

# RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,  
o texto completo desta tese será  
disponibilizado somente a partir de  
30/12/2020.

**TIAGO APARECIDO VICENTIN**

**DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE UM ATMÔMETRO  
MODIFICADO NA SUPERFÍCIE EVAPORATIVA**

**Botucatu**

**2018**

**TIAGO APARECIDO VICENTIN**

**DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE UM ATMÔMETRO  
MODIFICADO NA SUPERFÍCIE EVAPORATIVA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia/Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román

Coorientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

**Botucatu**

**2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

V633d      Vicentin, Tiago Aparecido, 1985-  
Desenvolvimento e calibração de um atmômetro modificado na superfície evaporativa / Tiago Aparecido Vicentin. - Botucatu: [s.n.], 2018  
111 p.: fots. color., grafs. color., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018  
Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román  
Coorientador: Luís Roberto Almeida Gabriel Filho  
Inclui bibliografia

1. Manejo da irrigação. 2. Agrometeorologia. 3. Evapotranspiração. 4. Modelagem de sistemas. I. Sánchez Román, Rodrigo Máximo. II. Gabriel Filho, Luís Roberto Almeida. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

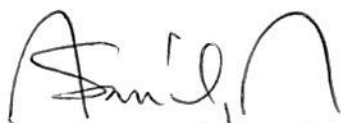
Título: **“DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE UM ATMÔMETRO MODIFICADO NA SUPERFÍCIE EVAPORANTE.”**

AUTOR: TIAGO APARECIDO VICENTIN

ORIENTADOR: RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN

COORDENADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

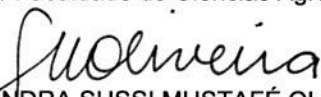
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN  
Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Prof. Dr. ENZO DAL PAI  
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Prof.ª Dr.ª KASSANDRA SUSSI MUSTAFÉ OLIVEIRA  
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. RADAMES JULIANO HALMEMAN  
Ciência da Computação / Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Dr. JUAN SINFORIANO DELGADO ROJAS  
. / Agro Ambiência Serv. Agr. Ltda

Botucatu, 30 de novembro de 2018.

Dedico esse trabalho a todos os pesquisadores do Brasil, que mesmo em momentos de crise, como o vivenciado nos últimos anos, mantiveram-se firme no propósito de fazer ciência.

Dedico essa obra à minhas avós, que no período de desenvolvimento deste trabalho se ausentaram desse mundo indo morar com Deus e ao meu avô Nestor que permaneceu forte ao meu lado.

*in memoriam*

*Luiza Reghini*

e

*Nassir Lopes Vicentin*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora da Conceição Aparecida pela força, aos meus pais Aderson e Eliana, ao meu irmão Anderson, e a minha noiva Valéria pela ajuda e paciência durante essa conquista.

Ao meu coorientador Prof. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho, pela amizade e honrosa ajuda no desenvolvimento estatístico desse trabalho.

Aos professores orientadores Odivaldo J. Seraphim e Rodrigo Sánchez Róman pela confiança em mim depositada.

Por fim aos amigos que estiveram presentes e que de alguma forma colaboraram com o desenvolvimento desse trabalho, cujo não poderia deixar de citar: William Bailo, Marcos Liodorio, Juan David, João Victor e Victor de Martin, e aos demais colaboradores da UNESP e amigos, meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“O conhecimento amplo e satisfatório sobre um processo ou fenômeno  
somente existira quando for possível medi-lo e expressa-lo por meios de  
números”

William Thomson – Lord Kelvin  
(1883)



## RESUMO

O avanço da engenharia de irrigação nas últimas décadas melhorou e simplificou o funcionamento dos sistemas, permitindo intervenções rápidas para recarregar a água no solo e ajustes qualitativos e quantitativos de seus nutrientes. A irrigação em seu conceito automático vai muito além dos componentes físicos do sistema (válvulas, motores e bombas). Um sistema complexo como esse requer técnicas especiais de controle, que, por sua vez, devem ser analisadas e baseadas em uma estratégia de manejo que leve em conta os dados do solo, cultura, clima (ambiente) ou uma associação destes. Das quatro formas possíveis de gerenciamento ou monitoramento de irrigação, o gerenciamento por variáveis de ambiente é o mais prático, no entanto, isso não significa que seja uma variável fácil de obter. Um indicador que explica o comportamento do ambiente que é fundamental para a adoção adequada do manejo da irrigação é a evapotranspiração. Sua determinação, no entanto, requer técnicas específicas que vão desde uma simples medição de temperatura até uma série de variáveis climáticas que exigem alto investimento em sua operação e manutenção. Existem duas maneiras de obter o valor da evapotranspiração, são chamadas de formas diretas e formas indiretas. Métodos diretos são métodos que efetivamente medem a quantidade de água transpirada pela planta e evaporada do solo; os indiretos são os métodos que, por meio de um indicador ambiental associado a coeficientes, estimam o valor da evapotranspiração de referência. Da categoria dos métodos indiretos, o atmômetro é o objeto de estudo desse trabalho. Atuando principalmente na reestruturação da cápsula porosa, propõe-se a melhoria deste equipamento visando um procedimento para estimar a evapotranspiração de referência. Para verificar esta modificação calcula-se a correlação entre a capacidade de evaporação dos atmômetros, em função da posição da impermeabilidade da cápsula porosa (fator cápsula), modelando o valor de  $E_{To}$  em um conjunto de possibilidades que também considera os valores dos elementos climáticos, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar global.

**Palavras-chave:** Manejo da irrigação, agrometeorologia, evapotranspiração de referencia, estimativa de  $E_{To}$ , evaporímetro.

