

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 05/07/2021.

MAURÍCIO BRUNO PRADO DA SILVA

**ANÁLISE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ($ET_{oFAO-56}$) NO
PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA**

Botucatu

2019

MAURÍCIO BRUNO PRADO DA SILVA

**ANÁLISE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO_{FAO-56}) NO
PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. João Francisco Escobedo

Botucatu

2019

S586a Silva, Maurício Bruno Prado da
Análise da Evapotranspiração de Referência
(EToFAO-56) no Planalto Ocidental Paulista / Maurício
Bruno Prado da Silva. -- Botucatu, 2019
117 p. : il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: João Francisco Escobedo

1. Evapotranspiração de Referência (EToFAO-56). 2.
Estimativa de EToFAO-56. 3. Planalto Ocidental Paulista.
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca
da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

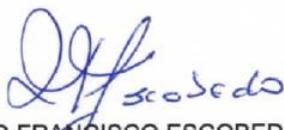
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ANÁLISE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ($ET_{o_{FAO-56}}$) NO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA

AUTOR: MAURÍCIO BRUNO PRADO DA SILVA

ORIENTADOR: JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



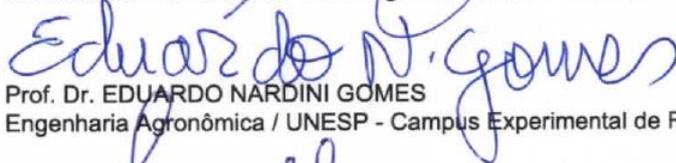
Prof. Dr. JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO
Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



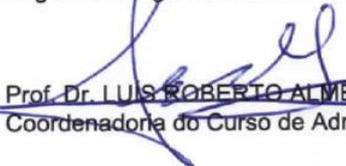
Prof. Dr. DIEGO AUGUSTO DE CAMPOS MORAES
Análise e Desenvolvimento de Sistemas / Faculdade Eduvale de Avaré



Prof. Dr. CARLOS ROBERTO PEREIRA PADOVANI
Informática / Faculdade de Tecnologia de Botucatu - FATEC



Prof. Dr. EDUARDO NARDINI GOMES
Engenharia Agrônômica / UNESP - Campus Experimental de Registro



Prof. Dr. LUIS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO
Coordenador do Curso de Administração / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Botucatu, 05 de julho de 2019

Aos meus queridos familiares

A minha querida Jéssica

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. João Francisco Escobedo pela amizade, competência profissional, excelente orientação e ensinamentos valiosos.

Aos professores que aceitaram o convite para compor a banca avaliadora de minha defesa de tese: Carlos Padovani, Eduardo Nardini, Diego Moraes e Luís Gabriel Filho.

A todos os amigos e colegas de grupo de pesquisa que conviveram comigo ao longo desses anos em Botucatu durante o período de mestrado e doutorado (2014-2019): André Decco, Adriano Marques, Angélica Castilho, Bartolomeu Tangune, Cícero Manoel, Érico Teramoto, Edson Bassetto, Esteban, Jancer Destro, Rocio e Taiza Rossi.

Aos demais amigos e colegas de outros programas de pós-graduação e repúblicas estudantis: Bruno Góes, Bruno Ricardo, Bruno Rodrigues, Cristiane Araújo, Franciana Sousa, Henrique Oldoni, Jannaylton Santos, Nelson Júnior, Lucas Holanda, Ramilos Rodrigues, Mikael Rodrigues, Natália Soares, Maria Clara Gama, Maryjane Gomes, Rafael Lima, Ricardo Vasconcelos, Thalyson Medeiros, Wendell Silva, entre tantos outros.

Aos amigos do Centro Espírita Fraternidade pelos bons momentos compartilhados e pelos intensos trabalhos em prol de ajudar o próximo.

A minha querida namorada Jéssica Maiara Ferrari por todo amor e carinho dedicado ao longo de minha jornada no doutorado.

