

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA A PARTIR DE EQUAÇÕES SIMPLIFICADAS

Giovane dos Anjos Aires¹, Maryjane Diniz de Araújo Gomes², Maurício Bruno Prado da Silva³, Fernando Braz Tangerino Hernandez⁴

RESUMO: Além de permitir o planejamento do uso racional dos recursos hídricos, a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) permite o gerenciamento das atividades agrícolas de uma região. Pois, possibilita o cálculo do volume de água a ser aplicado na agricultura irrigada. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho das equações de Hargreaves-Samani, Blaney e Criddle, Camargo, Priestley-Taylor, Turc, Makkink, Jensen-Haise e Linacre para região metropolitana de Belém do Pará. Para fazer a recomendação do modelo mais adequado para à região de estudo, foi realizado uma correlação entre a ET_o calculada por Penman-Monteith e pelas equações simplificadas. Foi usada uma série de dados de 12 anos da Estação Meteorológica Convencional de Belém-PA, através da metodologia de regressão linear simples. As equações que tiveram os piores ajustes em relação a equação padrão foram Linacre, Blaney e Criddle e Camargo e as que tiveram os melhores ajustes para região foram respectivamente: Jensen e Haise, Hargreaves e Samani, Turc, Makkink e Priestley e Taylor, sendo a equação de Jensen e Haise e Hargreaves e Samani as que obtiveram os melhores R².

PALAVRAS-CHAVE: agrometeorologia, agricultura irrigada, manejo de sistemas

DETERMINATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FROM SIMPLIFIED EQUATIONS

ABSTRACT: In addition to allowing the planning of the rational use of water resources, the estimation of the reference evapotranspiration (ET_o) allows the management of agricultural activities in a region, once it makes it possible to calculate the volume of water to be applied in irrigated agriculture. This research aimed to evaluate the performance of the Hargreaves-Samani, Blaney and Criddle, Camargo, Priestley-Taylor, Turc, Makkink, Jensen-Haise and

¹ Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), UNESP-FCA, giovane.aires@unesp.br

² Professora, Dr^a, Instituto Federal do Pará, gomes-mary@hotmail.com

³ Dr. Engenheiro Agrônomo, mauricio.prado19@hotmail.com

⁴ Professor, Dr., UNESP - Ilha Solteira, fernando.braz@unesp.br

Linacre equations for the metropolitan region of Belém do Pará. To make the recommendation of the most appropriate model for the region, a correlation was made between the ETo calculated by Penman-Monteith and the simplified equations. A 12-year data series from the Conventional Meteorological Station of Belém-PA was used, using the simple linear regression methodology. The equations that had the worst adjustments compared to the standard equation were Linacre, Blaney and Criddle and Camargo and those that had the best adjustments for the region were respectively: Jensen and Haise, Hargreaves and Samani, Turc, Makkink and Priestley and Taylor, the equation of Jensen and Haise and Hargreaves and Samani being the ones that obtained the best R².

KEYWORDS: agrometeorology; irrigated agriculture and systems management.

INTRODUÇÃO

De acordo com Monteiro (2009), a agricultura é a atividade econômica mais dependente das condições climáticas. Os elementos meteorológicos afetam não só os processos metabólicos das plantas, diretamente relacionados à produção vegetal, como também as mais diversas atividades no campo. O desenvolvimento da agricultura irrigada, principalmente nas regiões com os menores índices pluviométricos, leva à competição crescente pelo insumo água. Assim sendo, um eficiente manejo racional dos recursos hídricos deve ter início com a determinação da necessidade hídrica da cultura a ser irrigada, para tanto é necessário se conhecer, primariamente a evapotranspiração de referência (ET_o).

