

Cálculo de Variáveis Climáticas para Irrigação de Culturas com Base no Método de Penman-Monteith

Henike Guilherme Jordan Voss¹, Italo Diogo Schoveigert¹

¹Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCA) - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) - Ponta Grossa, Paraná, Brasil

henike_jordan@hotmail.com, schoveigert@gmail.com

Abstract. *To know the amount of water lost to the environment by calculating the reference evapotranspiration (ET_o), in this paper the Penman-Monteith method was used. A system composed of software and hardware was developed in which, through meteorological data sensors, it was possible to perform calculations and inform the farmer of the main data related to irrigation. To verify the accuracy of the data obtained by the sensors and the value of ET_o calculated from these data, it was compared with the ET_o calculated by the sensors with that calculated using data from a weather station. This generated a difference of only 0.53 mm, so the system presented concise and relevant data for the subject in question.*

Keywords: *Irrigation, Evapotranspiration, Meteorological Data, Temperature.*

Resumo. *Para saber a quantidade de água perdida para o ambiente por meio do cálculo da evapotranspiração de referencia (ET_o), neste trabalho foi utilizado o método de Penman-Monteith. Foi desenvolvido um sistema composto por software e hardware, nos quais por meio de sensores de dados meteorológicos foi possível realizar cálculos e informar ao produtor os principais dados relacionados a irrigação. Para verificar a acurácia dos dados obtidos pelos sensores e o valor de ET_o calculada a partir desses dados, comparou-se com a ET_o calculada pelos sensores com a calculada usando dados de uma estação meteorológica. Isso gerou uma diferença de apenas 0,53 mm, sendo assim o sistema apresentou dados concisos e relevantes para o tema em questão.*

Palavras-chave: *Irrigação, Evapotranspiração, Dados Meteorológicos, Temperatura.*

1. Introdução

Existem algumas variáveis, físicas ou de ambiente, que devem ser analisadas e controladas para que se possa realizar o manejo adequado do cultivo. Este manejo pode ser entendido como a definição do momento e da quantidade ideal de água a ser aplicada, e não é uma tarefa simples, uma vez que as variáveis ambientais que interferem nesta atividade nem sempre estão disponibilizadas.

A evaporação de água da superfície para atmosfera e a transpiração das plantas é chamada de evapotranspiração (ET). Essa transpiração é controlada pelo suprimento hídrico do solo e pela disponibilidade de energia que a planta possui. Obter a variável

ET é importante em atividades humanas como economia, reserva de água, planejamento e execução dos sistemas para irrigação, desenvolvimento dos recursos hídricos e problemas ambientais. Por isso o cálculo da evapotranspiração precisa ter a maior precisão possível [Rojas and Sheffield 2013].

A maioria das áreas agrícolas ao redor do mundo não conseguem atingir sua melhor produção devido à baixa eficiência de sistemas de irrigação [Afrasiabikia et al. 2017], o que pode causar desperdício de água e/ou prejuízo as plantas. Assim é proposto um sistema que exiba a quantidade de água a ser regada, com base na evapotranspiração da cultura (*ET_c*) conforme dados meteorológicos captados por sensores e dados informados conforme cada cultura e região.

Os métodos mais difundidos para estabelecer o manejo de irrigação requerem a determinação da evapotranspiração de referência (*ET_o*). O nível de precisão que se pretende obter está diretamente relacionado à escolha do método, a escala de tempo e a natureza dos dados climatológicos.

A evapotranspiração de referência (*ET_o*) foi definida como a taxa de *ET* de uma cultura de referência hipotética, caracterizada por [Allen et al. 1998], tendo uma altura fixa, resistência superficial e coeficiente de reflexão. O valor do *ET_o* é independente das características da vegetação e do solo, permitindo a análise de apenas fatores meteorológicos, simplificando assim o cálculo de *ET* [Allen et al. 1998]. Estimacões precisas do *ET_o* são uma parte fundamental da produção agrícola, gestão de recursos hídricos e avaliações ambientais [Rojas and Sheffield 2013].

O método de Penman-Monteith é altamente recomendado pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) para a estimativa de *ET_o* em qualquer hora, dia, mês e região do globo terrestre, ao contrário dos outros métodos que são recomendados para a estimativa em determinadas condições específicas [Allen et al. 1998].

A principal limitação das equações de Penman-Monteith é a exigência de inúmeros dados meteorológicos que muitas vezes estão incompletos e/ou indisponíveis [Jabloun and Sahli 2008]. Portanto, [Allen et al. 1998] recomendou uma série de procedimentos para estimar os parâmetros faltantes, como a radiação solar.