Aos meus queridos e amados familiares: Darcy Prado (voinha), Jailto Santos (voinho), Maurício Castro (painho), Nancy Prado (mainha), Nelcy Prado (tia), Dedé (tia), Jailto Prado (irmão), que, mesmo à distância, sempre estiveram vibrando e torcendo muito por mim nesta jornada. Também gostaria de agradecer nessas considerações a minha avó materna Maria Castro da Silva (*In memoriam*) por tudo que representou em minha família.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de auxílio financeiro.

RESUMO

Neste trabalho são desenvolvidos modelos de estimativa e interpolação espacial para a Evapotranspiração de Referência (ET_{FAO-56}), modelo de Penman-Monteith, na Região do Planalto Ocidental Paulista (composta pelas regiões intermediárias de São José do Rio Preto e Ribeirão Preto do Estado de São Paulo/Brasil): Análise de Componentes Principais (ACP), Regressões Múltiplas (RM) [Regressões Lineares Múltiplas (RLM) e Regressões Não Lineares Múltiplas (RNLM)] e técnicas de Aprendizado de Máquinas (AM) [*Multilayer Perceptron* (MLP), *Adaptative Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS), *General Regression Neural Network* (GRNN) e *Support Vector Machine* (SVM)], no primeiro capítulo; Krigagem Ordinária (KO) e Mínima Curvatura (MC), no segundo capítulo. O desenvolvimento deste tipo de estudo é de grande importância para otimizar a gestão de recursos hídricos e planejamento da irrigação. A base de dados climáticos utilizada no cálculo de ET_{FAO-56} é do período de 2013-2017 de 30 localidades da região de estudo. Para a validação dos modelos nos dois estudos foi considerada a ET_{FAO-56} como referência por meio dos indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (R^2), *Mean Square Error* (MSE), *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Bias Error* (MBE), e índice de concordância de Willmott (d). Os resultados do primeiro estudo mostraram os melhores desempenhos em sequência: ET_{OMLP4} ($rRMSE = 0,62\%$), $ET_{OANFIS4}$ ($rRMSE = 0,75\%$), ET_{OSVM4} ($rRMSE = 1,19\%$), ET_{ORLM4} ($rRMSE = 5,23\%$), ET_{ORNLM4} ($rRMSE = 6,39\%$) e ET_{OACP} ($rRMSE = 9,32\%$). Os resultados obtidos do segundo estudo mostraram que a performance (RMSE) dos modelos anuais e sazonais de interpolação espacial ET_{OMC} variaram entre 0,11 – 0,14.

Palavras-chave: Evapotranspiração de Referência (ET_{FAO-56}); Estimativa de ET_{FAO-56} ; Planalto Ocidental Paulista

ABSTRACT

In this work, estimation and spatial interpolation models are developed for the Evapotranspiration Reference (ET_{FAO-56}), Penman-Monteith model, in the Western Plateau Paulista Region (composed by the intermediate regions of São José do Rio Preto and Ribeirão Preto of the State of São Paulo/Brazil): Principal Component Analysis (PCA), Multiple Regressions (RM) [Multiple Linear Regressions (RLM) and Multiple Nonlinear Regressions (RNLM)] and Machine Learning (ML) techniques [Multilayer Perceptron (MLP) Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS), General Regression Neural Network (GRNN) and Support Vector Machine (SVM)] in the first chapter; Ordinary Kriging (OK) and Minimum Curvature (MC) in the second chapter. The development of this type of study is of great importance to optimize water resource management and irrigation planning. The climate database used in the calculation of ET_{FAO-56} is from the 2013-2017 period from 30 locations in the study region. For the validation of the models in the two studies, the ET_{FAO-56} was considered as a reference by means of statistical indications: correlation coefficient (r), determination coefficient (R^2), Mean Square Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Bias Error (MBE), and Willmott's agreement index (d). The results of the first study showed the best performance in sequence: ET_{OMLP4} (rRMSE = 0.62%), $ET_{OANFIS4}$ (rRMSE = 0.75%), ET_{OSVM4} (rRMSE = 1.19%), ET_{ORLM4} (rRMSE = 5.23%), ET_{ORNLM4} (rRMSE = 6.39%) and ET_{OACP} (rRMSE = 9.32%). The results obtained from the second study showed that the performance (RMSE) of the annual and seasonal ET_{OMC} spatial interpolation models ranged from 0.11 to 0.14.