A ET_o é medida por meio de técnicas e princípios físicos relativamente complexos (ALLEN et al., 2011) e a forma direta mais precisa para sua estimativa é o balanço hídrico e o uso de lisímetros, utilizado para a calibração das equações empíricas com diferentes níveis de complexidade. Dentre os vários métodos indiretos existentes na literatura para estimativa da ET_o, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) recomendada como padrão, a equação de Penman-Monteith, publicada em seu Boletim 56 e calibração de outros métodos empíricos (ALLEN et al., 1998). Embora a equação de Penman-Monteith seja considerada com melhor desempenho na estimativa da ET_o, apresenta restrições quanto à grande quantidade de informações necessárias para seu cálculo, sendo necessárias diversos parâmetros agroclimatológicos de entrada tais como a temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade do vento e pressão atmosférica, nem sempre disponíveis devido aos investimentos necessários (PALARETTI et al., 2014a).

Existem diversas equações simplificadas que utilizam uma menor quantidade de variáveis agroclimatológicas para o cálculo da ETo, as quais foram validadas para diversas condições climáticas e Allen et al (1998) propõem equações simplificadas na falta de dados agrometeorológicos para o seu cálculo, como por exemplo a equação de Hargreaves, podendo ser usada como alternativa para a estimativa da evapotranspiração de referência, quando somente os dados de temperatura do ar são disponíveis nas estações meteorológicas.

Vale salientar que a escolha do método para o cálculo da ETo está diretamente ligada à disponibilidade dos dados climatológicos da localidade. Sendo assim, é necessário um estudo sobre qual método empírico para cálculo da ETo, ou seja, qual equação mais indicada para realidade local, dentre as diversas equações existentes na literatura. Este trabalho visou avaliar a estimativa da ETo utilizando equações simplificadas em comparação com a equação padrão de Penman-Monteith.

MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo, foram utilizados como base dados climatológicos diários referentes a um período de 12 anos (2007 a 2018) fornecidos pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia, obtidos da Estação Meteorológica Convencional de Belém-PA, registrada com o código OMM: 82191 situada a 7,13 m acima do nível do mar, apresentando as seguintes coordenadas geográficas Lat. 1°26'8.79"S; Long. 48°26'14.14"O.

Foi utilizado o uso de planilhas eletrônicas do ambiente Excel para a tabulação da série histórica de dados meteorológicos, para realização do cálculo da ETo por meio das equações descritas na Tabela 1, em que: Rn - saldo de radiação, em MJ m⁻² d⁻¹; G - fluxo de calor no solo, em MJ m² d⁻¹; T_{méd} - temperatura média do ar °C; U₂ - velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s - pressão de vapor de saturação (kPa); e_a - pressão de vapor real (kPa); Δ - tangente da curva de pressão de saturação de vapor, em kPa °C⁻¹; Y - constante psicométrica, kPa °C.; T_{máx} - temperatura máxima do ar, em °C; T_{mín} - temperatura mínima do ar, em °C; R_a - radiação solar extraterrestre, MJ m⁻² d⁻¹; p - percentagem das horas de luz solar possível em relação ao total anual, para um dado mês e latitude; UR_{min} - umidade relativa mínima diária (%); n - duração da insolação diária (h); N - duração máxima possível da insolação diária (h); F - fator de ajuste que varia de acordo com a temperatura média anual do local (F = 0,01 para T até 23°C; F = 0,0105 para T = 24°C; F = 0,011 para T = 25°C; F = 0,0115 para T = 26°C e F = 0,012 para T > 26°C); ND - número de dias do período; Q_o - radiação solar

no topo da atmosfera (mm dia⁻¹); ND - número de dias do período avaliado; λ - calor latente (2,45 MJ kg⁻¹); $\alpha = 1,26$; Δ - curva de saturação de vapor (KPa °C⁻¹); R_s - radiação solar (MJ m⁻² dia⁻¹); UR - umidade relativa do ar (%); h - é a altitude local (m); φ - latitude do lugar; T_{po} - temperatura média do ponto de orvalho (°C) e ea - pressão de vapor atual.

Foi realizado uma correlação entre a ETo calculada por Penman - Monteith (ALLEN et al., 1998) e pelas equações simplificadas, da série de dados de 12 anos, realizada mediante a metodologia de regressão linear simples.