## ABSTRACT

Irrigation management is adopted when controlling the application of water in a cultivar. The advance of irrigation engineering in the last decades has improved and simplified the functioning of the systems, allowing rapid interventions to recharge the water in the soil and qualitative and quantitative adjustments of its nutrients. Irrigation in its automatic concept goes far beyond the physical components of the system (valves, motors and pumps). A complex system like this requires special control techniques, which in turn must be analyzed and based on a management strategy that takes into account soil, crop, climate (environment) data or an association of these. Of the four possible forms of irrigation management or monitoring, management by environment variables is the most practical, however, this does not mean that it is an easy variable to obtain. An indicator that explains the behavior of the environment that is fundamental to the proper adoption of irrigation management is evapotranspiration. Their determination, however, requires specific techniques ranging from a simple temperature measurement to a series of climatic variables that require high investment in their operation and maintenance. There are two ways to get the value of evapotranspiration, they are called indirect forms and indirect forms. Direct methods are methods that effectively measure the amount of water transpired by the plant and evaporated from the soil; the indirect ones are the methods that, by means of an environmental indicator associated to coefficients, estimate the value of the reference evapotranspiration. From the category of indirect methods, the atmometer is the object of study of this work. Working mainly on the restructuring of the porous capsule, it is proposed the improvement of this equipment aiming at a procedure to estimate the reference evapotranspiration. To verify this modification, the correlation between the evaporation capacity of the atmometers, as a function of the position of the impermeability of the porous capsule (capsule factor), is calculated by modeling the  $ETo$  value in a set of possibilities that also considers the values of the climatic elements , temperature, relative humidity, wind speed and global solar radiation.

**Keywords:** Irrigation management, agrometeorology, reference evapotranspiration,  $ETo$  estimation, evaporimeter.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evapotranspiração Real.....	34
Figura 2 - Evapotranspiração de Referência.....	35
Figura 3 - Evapotranspiração de Cultura.....	36
Figura 4 - Atmômetro de Livingston .....	39
Figura 5 - Atmômetro de Bellani.....	39
Figura 6 - Evaporímetro de Piché.....	40
Figura 7 - Forma para produção das cápsulas porosas .....	51
Figura 8 - Cápsula sem tratamento .....	52
Figura 9 – (A) Impermeabilização lateral e (B) Impermeabilização superior ....	52
Figura 10 – Tampa base de PVC .....	53
Figura 11 - localização dos tubos visores de leitura .....	53
Figura 12 - Distancias entre colunas e linhas.....	54
Figura 13 - Instrumentos instalados em campo na altura de 1 metro do solo ..	54
Figura 14 – Cápsulas de evaporação montadas na base de PVC .....	66
Figura 15 - Cápsula ATES com proteção montada na base de PVC .....	67
Figura 16 - Instrumentos instalados em campo.....	67
Figura 17 – Atmômetro evaporativo lateral e atmômetro evaporativo superior.	68
Figura 18 - Dados dos atmômetros de superfície evaporante lateral .....	69
Figura 19 - Dados dos atmômetros de superfície evaporante superior.....	69
Figura 20 - Dados da média de ETo e desvio padrão de todos atmômetros de superfície evaporativa lateral e dos valores de referência de ETo. ...	73
Figura 21 - Dados da média de ETo e desvio padrão de todos atmômetros de superfície evaporativa superior e dos valores de referência de Eto. .	73
Figura 22 - Boxplot agrupamento Atmômetro evaporativo lateral e atmômetro evaporativo superior. ....	74
Figura 23 – Correlação de Pearson entre a Radiação Solar Global e a Referência ETo.....	75
Figura 24 - Correlação de Pearson entre a Velocidade do Vento e a Referência ETo.....	76
Figura 25 - Correlação de Pearson entre a Temperatura Média do ar e a Referência ETo.....	76

Figura 26 - Correlação de Pearson entre a Umidade Relativa do ar e a Referência ETo.....	77
Figura 27 - Correlação de Pearson entre a Pluviosidade Acumulada e a Referência ETo.....	77
Figura 28 - Relação entre os dados de (EV) mensurados do atmômetro ATEL1 (a) e ATES1 (b) e evapotranspiração de referencia (ETo) ajustado via regressão linear $ETo = a_0 + a_1 \cdot EV$ .....	78
Figura 29 – r de Pearson entre Evaporação (EV) dos atmômetros ATEL1 e ATES1 e a Referência ETo. ....	80
Figura 30 - r de Pearson entre valor estimado de Evapotranspiração ETo_ATEL1 e ETo_ATES1 e a Referência ETo. ....	80
Figura 31 - Superfícies tridimensionais representando os valores ajustados da ETo de acordo com a variável temperatura (T), umidade relativa (UR) e valor aferido dos atmômetros de superfície evaporativa Lateral (ATEL), fixando se em cada uma delas uma das variáveis em seu valor médio. ....	84
Figura 32 - Mapas de contorno das superfícies representando os valores ajustados da ETo de acordo com a variável temperatura (T), umidade relativa (UR) e valor aferido dos atmômetros de superfície evaporativa Lateral (ATEL), fixando-se em cada uma delas uma das variáveis em seu valor médio. ....	84
Figura 33 - Superfícies tridimensionais representando os valores ajustados da ETo de acordo com a variável temperatura (T), umidade relativa (UR) e valor aferido dos atmômetros de superfície evaporativa Superior (ATES), fixando-se em cada uma delas uma das variáveis em seu valor médio. ....	85
Figura 34 - Mapas de contorno das superfícies representando os valores ajustados da ETo de acordo com a variável temperatura (T), umidade relativa (UR) e valor aferido dos atmômetros de superfície evaporativa Superior (ATES), fixando-se em cada uma delas uma das variáveis em seu valor médio. ....	85
Figura 35 – R de Pearson para a estimativa da ETo utilizando a equação de regressões linear múltipla.....	86