Keywords: Reference Evapotranspiration (ET_{FAO-56}); ET_{FAO-56} estimate; Western Plateau Paulista

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	15
CAPÍTULO 1	17
ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ($ET_{O_{FAO-56}}$) NO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA (BRASIL) POR MEIO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP), REGRESSÕES MÚLTIPLAS (RM) E TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINAS (AM).....	17
1.1 INTRODUÇÃO	17
1.1.1 Evapotranspiração de Referência ($ET_{O_{FAO-56}}$)	21
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	23
1.2.1 Região de estudo e informações climáticas	23
1.2.2 Economia regional	25
1.2.3 Base de dados	25
1.2.4 Processamento da base de dados climáticos	27
1.2.5 Modelagem da Evapotranspiração de Referência ($ET_{O_{FAO-56}}$)	28
1.2.5.1 Técnica Multivariada: Análise de Componentes Principais (ACP).....	28
1.2.5.2 Técnicas de Regressões Múltiplas (RM).....	30
1.2.5.3 Técnicas de Aprendizado de máquinas (AM).....	31
1.2.6 Análise dos dados e validação de modelos.....	36
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
1.3.1 Modelo 1: Análise de Componentes Principais (ACP).....	39
1.3.2 Modelos 2.....	43
1.3.2.1 Análise exploratória dos dados climáticos.....	43
1.3.2.2 Modelo 2: RLM e RNLM.....	46
1.3.3 Modelo 3.....	53
1.3.3.1 Modelo 3: AM: MLP, ANFIS, GRNN e SVM	53
1.3.4 Comparação de desempenho estatísticos dos modelos.....	63
1.4 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS.....	67
CAPÍTULO 2	77
COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ($ET_{O_{FAO-56}}$) NO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA.....	77
RESUMO.....	77
2.1 INTRODUÇÃO	77

2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	79
2.2.1 Região de estudo e informações climáticas	79
2.2.2 Economia regional.....	81
2.2.3 Base de dados.....	81
2.2.4 Processamento da base de dados climáticos.....	83
2.2.5 Estatística descritiva	84
2.2.6 Métodos de Interpolação Espacial (IE)	84
2.2.7 Análise da precisão dos modelos de IE.....	88
2.2.7.1 Validação cruzada dos métodos de IE.....	88
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
2.3.1 Análise da estatística descritiva.....	90
2.3.2 Validação cruzada dos métodos: KO e MC	91
2.4 CONCLUSÃO.....	96
REFERÊNCIAS	97
CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	103
APÊNDICE A – Produção Agrícola do Planalto Ocidental Paulista.....	106
APÊNDICE B – Irradiação solar global no topo da atmosfera (Ho)	108
APÊNDICE C - Percentual de dados presentes.....	108
APÊNDICE D - Componentes Principais para cada variável climática	109
- Temperatura máxima:	109
- Temperatura mínima:	110
- Umidade relativa média:	111
- Velocidade dos Ventos:	112
APÊNDICE E – Distribuições de Frequência de EToFAO-56	113
APÊNDICE F – Matriz de pesos de (MLP)	114
APÊNDICE G – Modelo de Hargreaves-Samani (H-S).....	115
APÊNDICE H – Performance do treinamento das técnicas de Aprendizado de Máquinas (AM)	115
APÊNDICE I – Variogramas.....	116

INTRODUÇÃO GERAL

O processo de obtenção de medidas diretas de evapotranspiração geralmente é bastante complexo e difícil, de forma que a obtenção de medidas geralmente está restrita a institutos de pesquisa, tendo em vista os altos custos para implantação de técnicas micrometeorológicas e lisimétricas.