Alguns trabalhos correlatos na literatura baseiam-se no desenvolvimento de sistemas de suporte ao agricultor. [Wenting et al. 2014] desenvolveram um sistema em tempo real de estimativa de irrigação que utilizava um sistema multicanal para a aquisição dos dados meteorológicos (Temperatura, Umidade do Ar, Umidade do Solo, Radiação Solar, Velocidade do Vento e Medidor de Energia Solar). O método de Penman-Monteith para estimativa de evapotranspiração foi utilizado. Um erro de 12% em campo foi encontrado. Os dados são enviados para uma central que não possui qualquer conexão com a internet.

[Faris and Croock 2016] desenvolveram um sistema de monitoramento de irrigação baseado em Banco de Dados que registra e processa a informação relacionada com a irrigação. Apesar do sistema considerar diversos tipos de solos e culturas, e segundo seus autores o sistema mostrar-se eficiente, não houveram a utilização de métodos confiáveis para a estimação da irrigação e nem demonstrações de quão eficiente o sistema se comporta para diferentes regiões.

Em [Anand et al. 2015] foi construído um sistema de controle de irrigação autônomo que consiste de uma rede de nodos de sensores, hub e uma unidade de controle. Os sensores comunicam-se com o hub através da tecnologia *Wireless*, e este processa os dados utilizando a lógica *Fuzzy*, a fim de decidir o tempo que as válvulas de

irrigação ficam abertas e fechadas. O sistema é alimentado utilizando células fotovoltaicas, assim como possui um link de comunicação que permite o sistema ser monitorado, controlado e agendado via mensagem de texto. Também foi utilizado o cálculo do índice de *ETo* pelo método Penman-Monteith. Este trabalho demonstra inúmeras vantagens no que diz a praticidade do sistema desenvolvido, mas peca ao estar mais focado na parte de *hardware* do sistema, uma vez que o usuário só tem acesso aos dados do sistema por mensagens de texto.

[Ficklin et al. 2015] demonstraram que o método de Penman-Monteith possui uma boa correlação espacial para estimar o índice de severidade da seca para o caso da Palmeira. Foi utilizada a ferramenta desenvolvida por [Jacobi et al. 2013] que inclui uma opção para o uso do método Penman-Monteith para calcular o potencial de evapotranspiração, como uma entrada para os cálculos do índice de severidade da seca. Esse trabalho demonstra que o método de Penman-Monteith possui uma alta confiabilidade, sendo a melhor ferramenta para o cálculo de *ETo*.

Este trabalho tem como objetivo validar o uso de sensores de baixo custo para cálculo de *ETo* por meio do método Penman-Monteith. Com o *ETo* é possível calcular o *ETc* e em seguida calcular a lâmina líquida e a lâmina bruta de água a ser usada para irrigar um determinado local de plantio. Para isso é preciso levar em conta dados meteorológicos, dados do cultivo, como tipo de planta e estágio de desenvolvimento e a localização geográfica do cultivo. Depois dos dados meteorológicos validados o objetivo é desenvolver um sistema capaz de exibir essas informações calculadas, assim como os dados dos sensores, de forma amigável ao usuário final.

2. Materiais e Métodos

O sistema de auxílio à irrigação é composto por *hardware* e *software*, sendo o primeiro responsável pela captura, processamento e envio dos dados dos sensores para o *software* que é um sistema *Web* onde será possível visualizar os dados de irrigação. Para desenvolver o *hardware* foi usado a plataforma *Arduino Mega*¹ com o microprocessador ATmega1280 de 16 MHz de *clock*. Junto a ele é utilizado um *Shield Ethernet* responsável pela comunicação *Web* e também armazenar os dados em um cartão de memória *MicroSD (Secure Digital)* removível, além de um sensor de temperatura e umidade DHT11 e um anemômetro fixo. O sensor DHT11 possui uma acurácia de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ para temperatura e de $\pm 5\%$ para umidade relativa do ar. O anemômetro possui uma alta sensibilidade, iniciando em $0,9 \text{ km.h}^{-1}$.