Figura 36 - Dispersão entre os dados de evapotranspiração de referencia (ETo) estimados via regressão linear múltipla pelos atmômetros ATEL1 (a) e ATES1 (b) versus a evapotranspiração de referencia (ETo).....	87
Figura 37 - Dispersão entre os dados de evapotranspiração de referencia (ETo) estimados via equação conjunta $ETo = a0 + a1.EV + a3UR + a5G$ dos atmômetros ATEL1 (a) e ATES1 (b) versus a evapotranspiração de referencia (ETo).....	90
Figura 38 - Dispersão entre os dados de evapotranspiração de referencia (ETo) estimados via equação conjunta $ETo = a0 + a1.EV + a2T + a3UR + a5G$ dos atmômetros ATEL1 (a) e ATES1 (b) versus a evapotranspiração de referencia (ETo). ....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais utilizados para construção dos atmômetros com seus respectivos custos.....	49
Tabela 2 - Detalhes dos componentes sensores utilizados na estação meteorológica.....	50
Tabela 3 – Representação dos componentes contidos em cada equação de regressão.....	55
Tabela 4 - Cálculo do “Rn” em função das estações do ano.....	60
Tabela 5 - Coeficientes de correlação de Pearson significativas ( $p < 0,05$ ) entre todos os dados dos atmômetros de superfície de evapotranspiração lateral bem como com a evapotranspiração de referência. ....	71
Tabela 6 - Coeficientes de correlação de Pearson significativas ( $p < 0,05$ ) entre todos os dados dos atmômetros de superfície de evapotranspiração superior bem como com a evapotranspiração de referência. ....	72
Tabela 7 - Comparação das médias da Evaporação (EV) dos dois tipos de atmômetro. ....	74
Tabela 8 - Regressões lineares ( $y = a_0 + a_1x$ ou $ET_o = a_0 + a_1.EV$ ) de todos atmômetros de superfície evaporativa Lateral (ATEL) e superfície evaporativa Superior (ATES), onde $x$ (ou $EV$ ) é o valor lido no atmômetro e $y$ (ou $ET_o$ ) é a $ET_o$ de referência estimado. ....	79
Tabela 9 - Regressões lineares múltiplas ( $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$ ou $ET_o = a_0 + a_1.EV + a_2T + a_3UR$ ) de todos atmômetros de superfície evaporativa Lateral (ATEL) e superfície evaporativa Superior (ATES), onde $x_1$ é o valor método pelo atmômetro, $x_2$ é a temperatura, $x_3$ é a umidade reativa e $y$ é a $ET_o$ de referência estimada. ....	82
Tabela 10 - Regressões lineares múltiplas ( $y = a_0 + a_1x_1 + a_3x_3 + a_5x_5$ ou $ET_o = a_0 + a_1.EV + a_3UR + a_5G$ ) de todos atmômetros de superfície evaporativa Lateral (ATEL) e superfície evaporativa Superior (ATES), onde $x_1$ é o valor medido pelo atmômetro, $x_3$ é a umidade relativa do ar, $x_5$ é a radiação solar global e $y$ é a $ET_o$ de referência estimada. ....	89

Tabela 11 - Modelos de regressão linear múltipla ( $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5$  ou  $ET_o = a_0 + a_1.EV + a_2T + a_3UR + a_4U_2 + a_5G$ ) de acordo com as variáveis escolhidas dentre T, UR, U2 e G de todos atmômetros de superfície evaporativa lateral (ATEL) e superfície evaporativa superior (ATES), onde  $x_1$  é o valor aferido pelo atmômetro,  $x_2$  é a temperatura,  $x_3$  é a umidade reativa e  $y$  é a  $ET_o$  de referência..... 95

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Arctan	Arco tangente
AT	Atmômetro
ATEL	Atmômetro Superfície Evaporativa Lateral
ATES	Atmômetro Superfície Evaporativa Superior
EV	Evaporação
ea	Pressão de saturação de vapor KPa
es	Pressão atual de vapor KPa
ET	Evapotranspiração
ETo	Evapotranspiração de referência
ETo_ref	Conjunto de dados denominado Evapotranspiração de referência
ETc	Evapotranspiração de Cultura
ETr	Evapotranspiração Real
EUA	Estados Unidos da América
F	Fator Calculado do Teste F
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FCA	Faculdade de Ciências Agrônômicas
G	Radiação Global $MJ.m^{-2}$
Gext	Radiação Global Externa $MJ.m^{-2}$
Gint	Radiação Global Interna $MJ.m^{-2}$
GL	Números de Graus de Liberdade
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.
Kc	Coeficiente da cultura
Kp	Coeficiente do tanque
MAD	<i>Mean Absolute Deviation</i>
MAE	<i>Mean Absolute Error</i>
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>
mm	Escala milimétrica
MSD	<i>Mean Squared Deviation</i>
MSE	<i>Mean Squared Error</i>
°C	Graus celsius
ODS6	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número seis
ONU	Organização das Nações Unidas
P valor	Nível descritivo ou probabilidade de significância
PM	Penman Monteith (referência ao método)
QM	Quadrado Médio
R	Coeficiente de correlação de <i>Pearson</i> " <i>ρ de Pearson</i> "
R <sup>2</sup>	Coeficiente de determinação
Ra	Radiação solar no topo da atmosfera em $MJm^{-2}dia^{-1}$
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RMSE	Raiz Quadrada do Erro Quadrado Médio



Rn	Saldo de radiação diário em $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$
Rnl	Saldo de radiação de ondas longas diário em $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$
Rns	Saldo de radiação de ondas curtas diário em $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$
Rs	Radiação solar incidente $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$
Rso	Radiação solar incidente na ausência de nuvens $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$
$\alpha$	Albedo coeficiente de reflexão da vegetação
SQ	Soma de Quadrados
TDR	Reflectometria no Domínio do Tempo
Tmax	Temperatura Máxima
Tmin	Temperatura Mínima
Tq	Tanque
U2	Velocidade do vento
UR	Umidade Relativa do AR
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia
WMO	International Glossary Of Hydrology