Tabela 1. Métodos de estimativa da ETo pela equação padrão de Penman - Monteith e por equações simplificadas.

Métodos	Equações de estimativa da ETo	Variáveis de entrada
Penman- Monteith (P - M) (Allen et al, 1998)	$E_{To} (P-M) = \frac{0,408 * \Delta * (R_n - G) + Y * \frac{900}{T_{méd} + 273} * U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + Y (1 + 0,34 * U_2)}$	Rn; G; Tméd; U ₂ ; es; ea; Δ ; Y.
Hargreaves - Samani (1985)	$E_{To} (H-S) = 0,0023 * (T_{méd} + 17,8) * (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} * R_a;$	Tméd; Tmáx; Tmín; R _a .
Blaney e Criddle - FAO 24 (1977)	$E_{To} (B - C) = a + b * \left(p * (0,46 * T_{méd} + 8,13) \right);$ $a = 0,0043 * UR_{mín} - \left(\frac{n}{N} \right) - 1,41;$ $b = a_0 + a_1 * UR_{mín} + a_2 * \left(\frac{n}{N} \right) + a_3 * U_2 + a_4 * UR_{mín} * \left(\frac{n}{N} \right) + a_5;$	p; Tméd; UR _{mín} ; n; N e U ₂ .
Camargo (1971)	$E_{To} (C) = F * Q_o * T_{méd} * ND;$	F; ND; Q _o ; Tméd e ND.
Priestley e Taylor (1972)	$E_{To} (P - T) = \frac{\alpha}{\lambda} * \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * (R_n - G);$	λ ; α ; Δ ; Y; R _n e G.
Turc (1961)	$E_{To} (T) = 0,013 * \frac{T_{méd}}{T_{méd} + 15} * \frac{23,8856 * R_s + 50}{\lambda} \text{ para } UR \geq 50;$	λ ; Tméd; UR e R _s .
Makkink (1957)	$E_{To} (M) = 0,61 * \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * \frac{R_s}{\lambda} - 0,12;$	λ ; Δ ; Y; R _s
Jensen - Haise (1963)	$E_{To} (J - H) = R_s (0,025 * T_{méd} + 0,078);$ $R_s = \frac{R_s}{\lambda};$	Tméd e R _s
Linacre (1977).	$E_{To} (L) = \frac{500 \left(\frac{T_{méd} + 0,006 * h}{100 - \varphi} \right) + 15 (T_{méd} - T_{po})}{(80 - T_{méd})};$ $T_{po} = \frac{237,3 * \text{Log}(ea) - 156,8}{8,16 - \text{Log}(ea)};$	Tméd; φ ; T _{po}

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 e 2 é apresentado o comportamento dos valores da ETo estimados pelos métodos empíricos simplificados. Os melhores métodos são observados na Figura 1 (a, b, c e d) representados por Jensen e Haise, Hargreaves e Samani, Turc, Makkink e Priestley e Taylor, respectivamente, enquanto que os métodos que apresentaram um menor desempenho podem ser observados na Figura 2 (a, b e c), respectivamente Linacre, Blaney e Criddle e Camargo.

Observa-se na Figura 1 (a, b, c, d, e), os gráficos das análises de regressão dos valores estimados da ETo com coeficiente de determinação (R²) de 0,9307; 0,9201; 0,9064; 0,8992 e 0,8227, representando os modelos de Jensen e Haise, Hargreaves e Samani, Turc, Makkink e Priestley e Taylor, respectivamente. Percebe-se que este resultado indica que os métodos

citados são semelhantes ao método padrão (Penman-Monteith) visto que os valores de R² representam dispersão mínima dos dados e se aproxima do valor 1. Segundo Martínez (2005), o coeficiente determinação varia de 0 a 1, valores iguais 0 (zero) indica que o modelo analisado não possui correlação linear com o modelo padrão e valor 1 (um) significa ajuste linear perfeito.

