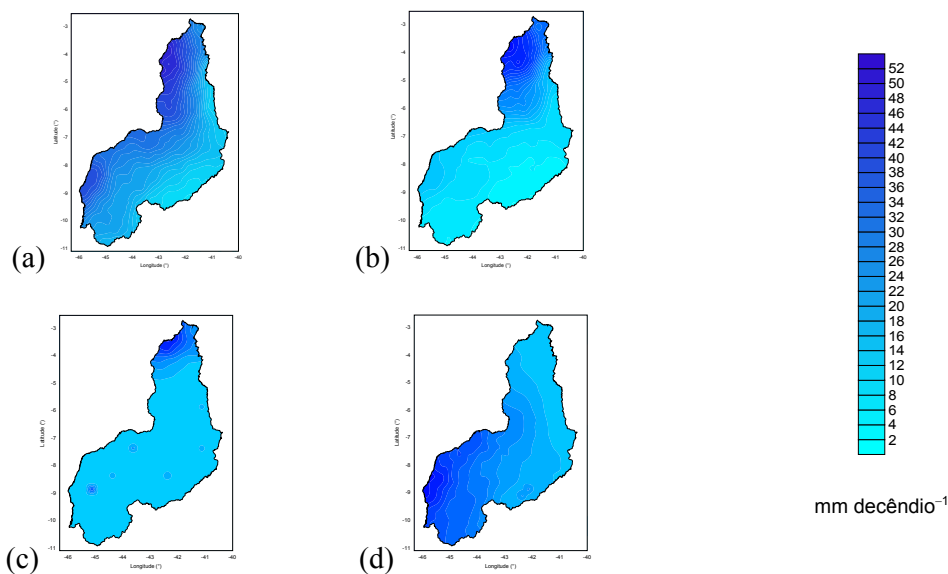


FIGURA 3 – Precipitação decenal média provável a 75% ($P_{75\%}$; mm decêndio⁻¹) no Estado do Piauí, nas estações: a) verão; b) outono; c) inverno; e, d) primavera.

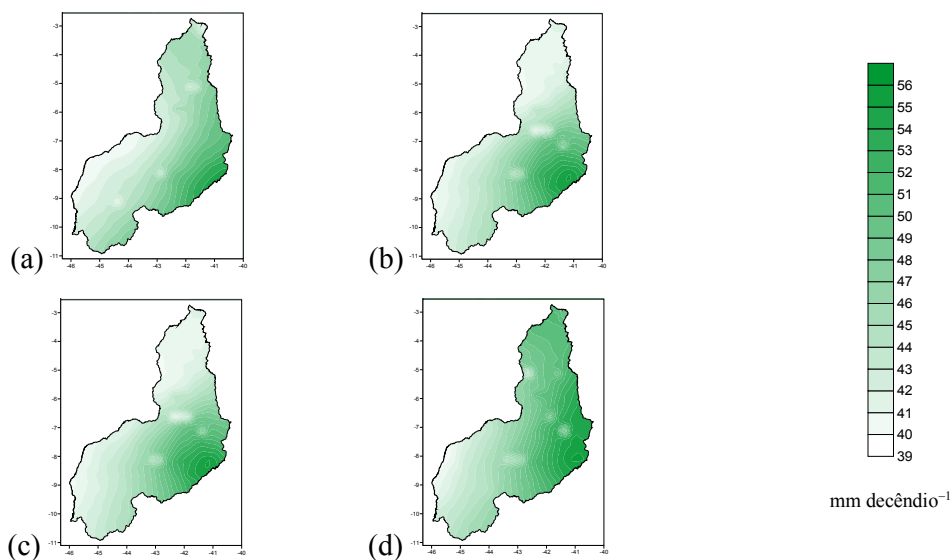


FIGURA 4 – Evapotranspiração de referência decenal média provável a 25% ($ET_{O25\%}$; mm decêndio⁻¹) no Estado do Piauí, nas estações: a) verão; b) outono; c) inverno; e, d) primavera.