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>IRRIGAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Manejo da irrigação .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>EVAPORAÇÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DA ETO.....</b>	<b>36</b>
<b>3.5</b>	<b>ATMÔMETROS.....</b>	<b>38</b>
<b>3.6</b>	<b>A NECESSIDADE DE MODELAGEM DE SISTEMAS .....</b>	<b>42</b>
<b>3.7</b>	<b>HISTÓRICO DO INSTRUMENTO OBJETO DE ESTUDO .....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>MATERIAIS.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Associações de coeficientes para o desenvolvimento das regressões lineares.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Método de Penman Monteith-FAO56 para o cálculo da evapotranspiração de referência .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Calibração e verificação.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Métodos de correção de dados baseados em regressão linear simples e múltipla .....</b>	<b>62</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Método de análise do grau de ajuste do modelo .....</b>	<b>63</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Métodos de análise de dados baseados no coeficiente de correlação de Pearson.....</b>	<b>63</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Análises estatísticas e correção de dados .....</b>	<b>64</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>5.1</b>	<b>ATMÔMETRO DE CÁPSULA EVAPORANTE LATERAL E ATMÔMETRO DE CAPSULA EVAPORANTE SUPERIOR .....</b>	<b>66</b>

<b>5.2 COMPARAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO ATMÔMETRO DE SUPERFÍCIE EVAPORANTE LATERAL VERSUS ATMÔMETRO DE SUPERFÍCIE EVAPORANTE SUPERIOR .</b>	<b>68</b>
<b>5.3 ANÁLISE CORRELACIONAL ENTRE AS VARIÁVEIS MEDIDAS E A ETO DE REFERÊNCIA.....</b>	<b>75</b>
<b>5.4 AJUSTE DOS ATMÔMETROS EM RELAÇÃO À EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETo).....</b>	<b>77</b>
<b>5.5 MODELAGEM DA ETO DE REFERÊNCIA EM FUNÇÃO DAS MEDIÇÕES DO ATMÔMETRO, DA TEMPERATURA MÉDIA E DA UMIDADE RELATIVA DO AR. ....</b>	<b>81</b>
<b>5.6 MODELAGEM DA ETO DE REFERÊNCIA EM FUNÇÃO DAS MEDIÇÕES DA EVAPORAÇÃO DO ATMÔMETRO, UMIDADE RELATIVA DO AR E RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL. ....</b>	<b>88</b>
<b>5.7 ESTIMATIVA DA ETO DE REFERÊNCIA EM FUNÇÃO DAS MEDIÇÕES DA EVAPORAÇÃO DO ATMÔMETRO, TEMPERATURA MEDIA, UMIDADE RELATIVA DO AR E RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL.....</b>	<b>91</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>96</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>99</b>

## 6 CONCLUSÕES

Os valores observados nos atmômetros de superfície evaporativa superior (ATES), medida diariamente, em média foram superiores aos valores observados nos atmômetros de superfície de evapotranspiração lateral, o que corresponde uma leitura mais próxima da verdade por parte desse tipo de instrumento. O diferente comportamento dos atmômetros se deu ao fato dos instrumentos utilizarem a mesma cápsula de cerâmica, porém, submetidas a diferentes tratamentos quanto à superfície evaporativa. Além dos instrumentos superfície evaporativa lateral (ATEL) terem menor média dos valores observados, o mesmo, possui também, menor desvio padrão em relação aos instrumentos de superfície evaporativa superior (ATES). Desta forma, permite-se afirmar que os instrumentos superfície evaporativa superior (ATES) são mais uniformes em relação à dispersão dos dados medidos.

A análise correlacional entre os elementos climáticos medidos e a evapotranspiração de referência apontaram a Radiação Solar Global e a Umidade Relativa do Ar como elementos de forte correlação com a Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>). O elemento climático Temperatura Média do Ar, apresentou correlação moderada com a ET<sub>o</sub>. Para o elemento climático Velocidade do Vento, ao contrário dos anteriores, é constatado uma fraca correlação com relação à ET<sub>o</sub>, desta forma, não é uma opção considerável frente às outras grandezas associadas. A força de correlação entre a pluviosidade acumulada e a Referência ET<sub>o</sub>, encontra-se no limítrofe desprezível. Entretanto, dias seguidos de chuva podem acarretar baixos valores de evapotranspiração, a exemplo do sexto dia de experimento, em que os fatores Umidade Relativa do Ar e Radiação Solar Global atingiram respectivamente valores de 96% e 5Mj.m<sup>-2</sup>.

Cada uma das equações modeladas e expostas foi gerada utilizando-se conjuntamente todos os dados dos atmômetros da respectiva classe atmômetros de superfície evaporativa superior (ATES) ou atmômetros de superfície evaporativa lateral (ATEL).

A equação para estimativa da ET<sub>o</sub> mais simples utiliza apenas o valor da evaporação EV dos atmômetros, ficando as equações conjuntas para o ATEL:  $ET_{o_{ATEL}} = 2,600 + 0,249.EV_{ATEL}$  com um R<sup>2</sup> de 56,8% e para o

ATES:  $ETo_{ATES} = 2,573 + 0,240.EV_{ATES}$  também com  $R^2$  de 56,8%. Esse modelo assume uma posição precária quanto a estimativa da ETo, porem, um modelagem de ETo precária em torno de 57% é melhor do que a ausência total desta variável.