Outra dificuldade encontrada decorrente da obtenção de medidas diretas de evapotranspiração é o manuseio com complexos equipamentos de monitoramento de técnicas micrometeorológicas ou lisimétricas, além do processamento do alto volume de dados (SENTELHAS et al., 2010).

Como consequência das diversas dificuldades existentes para obtenção de medidas diretas de evapotranspiração, métodos indiretos são indicados para estimativa de evapotranspiração por meio de equações matemáticas capazes de ajustarem às condições climáticas locais. Atualmente, o método recomendado pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) é o método padrão de Penman-Monteith (P-M) (ALLEN et al., 1998), bastante difundido no mundo. O método de P-M é considerado o mais completo por seu embasamento físico e capacidade de ser adaptado a qualquer localidade, e sua principal desvantagem é a grande quantidade de variáveis climáticas utilizadas (ALLEN et al., 1998; LANDERAS et al., 2008).

Geralmente nações em desenvolvimento possuem poucos recursos para aquisição de sensores automáticos necessários à instalação de Estações Meteorológicas Automáticas (EMA's) (MARTÍ; ZARZO, 2012; SILVA et al., 2017). Situação semelhante ocorre também no Brasil, onde grande parte do território nacional não é contemplada pelas redes de estações meteorológicas. A maior parte das EMA's do país está concentrada na região Sudeste, principalmente no Estado de São Paulo (SANTOS et al., 2014; SILVA et al., 2017). Por isso, em diversas localidades do mundo é comum obter parcialmente algumas variáveis para fins de modelagem, como a temperatura e a umidade relativa do ar. Sendo, então, necessário recorrer a métodos alternativos mais simples e que exijam menos variáveis climáticas de entrada, como a temperatura do ar e a radiação solar, por exemplo. Por isso, o boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998) relata que na impossibilidade de utilização do modelo de P-M numa dada região, devido à insuficiência de variáveis climáticas de entrada, recomenda-se usar o modelo desenvolvido por Hargreaves e Samani (1985), em razão de ser um modelo prático e simples, que necessita apenas do aporte da temperatura do ar como variável climática de entrada.

Outros métodos são relatados na literatura como alternativos na estimativa de $ET_{\text{FAO-56}}$, pois podem ajustar-se às condições locais e às variáveis climáticas disponíveis: baseados na temperatura do ar (THORNTHWAITE, 1948; BLANEY e CRIDDLE, 1950; HAMON, 1961; BENEVIDES e LOPEZ, 1970; HARGREAVES e SAMANI, 1985), na radiação solar (MAKKINK, 1957; TURC, 1961; JENSEN e HAISE, 1963; ABTEW, 1966; PRIESTLEY e TAYLOR, 1972; IRMAK et al., 2003), na transferência de massa (DALTON, 1802; TRABERT, 1896; MEYER, 1926; ROHWER, 1931; PENMAN, 1948; ALBRECHT, 1950; ROMANENKO, 1961; BROCKAMP e WENNER, 1963; MAHRINGER, 1970) e no Tanque Classe A (CUENCA, 1989; ALLEN e PRUITT, 1991; SNYDER, 1992; PEREIRA et al., 1995; ALLEN et al., 1998).