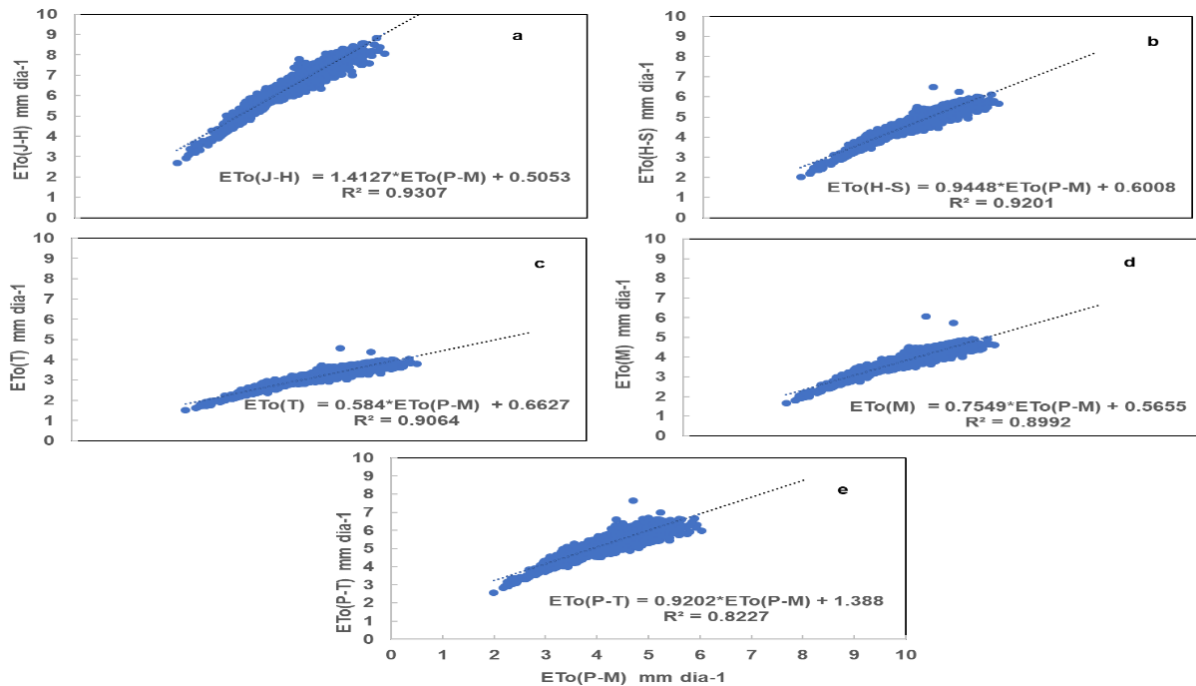


Figura 1. Correlações entre a $ET_{0(P-M)}$ estimada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 e pelos modelos simplificados de Jensen e Haise (a), Hargreaves - Samani (b), Turc (c), Makkink (d) e Priestley e Taylor (e) para a estação meteorológica convencional de Belém (PA).

As equações de Jensen e Haise, Priestley e Taylor, Turc e Makkink apresentaram R² variando entre 0,82 a 0,93, corroborando com os resultados encontrados por Lobato (2019) que analisando as mesmas equações empíricas citadas, para o nordeste paraense, encontrou R² superior a 80%. Porém, o mesmo autor encontrou R² de 0,35 utilizando a equação de Hargreaves e Samani contrapondo-se ao valor encontrado nesta pesquisa que foi de 0,92.

Carvalho et al. (2018) utilizando a equação de Hargreaves e Samani para a cidade de Campos Sales - CE, a qual é caracterizada por possuir um clima árido com precipitação média anual de 760 mm, constatou R² 0,51, podendo ser considerado um valor baixo. A literatura recomenda que a equação empírica de Hargreaves e Samani seja utilizada para regiões de clima árido, no entanto percebe-se que nem sempre os resultados encontrados refletem o esperado. Vale salientar que a estação meteorológica utilizada para esta pesquisa é de uma região de clima úmido e, mesmo assim, foi encontrado valores satisfatórios de R² utilizando a equação de Hargreaves e Samani e neste sentido, mesmo existindo uma recomendação das equações para determinadas características ambientais ratifica-se a necessidade de testá-las em regiões com diferentes características edafoclimáticas.