O modelos de estimativa da evapotranspiração ETo, baseados em regressões múltiplas, tendo como variáveis de entrada o valor de EV medido de cada atmômetro, junto com os dados de temperatura e umidade relativa do ar média. Apresentaram valores de  $R^2$  na ordem de 88%, tanto para os instrumentos ATES quanto para os instrumentos ATEL. Tais modelos apresentaram, para o atmômetro ATEL, a equação  $ETo_{ATEL} = 9,208 + 0,063.EV_{ATEL} + 0,046.T - 0,084.UR$ , e para o atmômetro ATES, a equação  $ETo_{ATES} = 9,324 + 0,053.EV_{ATES} + 0,040.T - 0,084.UR$ . Com um  $R^2$  igual a 88% esse modelamento assume uma posição intermediaria no quesito capacidade de estimativa. Não é o melhor dos modelos, porem, é a melhor opção quando se dispõe apenas dos valores de temperatura media e umidade relativa do ar.

Todo o modelo que compõe o coeficiente angular de radiação solar global (G) teve o coeficiente  $R^2$  maior ou igual a 92%. Com destaque a exceção do atmômetro ATEL, que apresenta no modelo de equação de número 15 um  $R^2$  de 93%.

Os modelos que associam a umidade relativa e a radiação solar global apresentaram coeficiente  $R^2$  ótimo, da ordem de 99%. Desta forma, por incluir o coeficiente de temperatura do ar, a equação de modelagem  $ETo = a_0 + a_1.EV + a_2.T + a_3.UR + a_5.G$ , é eleita como modelo prático a ser aplicado. O modelo para o atmômetro ATEL leva a equação  $ETo_{ATEL} = 2,413 - 0,002.EV_{ATEL} + 0,078.T - 0,040.UR + 0,156.G$ , com  $R^2$  da ordem de 99,7%. Já o atmômetro ATES leva em a equação  $ETo_{ATES} = 2,387 - 0,002.EV_{ATES} + 0,079.T - 0,040.UR + 0,156.G$  com um  $R^2$  de 99,7%. Ambos os modelos apresentam-se como excelentes estimadores de ETo, praticamente posicionam os dados estimados sobre a reta, com um  $R^2$  de aproximadamente 1, sendo escolhido como o melhor modelo.

Os modelos múltiplos de estimativa de baixos coeficientes de correlação  $R^2$  foram os modelos que consideravam apenas, o coeficiente

angular velocidade do vento ( $U_2$ ) e o coeficiente Evaporação (EV). Porém, os modelos de ajuste simples que levaram em conta apenas o valor de (EV) também apresentaram baixos coeficientes de correlação  $R^2$ . Essa constatação confirma o grau de irrelevância quanto aos valores de ( $U_2$ ) na estimativa de  $ET_o$ , constatando a fraca correlação entre a  $ET_o$  e a Velocidade do Vento na situação deste estudo.

O modo de operação das equações de estimativa de  $ET_o$  a partir do instrumento atmômetro, associado a um ou mais dados dos elementos climáticos observados, permite que o usuário optar por uma das 16 equações da Tabela 11. Embasado na sua realidade e necessidade, após a escolha do modelo, o usuário deverá dispor dos registros diários desses elementos climáticos associados.

O método aqui exposto representa uma evolução quanto à calibração e quanto à obtenção do real valor da Evapotranspiração de Referência ( $ET_o$ ), uma vez que tais únicas equações podem ser utilizadas para todos os equipamentos de cada tipo, não mais sendo necessária a calibração de cada equipamento individualmente. Portanto, pode-se afirmar que as modificações realizadas no atmômetro aumentaram a acurácia do evaporímetro proporcionando uma maneira eficiente de obtenção de  $ET_o$ .

## REFERÊNCIAS

- ABTEW, W. Evaporation Estimation for Lake Okeechobee in South Florida. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s.l.], v. 127, n. 3, p.140-147, jun. 2001. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2001\)127:3\(140\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2001)127:3(140)).
- AGUILERA, G. J.; MARTÍN, R. M. Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de solanum lycopersicum l. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.6, n.1., p.47-53, Mar, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL) (Brasil) (Org.). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas**. Brasília, 2017. 85 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ana.gov.br/index.html>>. Acesso em: 30 mar. 2017.
- ALLEN, R. G.; SMITH, M.;PERRIER, A.; PEREIRA, L. S.. **An update for definition of reference evapotranspiration**. Icid, Bulletin. 1994
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALTENHOFEN, J. **A modified atmometer for on-farm evapotranspiration determination**. In: Conference on Advances in Evapotranspiration. Chicago, Illinois, 1985, Proceedings, Chicago, ASAE, 1985, p. 177-184.
- ALTENHOFEN, J. **ETgage: A field device for simulating ET**. In: Proceedings from the international exposition and technical conference, Irrigation Association, Fairfax, VA. Pag. 12-20. 1992
- ANDERSEN, M. E.; JOBSON, H. E.; Comparison of techniques for estimating annual lake evaporation using climatological data. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 18, n. 3, p.630-636, jun. 1982. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1029/wr018i003p00630>.

AYARS, J. E.; PHENE, C. J.; PHENE, R. C.; SUDUAN G.; DONG W.; DAY, K. R.; MAKUS, D. J. Determining pomegranate water and nitrogen requirements with drip irrigation. **Agricultural Water Management**, 2017, vol. 187, issue C, 11-23.

AZEVEDO, P.V.; TEIXEIRA, A.H.C.; SILVA, B.B.; SORES, J.M.; SARAIVA, F.A.M. Avaliação da reflectância e do saldo de radiação sobre um cultivo de videira europeia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.1-7, 1997

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247 p.

BEEFPOINT (Brasil). Beefpoint (Comp.). **Manejo da irrigação de pastagens**. 2006. Miguel Cavalcanti. Disponível em: <<https://www.beefpoint.com.br/manejo-da-irrigacao-de-pastagens-32183/>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML: guia do usuário** - tradução de Fábio Freitas da Silva e Cristina de Amorim Machado. - Elsevier - Rio de Janeiro 2005

BROHAN, P.; KENNEDY, J.J; HARRIS, I.; TETT, S.F.B.; Jones P.D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. **J. Geophys. Res.** 111: 2006 D12106. Bibcode:2006JGRD..11112106B. doi:10.1029/2005JD006548

BRONER, I.; LAW, R.A.P. Evaluation of modified atmometer for estimating reference ET. **Irrigation Science**, New York, v.12, p.21-6, 1991.