Já no sistema *Web*, onde os dados serão exibidos, foi desenvolvido um servidor de aplicação PHP², com o framework *Laravel*³, a fim de realizar os cálculos complexos e armazenar os dados obtidos do *hardware* por meio do protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), em um Banco de Dados *MySQL*⁴. A aplicação do lado do cliente está sendo desenvolvida com o framework *AngularJS*⁵, onde o usuário final terá acesso a

¹ <https://www.arduino.cc>

² <https://php.net>

³ <https://laravel.com>

⁴ <https://www.mysql.com>

⁵ <https://angularjs.org>

informação de quando realizar a irrigação, com base nos dados de lâmina líquida, lâmina bruta, frequência de irrigação, ET_o e ET_c gerados pelo servidor de aplicação, e também poderá ter acesso a dados meteorológicos como temperatura, umidade e velocidade do vento, mostrados em gráficos de histórico e de tempo real.

A equação 1 mostra o cálculo para evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta (Rn - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

em que:

- ET_o evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});
- Rn saldo de radiação diária ($\text{M J m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
- Δ é a declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura ($\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);
- G fluxo total diário de calor do solo ($\text{M J m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
- γ coeficiente psicrométrico ($\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);
- U_2 velocidade do vento a dois metros de altura (m.s^{-1});
- e_s pressão de saturação de vapor (kPa);
- e_a pressão de vapor atual (kPa);
- T temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$).

Onde Δ é calculado usando a equação 2.

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right)} \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (2)$$

Para calcular o coeficiente psicrométrico γ , usamos a equação 3.

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^3 \cdot P_{atm} \quad (3)$$

onde P_{atm} é pressão atmosférica (kPa) do local, que é calculado usando a equação 4.

$$P_{atm} = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (4)$$

sendo z a altitude do local em metros.

A diferença entre e_s e e_a na equação 1 representa o déficit de pressão do ar, sendo calculados usando as equações 5 e 6, respectivamente.

$$e_s = 0,6108 e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right)} \quad (5)$$

$$e_a = \frac{e_s UR}{100} \quad (6)$$

onde UR é a umidade relativa do ar (%).

O fluxo de calor do solo, G , é a energia que é utilizada para aquecer o solo. Segundo [Allen et al. 1998] o fluxo de calor do solo possui um valor muito pequeno se comparado com os demais valores e variáveis, e quando não disponível pode ser usado zero para realizar as equações.

O saldo de radiação diário, Rn , é uma das variáveis mais difíceis de se obter. Raramente as estações meteorológicas possuem sensores para determiná-la. É possível estimá-la por meio da equação 7.

$$Rn = Rns - Rnl \quad (7)$$

onde Rns é o saldo de radiação de ondas curtas ($M J m^{-2} dia^{-1}$) que é calculado pela equação 8 e o Rnl é o saldo de radiação de ondas longas ($M J m^{-2} dia^{-1}$) calculado pela equação 9.

$$Rns = (1 - \alpha)Rs \quad (8)$$

$$Rnl = 4,903 \left[\frac{(T_{max} + 273,16)^4 + (T_{min} + 273,16)^4}{2} \right] [0,34 - 0,14\sqrt{e_a}] \left[1,35 \frac{Rs}{Rso} - 0,35 \right] \quad (9)$$

sendo:

- T_{max} e T_{min} são temperatura máxima e mínima do dia ($^{\circ}C$), respectivamente;
- Rs é a radiação solar incidente ($M J m^{-2} dia^{-1}$);
- Rso é a radiação solar incidente na ausência de nuvens ($M J m^{-2} dia^{-1}$);
- α é o coeficiente de reflexão da vegetação.

Rso pode ser obtido por meio da equação 10.

$$Rso = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5}z) \left(\frac{118,09}{\pi} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \right) \quad (10)$$

onde φ é a latitude do local em radianos; d_r é a distância inversa relativa entre a Terra e o Sol que é calculado usando $d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right)$, sendo J o dia do ano; δ é inclinação solar dada por $\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365}\right)$; ω_s é o ângulo horário ao nascer do sol, dado por $\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan\varphi \tan\delta}{(1 - [\tan\varphi]^2 [\tan\delta]^2)^{0,5}}\right]$.

Na equação 7, 8 e 9 foi verificado que para calcular Rn ainda é preciso conhecer Rs , que pode ser estimado utilizando a equação 11.

$$Rs = k_{Rs} \left(\frac{118,09}{\pi} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \right) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (11)$$

Segundo [Allen et al. 1998] para obtermos a evapotranspiração de cultura utilizamos (ET_c) a equação 12.

$$ET_c = K_c ET_o \quad (12)$$

em que K_c é o coeficiente de cultivo.