A Figura 2 demonstra a correlação de regressão linear simples entre a ETo pelo método de Penman-Monteith e as equações de Linacre (a), Blaney e Criddle (b) e Camargo (c), apresentando R^2 de 0,55; 0,42 e 0,13, respectivamente. Estas equações possuem poucas variáveis de entrada para o cálculo da ETo, sendo baseadas simplesmente na temperatura, umidade relativa do ar, latitude e radiação solar no topo da atmosfera. Segundo Rigoni et al. (2013), analisando equações empíricas que utilizam radiação solar e que possui ausência deste elemento meteorológico de entrada, afirma que estas equações apresentam R^2 baixo quando os métodos não se baseiam na radiação, confirmando os resultados desta pesquisa. Apesar da equação de Camargo possuir radiação solar no topo da atmosfera, pode-se inferir que esta parcela da radiação possui influência mínima na ETo em comparação com a radiação incidente na superfície da terra. Sanches et al. (2015), analisando as equações Hargreaves e Samani; Jensen e Haise; Linacre, Priestley e Taylor; Makkink e Thornthwaite, constaram que a metodologia de Linacre apresentou o pior ajuste em comparação com o método padrão, para algumas regiões do Estado do Pará, incluindo dados da estação meteorológica de Belém disponibilizados pelo INMET.