Atualmente, outras técnicas computacionais vêm sendo testadas frequentemente em estudos com $ET_{\text{FAO-56}}$ com sucesso, principalmente em razão da capacidade dessas técnicas em lidar com problemas considerados de natureza não linear, como a $ET_{\text{FAO-56}}$, por exemplo. Dentre as técnicas computacionais mais difundidas na modelagem de $ET_{\text{FAO-56}}$, destacam-se as Regressões Múltiplas (RM) e o Aprendizado de Máquinas (AM) (ALTHOFF et al., 2018; TANGUNE e ESCOBEDO, 2018), sobretudo em estudos com abrangência local. No entanto, em áreas de grandes dimensões (regiões, perímetro de irrigação ou bacias hidrográficas, por exemplo), outras técnicas como Análise de Componentes Principais (ACP), interpolação espacial [Krigagem Ordinária (KO)] e o Sensoriamento Remoto (SR), vêm ganhando espaço em estudos da estimativa da $ET_{\text{FAO-56}}$ (VANDERLINDEN et al., 2008; MARTÍ e ZARZO, 2012; FERREIRA SILVA et al., 2018).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho dessas técnicas na geração de modelos no Planalto Ocidental Paulista (integração das regiões intermediárias de São José do Rio Preto e Ribeirão Preto do Estado de São Paulo), como forma de auxiliar no gerenciamento de recursos hídricos em projetos de irrigação para fornecimento adequado de suprimento hídrico em cultivares predominantes desta região. Com isso, são levantadas duas hipóteses e conclui-se que:

- A técnicas ACP é viável no preenchimento de dados faltantes e estimativa de $ET_{\text{FAO-56}}$, assim com as técnicas de AM (MLP, ANFIS e SVM), mediante treinamento;
- A técnica de interpolação espacial Krigagem Ordinária (KO) não é viável para a realização da interpolação espacial de $ET_{\text{FAO-56}}$.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados nos dois capítulos deste estudo, conclui-se que:

- Entre as técnicas utilizadas para estimativa da Evapotranspiração de Referência: os modelos de Regressões Múltiplas (RM) da quarta combinação se revelaram mais práticos e acessíveis para predição desta variável em razão de sua maior simplicidade e menor esforço computacional, quando comparados aos modelos de Aprendizado de Máquinas (AM). E que a técnica multivariada de Componentes Principais (CP) revelou-se bastante interessante para preenchimento de valores faltantes da base de dados, análise exploratória das variáveis climáticas e predição de $ET_{O_{FAO-56}}$. Esta técnica analisa o efeito conjunto das variáveis e determina gradualmente a variável mais importante para a construção de modelos de estimativa de $ET_{O_{FAO-56}}$. E também é capaz de realizar estimativa de $ET_{O_{FAO-56}}$ com base na proximidade entre as EMA's com boa precisão e exatidão.
- Que o método determinístico da Mínima Curvatura (MC) é o mais indicado para utilizar a base de dados de Evapotranspiração de Referência ($ET_{O_{FAO-56}}$) na região do Planalto Ocidental Paulista. Este método mostrou desempenho estatístico satisfatório após a validação cruzada.

REFERÊNCIAS

- ABTEW, W. Evapotranspiration measurements and modeling for three wetland systems in South Florida. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 127, n. 3, pp. 140-147, 1966.
- ALBRECHT, F. Die Methoden zur Bestimmung Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche. **Arch Meteor Geoph Biokl**, Serie, B2, v. 1–38, 1950.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. et al. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. pp. 50. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) - Irrigation and drainage paper 56**, Rome, 1998.
- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. FAO-24 reference evapotranspiration factors. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 175, n. 5, pp. 758 - 773, 1991.
- ALTHOFF, D.; BAZAME, H. C.; FILGUEIRAS, R. et al. Heuristic methods applied in reference evapotranspiration modeling. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 3, pp. 314-324, 2018.
- BENEVIDES, J. G; LOPEZ, D. Formula para el caculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N - 15° S). **Agronomia Tropical**, v. 20, n. 5, pp. 335-345, 1970.
- BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. **Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data**. USDA. SCSTP- 96, p. 48, 1950.
- BROCKAMP, B.; WENNER, H. Verdunstungsmessungen auf den Steiner See bei Münster. **Dt Gewsserkuändl**, Mitt. 7, pp. 149–154, 1963.
- CUENCA, R. H. Irrigation system design: an engineering approach. **Prentice-Hall, Englewood Cliffs**, NJ, p. 133, 1989.
- DALTON, J. M. Experimental essays on the constitution of mixed gases; on the force of steam of vapour from waters and other liquids in different temperatures, both in a torricellian vacuum and in air on evaporation and on the expansion of gases by heat. **Memoirs and proceedings of the Manchester Literary e Philosophical Society**, v. 5, pp. 535-602, 1802.
- FERREIRA SILVA, C. O.; MANZIONE, R. L.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. Large-Scale Spatial Modeling of Crop Coefficient and Biomass Production in Agroecosystems in Southeast Brazil. **Horticulturae**, doi: 10.3390/horticulturae 4040044, 2018.
- HAMON, W. R. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of the Hydraulics Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers**, v. 87, pp. 107-120, 1961.
- HARGREAVES, G. H, SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 2, pp. 96-99, 1985.
- IRMAK, S.; IRMAK, A.; ALLEN, R. G.; JONES, J. W. Solar and net radiation based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 5, pp. 336-347, 2003.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Proceeding of the Journal of Irrigation and Drainage Division: American Society of Civil Engineers**, v. 89, pp. 15-41, 1963.