CAMARGO, A.P. **Desenvolvimento de um controlador de irrigação para áreas experimentais**. 2012. 112p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CARDER, A.C. Canada Department of Agriculture, Experimental Farm, Beaverlodge, Alberta. 1960.

CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 196-199, novembro 2001.



CARVALHO, D. F. de et al . Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal , v. 31, n. 2, p. 269-277, Apr. 2011 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162011000200007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000200007&lng=en&nrm=iso)>. access on 23 Jul. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000200007>.

CARVALHO, D.F.; OLIVEIRA, L.F.C. de. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 240p.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C.R.; PACCOLA, A.A. Legenda atualizada do Levantamento de Solos da Fazenda Lageado-Estação Experimental “Presidente Médici” **Boletim Ci. FCA/UNESP**, Botucatu, n.1, 1983. 95p.

CASPER, M. et al. Fuzzy logic-based rainfall—runoff modelling using soil moisture measurements to represent system state. **Hydrological Sciences Journal**, [s.l.], v. 52, n. 3, p.478-490, jun. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.52.3.478>.

CHOUDHURY, B. Evaluation of an empirical equation for annual evaporation using field observations and results from a biophysical model. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 216, n. 1-2, p.99-110, mar. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694\(98\)00293-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694(98)00293-5).

CONCEIÇÃO, M.A.F. Modelos de estimativa do saldo de radiação na região noroeste do Estado de São Paulo. In: **CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**, 16., 2006, Goiânia. Anais... Viçosa - MG

CREMASCO, C. P. **Aplicação da Lógica Fuzzy para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura**. 2008. ix, 97 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2008.

CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores Fuzzy para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.25, n.1, p.21-39, 2010.

DIOP, L.; BODIAN, A.; & DIALLO, D. . Use of atmometers to estimate reference evapotranspiration in Arkansas. **African Journal of Agricultural Research**, 10(48), 4376-4383.2015

DE BRUIN, H. A. R., 1978. A Simple Model for Shallow Lake Evaporation, **Journal of Applied Meterology**, Vol. 17, pp. 1132-1134.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Trad. de H.R. Gheyj, J.E.C. Metri, F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Circular Técnica 65**, Sete Lagoas, MG. 2005

FABER L.. **Estatística Aplicada**. 4ª Ed. Pearson, 2010.

FERNANDES, C.; CORA, J.E.; ARAUJO, J.A.C.de. Refence evapotranspiraton estimation inside greenhouses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v.60, n.3, p.591-594, jul./set 2003.

FERRO, M. G. F.; COSTA, R. DE H.; JÚNIOR, J. P. F. DE A.; BARBOSA, A. L. P.; DOS SANTOS, M. A. L. Análise da cultura do rabanete submetida a diferentes níveis de salinidade e lâminas de irrigação. In. **NOVAGRI**, III, 2015, Fortaleza, Brasil, International Meeting, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION - FAO. **Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements - Irrigation and drainage**. Local: FAO, 56 p., 1998.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; CHACUR, M. G. M. Application of fuzzy logic for the evaluation of livestock slaughtering. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 813-825, 2011.

GALVANI, E.; DANTAS, R.T.; ESCOBEDO, J.F.; KLOSOWSKI, E.S. Parâmetros meteorológicos em cultura de alface (*Lactuca sativa*, L.) cultivada em casas de vegetação com orientações leste-oeste, norte-sul e condições externas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.157- 63, 1998.

GALVANI, E. E.; PEREIRA, J.F.; BELMONT, A. **Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com Pepineiro.**

Bragantia, Campinas, v. 60, n.2, p.139-147, 2001. Disponível em:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87052001000200010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052001000200010&lng=en&nrm=iso)

GRIFFITHS, H.; PARRY, M.A.J. Plant Responses to Water Stress. **Annals of Botany**, v. 89, p. 801- 802, 2002.

GÜÇLÜ, Y. S.; SUBYANI, A. M.; ŞEN, Z. Regional fuzzy chain model for evapotranspiration estimation. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 544, p.233-241, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.045>.

HESS, T. M. Evapotranspiration estimates for water balance scheduling in the UK. **Irrigation News**, 25: 31-36.

HIDROLOGIA APLICADA. Evaporação, Transpiração e Evapotranspiração, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHD – **307 Hidrologia Aplicada**. 2006, Pg 2.

HUANG, Y.; LAN, Y.; THOMSON, S.J.; FANG, A.; HOFFMANN, W.C.; LACEY, R.E.; 2010. Development of soft computing and applications in agricultural and biological engineering. **Comput. Electron. Agric.** 71, 107–127.

ILIC, Milos et al. Water cycle estimation by neuro-fuzzy approach. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s.l.], v. 135, p.1-3, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.025>.

*INTERNATIONAL GLOSSARY OF HYDROLOGY* **Glossaire international d'hydrologie**. Geneva: WMO, 2012

JANSSEN, P.H.M.; HEUBERGER, P.S.C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.83, n.1, p.55-56, 1995.

KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O El-Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, 4(1-2): p201-214, 1986.

KESKIN M. E.; ÖZLEM T.; DILEK T. Fuzzy logic model approaches to daily pan evaporation estimation in western Turkey / Estimation de l'évaporation journalière du bac dans l'Ouest de la Turquie par des modèles à base de logique floue, **Hydrological Sciences Journal**, 49:6, -1010, 2004.

KIM, Y.; REID, J. F.; ZHANG, Q. Fuzzy logic control of a multispectral imaging sensor for in-field plant sensing. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s.l.], v. 60, n. 2, p.279-288, mar. 2008. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2007.09.008>.