CONCLUSÕES

As *fdp's* Gama e Exponencial apresentaram melhor ajuste as séries de valores decendiais de *P*, e as *fdp's* Normal e Gama ajustaram-se melhor as séries de valores decendiais de *ET_o*.

A *P_{75%}* foi maior durante as estações verão e outono na região litorânea e centro-norte. Os maiores valores de *ET_{o25%}* ocorre na região leste/sudeste, independente da estação do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998.

ÁLVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.J.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, 2013; p. 11-728, 2013.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA F.A.M.; LIMA M.G.; AMARAL J.A.B. Zoneamento de aptidão climática para o algodoeiro herbáceo no Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 175-184, 2009.

ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas, 1996.

BARRETO, H.B.F.; PEREIRA, G.M.; SANTOS W.O.; FREIRE, F.G.C.; MAIA P.M.E. Avaliação de funções de probabilidade e relação-intensidade-duração-frequência para precipitação extrema em Nepomuceno-MG. **Global Science and Technology**, v. 08, n. 02, p.118-127, 2015.

DENSKI, A.P.N.; BACK, A.J. Aderência de distribuições de probabilidade de evapotranspiração de referência decendial. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome, 1977.

GOMES, A.A.N.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; MEDEIROS, R.M. Evaporação de referência mensal para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 560-564, 2005

GURSKI, B. C. **Componentes hídricas prováveis e zoneamento de risco agroclimático para o Estado do Paraná**. Curitiba, 2018. 134p. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

GURSKI, B.C.; SOUZA, J.L.M.; BARROCA, M.V.; XAVIER, A.C.; JERSZURKI, D. **Evapotranspiração de referência e precipitação pluviométrica prováveis no Estado do Paraná**. In: V Congresso Online - Agronomia, São Paulo, 2017.

JENSEN, M. E. Consumptive use of water and irrigation water requirements. ASCE, p. 215.1974.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J.L.M.; EVANGELISTA, A.W.P. Probabilidade e variação temporal da evapotranspiração de referência na região de Telêmaco Borba – PR. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 2, p.118-129, 2015.

PRUITT, W.O.; OETTINGEN, S.; MORGAN, D.L. Central California evapotranspiration frequencies. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 98, n. 2, p. 177-184, 1972.

SAAD, J.C.C.; SCALOPPI, E.J. Frequência de distribuição de evapotranspiração para dimensionamento de sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis, SC. **Anais**. Florianópolis: ABID, 1988. p. 1037-1052.

SILVA, A.O.; MOURA, G.B.A.; SILVA, E.F.F.; LOPES, P.M.O.; SILVA, A.P.N. Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência sob diferentes regimes de precipitação em Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 135-142, 2011.

SOUZA, J. M. L. **Ciclo da água na agricultura: fundamentos para o estudo do sistema solo-planta-atmosfera**. Curitiba: Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2017.

SOUZA, J. M. L. **Fundamentos de matemática e estatística para formulação de modelos e análise de dados**: aplicado às ciências agrárias. Curitiba: Plataforma Moretti /DSEA/SCA/UFPR, 2018.

SOUZA, J.L.M.; JERSZURKI, D.; DAMAZIO, E.C. Relações funcionais entre precipitação provável e média em regiões e climas brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n.7, p. 693-702, 2013.

SOUZA, J.L.M.; JERSZURKI, D.; GOMES, S. Precipitação e evapotranspiração de referência prováveis na região de Ponta Grossa-PR. **Irriga**, v. 19, n. 2, p. 279-291, 2014.

TAGLIAFERRE, C.; SILVA, J.P.; PAULA, A.; GUIMARAES, D.U.G.; BARROSO N.I.S. Estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 25, p.136–143, 2012.

XAVIER, A.C.; KING, C.W.; SCANLON, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 2644-2659. 2016.