A lâmina líquida e lâmina bruta de água são calculadas utilizando as equações 13 e 14, respectivamente [dos Santos Nascimento et al. 2012]

$$LL = CAD \cdot f \cdot Z \quad (13)$$

$$LB = \frac{LL}{E_f} \quad (14)$$

onde E_f é a eficiência do sistema de irrigação, expressa de 0 até 1; CAD é capacidade de água disponível do solo (mm); f é o fator de disponibilidade de água do solo ou coeficiente de depleção, expresso de 0 até 1 e Z é a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm).

O método de cálculo por Penman-Monteith seguiu como base o roteiro exposto por [Conceição 2006] e o método de cálculo de frequência de irrigação por acúmulo de LL seguiu o roteiro exposto por [de Albuquerque 2010].

Utilizando as equações citadas acima é necessário obter apenas os dados de temperatura mínima, média e máxima, umidade relativa do ar e a velocidade de vento a 2 metros de altura. Outros dados necessários para o cálculo da evapotranspiração além dos dados dos sensores, como o CAD (variável pelo tipo de solo que está inserida a cultura), f , z e o E_f são obtidos por valores tabelados em [de Albuquerque 2010].

Para coletar os dados de temperatura e umidade utilizou-se o sensor DHT11. Para se obter a velocidade do vento foi utilizado um anemômetro. Dados de altitude e latitude nesse caso foram obtidos por meio do *Google Earth*⁶, porém pode ser obtido por meio de GPS.

Para verificar a acuracidade dos dados obtidos pelos sensores acima eles foram comparados com os dados de uma estação meteorológica profissional presente na Fazenda Escola Capão da Onça pertencente a Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), na cidade de Ponta Grossa (PR), com clima *Cfb* onde apresenta precipitação significativa em todos os meses do ano e temperatura amenas nos meses mais quentes, situada a uma altitude no ponto mais alto de 1027 m, latitude 25° 05' 49" S e longitude 50° 03' 11" W, possuindo solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico. Os sensores DHT11 e anemômetro fixo foram instalados no mesmo local, distante cerca de 10 metros da estação meteorológica profissional. Foram obtidos dados nos dias 28, 29 e 30 de junho de 2017 para serem verificadas as acurácias dos dados de temperatura, umidade e velocidade do vento.

3. Resultados

Nas figuras 1, 2 e 3 é possível visualizar as correlações dos sensores que apresentaram os melhores resultados.

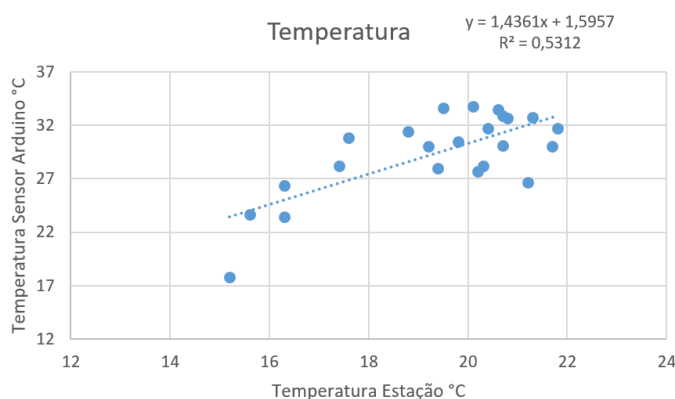


Figura 1. Correlação dos dados de temperatura obtidos por meio dos sensores e da estação meteorológicas

⁶ <https://earth.google.com>

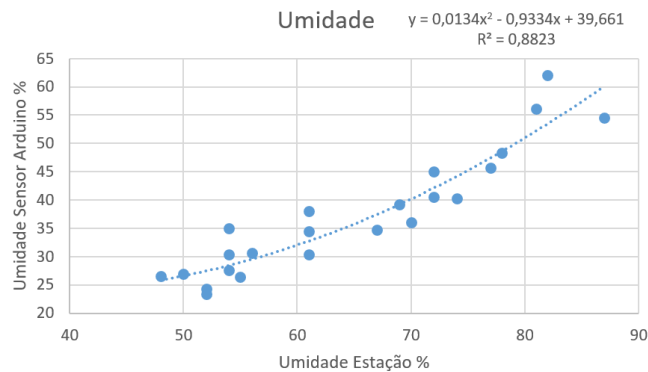


Figura 2. Correlação dos dados de umidade obtidos por meio dos sensores e da estação meteorológicas