KOHLER, M. A.; L. H. PARMELE. Generalized Estimates of Free- Water Estimates, **Water Resources Research**, Vol. 3, pp. 997-1005.1967

KOHLER, M. A.; NORDENSON, T. J.; FOX, W. E. Evaporation from Pans and Lakes, **U. S. Dept. Commerce**, Weather Bureau Research Paper 38.1955

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. **Gotha: Verlag Justus Perthes**, 1928.  
 Wall-map: 150cmx200cm.

LATORRE, M. L. de et al. Optimization of fertirrigation efficiency in strawberry crops by application of fuzzy logic techniques. **Journal of Environmental Monitoring**, [s.l.], v. 7, n. 11, p.1085-1087, 2005. Royal Society of Chemistry (RSC).  
<http://dx.doi.org/10.1039/b508502k>.

LEVIDOW, L.; PIMBERT, M.; VANLOQUEREN, G. Agroecological Research: Conforming—or Transforming the Dominant Agro-Food Regime? **Agroecology and Sustainable Food Systems** 2014

LINACRE, E. T., A Simple Formula for Estimating Evaporation Rates in Various Climates, Using Temperature Data Alone. **Agricultural Meteorology**, Vol. 18, pp. 409-424. 1977

LINSLEY, R.K. KOHLER, M.A. & PAULHUS, J.L.H. **Hydrology for engineers**. New York, McGraw-Hill, 1982. 508p.

LIVINGSTON, B. E. A RAIN-CORRECTING ATMOMETER FOR ECOLOGICAL INSTRUMENTATION. **The Plant World - A Magazine of General Botany**.1910

LIVINGSTON, B. E. **Atmometers of Porous Porcelain and Paper, Their Use in Physiological Ecology**. 1935.

MARENCO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI (segunda edição). Brasília: **Ministério do Meio Ambiente**, 2007, v.1. p.214, 2007.

MAMDANI, E. H. ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **Int. J. Man-Machine Studies**, vol. 7, p. 1-13, 1975.

MCKENZIE, R. S.; CRAIG, A. R. Evaluation of river losses from the Orange River using hydraulic modeling. **J. Hydrol.** 241, 62–69.2001

MORTON, F. I. Climatological estimates of lake evaporation. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.64-76, fev. 1979. Wiley-Blackwell.  
<http://dx.doi.org/10.1029/wr015i001p00064>.

MPALLAS, L.; TZIMOPOULOS, C.; PAPAEVANGELOU, G. Estimation of Evapotranspiration Using Fuzzy Systems and Comparison With the Blaney-Criddle Method. **Journal of Environmental Science and Technology**, [s.l.], v. 1, n. 4, p.181-186, 1 abr. 2008. Science Alert. <http://dx.doi.org/10.3923/jest.2008.181.186>.

MUSTAFA, N.B.A., 2009. Agricultural produce Sorting and Grading using Support Vector Machines and Fuzzy Logic. **IEEE Int. Conf. Signal Image Process. Appl. (ICSIPA)**, 391–396.

MUNDOCLIMA (Ed.). **Estacoes-meteorológicas**. 2018. Disponível em: [www.mundoclima.com.br/estacoes-meteorologicas/](http://www.mundoclima.com.br/estacoes-meteorologicas/). Acesso em: 26 dez. 2018.

MUKAKA, M.M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawai Medical Journal**. PMC 3576830. Consultado em 28 de agosto de 2018.

NESPOLI, A.; COCHEV, J. S.; NEVES, J. M. A. S.; SEABRA JÚNIOR, S. Produção de hortaliças pela agricultura familiar de alta floresta, Amazônia mato-grossense. Campo-território: **revista de geografia agrária**, v. 10, n. 21, p. 159-191, ago., 2015.

ODHIAMBO, L. O.; YODER, R. E.; YODER, D. C. **Estimation of Reference Crop Evapotranspiration Using Fuzzy State Models**. 2001. Disponível em: <<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1452&context=biosysengfacpub>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

OLIVEIRA, R. A. et al. Desempenho do irrigômetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. 2008, vol.12, n.2, pp.166-173. ISSN 1415-4366

ONU. Assembleia Geral das Nações Unidas. **Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>.

PASSAM, H.; TOCATLIDOU, A.; MAHAMAN, B., 2003. Methods for decision making with insufficient knowledge in agriculture. In: **EFITA 2003 Conference**. pp. 727–731.

PENMAN, N. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society**, London, Serie A, v.193, p.120-145, 1948.

PEREIRA, A.S. **Avaliação do desempenho de um atmômetro modificado na estimativa da evapotranspiração potencial**. Piracicaba, 1996. 90p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo

PEREIRA, A. S.; FRIZZONE, J. A.; COELHO, R. D. **Procedimentos para instalação e aumento da resolução de medida de um atmômetro modificado**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

PEREIRA, A.L. et al. Atributos do solo sob pastagens em sistema de sequeiro e irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.377-384, 2009. Disponível em: Acesso em: 15 out. 2012. doi: 10.1590/S1413- 70542009000200003.

PEREIRA, A.R.; COELHO, R.D. Determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) através de atmômetros modificados em condições tropicais. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 21, 1992, Santa Maria. Anais... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p. 636-647.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia Agrícola**. Edição revisada e ampliada, Piracicaba: USP, p. 191, 2007.