LANDERAS, G.; ORTIZ-BARREDO, A.; LÓPEZ, J. J. Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). **Agricultural Water Management**, v. 95, pp. 553-565, 2008.

MAHRINGER, W. Verdunstungsstudien am Neusiedler See. **Arch Met Geoph Biokl Ser B**, v. 18, pp. 1–20, 1970.

MAKKINK, G. F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. **Journal of the Institution of Water Engineers**, v. 11, n. 3, pp. 277-288, 1957

MARTÍ, P.; ZARZO, M. Multivariate statistical monitoring of ETo: A new approach for estimation in nearby locations using geographical inputs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 152, pp. 125 - 134, 2012.

MEYER, A. Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. **Chemie de Erde**, v. 2, pp. 209 - 347, 1926.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. **Proceedings of the Royal Society**, London, v. 193, n. 1, p. 120-146, 1948.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N.; PEREIRA, A. S. et al. A model for the class-A pan coefficient. **Agricultural Water Management**, v. 75, pp. 75-82, 1995.

PRIESTLEY, C. H. B., TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, v. 100, n. 2, pp. 81-92, 1972.

ROHWER, C. Evaporation from free water surface. **USDA Tech Null**, v. 217, 1-96, 1931.

ROMANENKO, V. A. Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. In: **Proceedings, Ukrainian Hydrometeorological Research Institute**, n. 3. Kiev, 1961.

SANTOS, C. M.; SOUZA, J. L.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. et al. On modeling global solar irradiation using air temperature for Alagoas State, Northeastern Brazil. **Energy**, v. 71, 338-398, 2014.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, v. 97, pp. 635-644, 2010.

SILVA, M. B. P.; ESCOBEDO, J. F.; SANTOS, C. M. et al. Performance of the Angstrom-Prescott Model (A-P) and SVM and ANN techniques to estimate the daily Global Solar Irradiation in Botucatu/SP/Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar–Terrestrial Physics**, v. 160, pp. 11-23, 2017.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 118, n. 6, pp. 977-980, 1992.

TANGUNE, B. F.; ESCOBEDO, J. F. Reference evapotranspiration in São Paulo State: Empirical methods and machine learning techniques. **International Journal of Water Resources and Environmental Engineering**, v. 10, n. 4, pp. 33-44, 2018.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 55–94, pp. 38, 1948.

TRABERT, W. Neue Beobachtungen über Verdampfungsgeschwindigkeiten. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 13, pp. 261-263, 1896.

TURC, L. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. **Annales Agronomiques**. V. 12, n. 1, pp. 13-49, 1961.

VANDERLINDEN, K.; GIRÁLDEZ, J. V.; MEIRVENNE, M. V. Spatial Estimation of Reference Evapotranspiration in Andalusia, Spain. **Journal of Hydrometeorology**, DOI: 10.1175/2007JHM880.1, 2008.