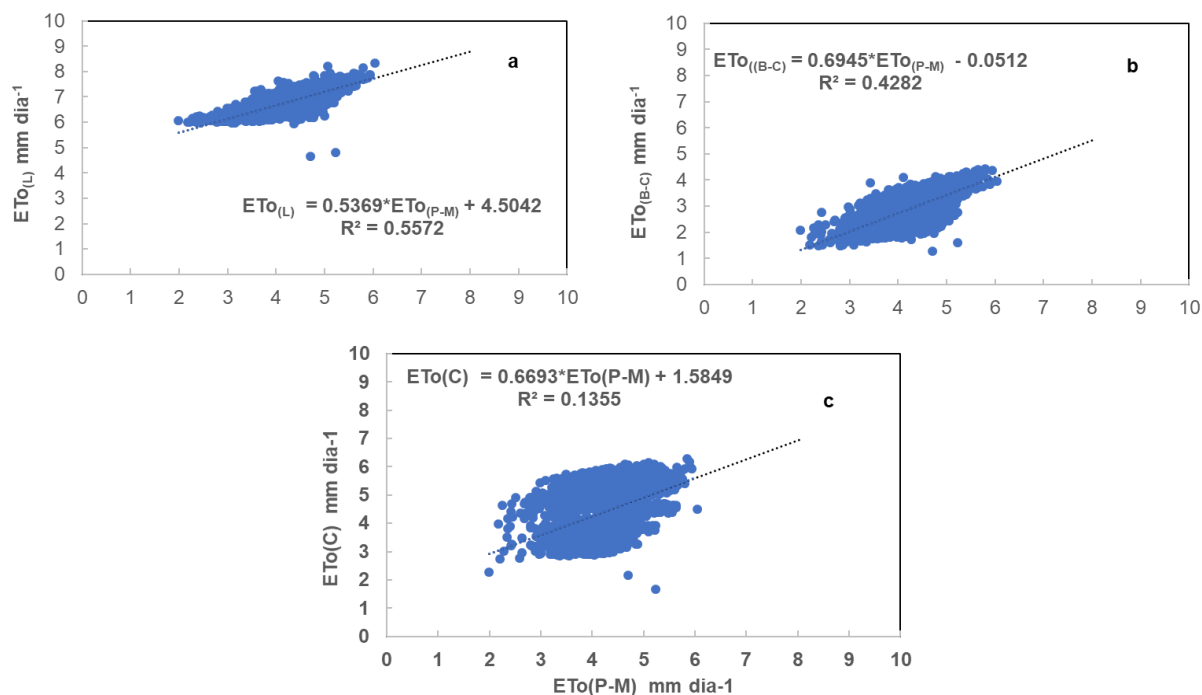


Figura 2. Correlações entre a ETo_(P-M) estimada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 e pelos modelos simplificados de Linacre (a), Blaney e Criddle (b) e Camargo (c) para a estação meteorológica convencional de Belém (PA).

Na presente pesquisa, percebe-se que os resultados encontrados da série de dados de 12 anos ratificam os resultados encontrados por Sanches et al. (2015), pois a equação de Linacre apresentou um R^2 de 0,55. Lima et al. (2019), analisando equações empíricas simplificadas comparadas com a equação de Penman-Monteith para 6 diferentes climas encontraram um R^2

de 0,41 na correlação de regressão linear simples com a equação de Blaney Criddle para Belém, a qual possui clima equatorial.

CONCLUSÕES

Conclui-se que os modelos simplificados de Jensen e Haise e Hargreaves - Samani foram os modelos com melhor ajuste à equação padrão de Penman-Monteith sendo uma adequada opção a regiões com baixa oferta de variáveis agroclimáticas, podendo ter a sua precisão aumentada com o ajuste por uma de regressão linear simples.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I Factors governing measurement accuracy. **Agricultural water management**, v. 98, p. 899-920, 2011.

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, 297p. (1998).

BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. O. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data**. Washington: USDA, 1950. 48 p. (Technical paper, n. 96).

CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no estado de São Paulo**. 3.ed. Campinas: IAC-Instituto Agrônômico de Campinas, Boletim n.116, p. 24, 1971.

CARVALHO, T. A.; BRASIL, J. B.; LIMA JÚNIOR, J. C.; MACÊDO, K. G. Evapotranspiração de referência para Campos Sales (CE): modelos combinados e empíricos. **Revista Geonorte**, v. 9, n. 32, p. 123-136, 2018.

HARGREAVES, G.L.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of the irrigation and drainage division-asce**, v. 111, n. 1, p. 113-124, 1985.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE**, v. 4, n. 1, p. 15-41, 1963.

LIMA, J. G. A.; VIANA, P. C.; ESPÍNOLA SOBRINO, J.; COUTO, J. P. C. Comparação de métodos de estimativa de ETo e análise de sensibilidade para diferentes climas brasileiros. **Irriga**, v. 24, n. 3, p. 538-551, 2019.

LINACRE, E. T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, v. 18, p. 409-424, 1977.

LOBATO, W. T. S. **Equações empíricas para determinação da evapotranspiração de referência no Nordeste Paraense**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Capitão Poço - PA. 2019. 37 p.

MAKKINK, G. F. Ekzamento de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 2, p. 290-305, 1957.

MARTÍNEZ R. E. Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. **Anuario Jurídico y Económico Escurialense**, n. 38, p. 315-332, 2005.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola** - Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Análise da sensibilidade dos componentes da equação de Hargreaves-Samani para a região de Bebedouro-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 299-306, 2014a.

PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux on evaporation using large scale parameters. **Monthly Weather Review**, v. 100, p. 81-92, 1972.

RIGONI, E. R.; OLIVEIRA, G.; BISCARO, G. A.; QUEIRÓZ, M.; LOPES, A. Desempenho sazonal da evapotranspiração de referência em Aquidauana, MS. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 6, p. 547-572, 2013.

SANCHES, F. M.; XIMENES, A. R.; CORADI, P. C.; ROQUE, C. G.; CUNHA, F. Estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte do Brasil. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 2, p. 19-31, 2015.

TURC, L. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. **Journal of Ann. Agron**, v. 12, p. 13-14, 1961.