PEREIRA, F.A.C. **Desempenho do modelo de PenmanMonteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) em relação a um lisímetro de pesagem**. 1998. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

PFEIFFER, L.; LIN, C.-Y., THE EFFECTS OF ENERGY PRICES ON AGRICULTURAL GROUNDWATER EXTRACTION FROM THE HIGH PLAINS AQUIFER. 2014. **Publications, Agencies and Staff of the U.S. Department of Commerce**. 518

PINTO, H.s.; ZULLO JUNIOR, J. **GEADAS: CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA E CUIDADOS**. 2018. Disponível em: <<https://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/geadas.html>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

PIRES, R.C.M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; CALHEIROS, R. O. Métodos e Manejo da Irrigação. **Centro de Ecofisiologia e Biofísica Instituto Agrônômicos**, 1999.

PRIESTLEY, C. H. B.; R. J. TAYLOR, 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters, **Monthly Weather Review**, Vol. 100, pp. 81-92

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO GABRIEL, C. P.; NETO, A. B.; BONINI, C. S. B.; RODRIGUES DOS REIS, A. A Fuzzy mathematical model to estimate the effects of global warming on the vitality of *Laelia purpurata* orchids. **Mathematical Biosciences**, v. 288, p. 124-129, 2017.

RASSINI, J. B.. Water management of irrigation for alfalfa in a Red-Yellow Latosol (Hapludox). **Pesq. agropec. bras.**[online]. 2002, vol.37, n.4, pp.503-507. ISSN 0100-204X.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta Atmosfera**, 4ª Ed. Campinas: Fund. Cargill, 466p., 1985.

REN, C. et al. A multi-objective fuzzy programming model for optimal use of irrigation water and land resources under uncertainty in Gansu Province, China. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 164, p.85-94, out. 2017. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.185>.

ROSS, T. J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. 3 ed. John Wiley and Sons, 2010.

SANTOS, C.A.B.; ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; FEITOSA, H.O.; MOURA, A.F.G.; RIBEIRO, R.L.D.; ALMEIDA, D.L.; COSTA, J.R. Efeito de coberturas mortas vegetais sobre o desempenho da cenoura em cultivo orgânico. **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**, 2008. 4 p

SANTOS, M. A. **Parametrização de coeficientes de sensibilidade e teste de modelos agrometeorológicos de estimativa de quebra de produtividade do cafeeiro** (*Coffea arabica* L.). Disponível em:  
<<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/dissertacoes/pb1805803.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

SCHUSTER, M. Z.; KAWAKAMI, J.; BROETTO, D.; SZYMCZAK, L. S.; RAMALHO, K. R. O. Influência do fotoperíodo e da intensidade de radiação solar no crescimento e produção de tubérculos de rabanete. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 2, p. 73-86, out. 2012.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-7, 1996.



SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R. **Meteorologia Agrícola. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, 1998. 131p.** (apostila)

SILVA, L. F. DE O.; DA CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R.; COGO, F. D.; ZAMBON, C. R. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 5, p. 624-629, out. 2012.

SIQUEIRA, J.; ROCIO, V., 2011. Sistema pericial em Prolog no diagnóstico do potencial agrícola de solos. In: **VI Congresso Ibérico de Agro-Engenharia**, Universidade de Évora.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Rome: FAO. 45p. 1991.

SHIMIZU, T. **SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR DIGITAL.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1975. 107 p.

SNYDER N.W., et al. Production of stable isotope-labeled acyl-coenzyme A thioesters by yeast stable isotope labeling by essential nutrients in cell culture. **Anal Biochem** 474:59-65. 2015.

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

STEWART, R. B.; W. R. ROUSE, 1976. A Simple Method for Determining the Evaporation from Shallow Lakes and Ponds, **Water Resources Research**, Vol. 12, pp. 623-628.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TEJADA J.; GARCIA-CAIRASCO N.; ROQUE A.C. Combined Role of Seizure-Induced Dendritic Morphology Alterations and Spine Loss in Newborn Granule Cells with Mossy Fiber Sprouting on the Hyperexcitability of a Computer Model of the Dentate Gyrus. **PLoS Comput Biol** 10(5): e1003601.2014

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no século XXI** – São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

VALLET-COULOMB, C.; DAGNACHEW, L.; GASSE, F.; TRAVI, Y.; CHERNET, T., 2001. Lake evaporation estimates in tropical Africa from limited meteorological data.

**Journal of hydrology** 245, 1–18

VASCONCELOS, H. S.. **Automação de sistema de irrigação em malha fechada utilizando rede sem fio de sensores capacitivos de umidade do solo.**

Dissertação - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2013.

VIAIS NETO, D. S.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; BORDIN, D.; SILVA JUNIOR, J. F. Sistema baseado em regras fuzzy da altura do tomateiro em função da irrigação e da salinidade da água no momento da colheita.

Quarto Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy. **Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional – SBMAC.** São Paulo, 2016.

VICENTE, A. S. C.; VICENTE, S. E. I. **Proposta para Manejo da Irrigação.** Belém. Pará. Amazônia Irrigação. 2004.

VICENTIN, T. A.; SERAPHIM, O. J.; HALMEMAN, R. J.; Oliveira Jr, A. J.; **Estimativa da Variabilidade Anual de Bombeamento D'água em Sistema Acionado por Energia Solar Fotovoltaica.** VI CBENS 2016, 2016

WARNAKA, K.; POCHOP, L. Analyses of equations for free water evaporation estimates. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 24, n. 7, p.979-984, Jul. 1988.

Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1029/wr024i007p00979>.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.

ZACCARIA, D. MAIA, R. VIVAS, E. TODOROVIC, M. SCARDIG. Innovative practices. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 84-94, 2014

ZLOTOPOLSKI, V. The Impact of magnetic water treatment on salt distribution in a large unsaturated soil column, **International Soil and Water Conservation Research**, 2017.

ZUÑIGA ESCOBAR, O.; JIMÉNEZ, C. O.; BENAVIDES, J. A.; GUTIÉRREZ, M. A.; TORRES, C.; Efecto del agua magnetizada en el desarrollo y la producción de cúrcuma (*Curcuma longa* L.). **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 10, n. 1, p. 176-185, jul 2016.