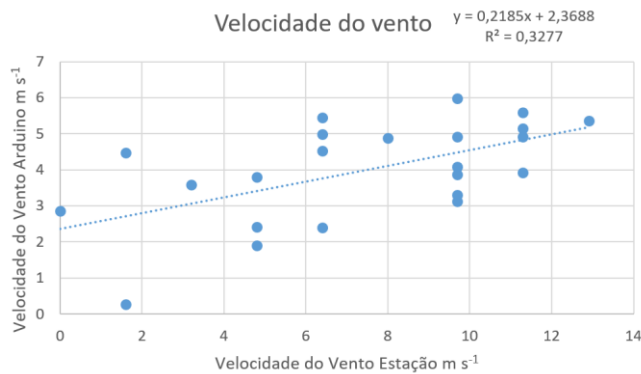


Figura 3. Correlação dos dados de velocidade do vento obtidos por meio dos sensores e da estação meteorológicas

É possível verificar que na figura 2 que a umidade apresentou uma melhor correlação, porém apenas com o uso de uma função polinomial de segundo grau com um R^2 de 0,8823, indicando que os dados estão correlacionados. Nas figuras 1 e 3 podemos notar que a temperatura e velocidade do vento apresentaram R^2 abaixo de 0,6, indicando uma correlação baixa. Realizando teste de hipótese *Student*, ou teste t, é possível afirmar com mais de 95% de certeza que as médias para os dados de temperatura, umidade e velocidade do vento obtidos pelos sensores são diferentes das médias dos mesmos dados obtidos por meio da estação meteorológicas.

Apesar da baixa correlação dos dados de velocidade do vento e temperatura e do teste de hipótese indicar que as médias são diferentes entre si, a diferença entre o ET_o calculado usando dados dos sensores e o calculado usando os dados da estação meteorológicas é pequena. Para o primeiro dia tivemos um ET_o de 7,22 mm utilizando os sensores e 6,69 mm utilizando a estação, já para o segundo dia os valores foram de 6,45 mm e 6,16 mm, respectivamente e para o último dia 5,92 mm e 5,72 mm, respectivamente. Sendo a maior diferença no segundo dia, com apenas 0,53 mm.

A figura 4 exemplifica como os dados climáticos (nesse caso a temperatura) são mostrados no *software* construído.



Figura 4. Gráfico de temperatura gerado pelo software desenvolvido

A figura 5 ilustra o formulário com os dados de entrada necessários para que o usuário obtenha a resposta da necessidade ou não de realizar a irrigação para a cultura tratada. É possível ver que o usuário pode também registrar o dia da última irrigação realizada para uma dada cultura.

Como todas as requisições do *software* realizadas pelo lado do cliente utiliza a linguagem *JavaScript*, com suporte do framework *AngularJS*, essas chamadas são realizadas de forma assíncrona (sem a necessidade de recarregar as páginas), o que possibilita a visualização das informações com uma latência bastante reduzida.

O trabalho desenvolvido possui algumas vantagens e desvantagens em contrapartida com trabalhos encontrados na literatura. [Wenting et al. 2014] não projetaram qualquer conexão com a internet, o que dificulta o acesso aos dados em tempo real. Por outro lado, esse sistema mostra-se interessante porque é alimentado por baterias solares. [Faris and Croock 2016] desenvolveram um sistema que não possui a mesma confiabilidade do método de Penman-Monteith. Outra questão a ser levantada é que não se sabe a eficiência do sistema para diferentes climas e regiões do globo, o que muito possivelmente é melhor recomendado para ser utilizado apenas em condições similares aos validados pelos seus autores. Sabe-se que o método de Penman-Monteith é recomendado para estimar a evapotranspiração independentemente do clima, fazendo com que o sistema fique genérico.

[Touati et al. 2013] também não permite que o produtor visualize os dados em tempo real, sendo necessário o conhecimento técnico de Banco de Dados para visualizar os valores medidos pelas variáveis climatológicas. O sistema aqui mostrado, permite a visualização das informações através da *Web* em qualquer instante. Por fim [Nugroho et al. 2016] demonstra que seria interessante utilizar a mesma tecnologia para que o sistema seja suportado também em regiões rurais com pouco acesso de rede (problema ainda enfrentado em diversas regiões terrestres), mas não é validado a acurácia e nem utilizado um método confiável para a implementação para diferentes culturas e regiões terrestres.

Estação Meteorológica Temperatura ▾ Umidade ▾ Velocidade ▾ Evapotranspiração Registrar Irrigação

Evapotranspiração

Selecione o método de irrigação:

Selecione a cultura:

Selecione o estágio de desenvolvimento:

Selecione o tipo de solo:

Altitude:

Latitude:

Graus: Minutos:

Região:
 Continente Costeira

Figura 5. Formulário do sistema para estimar a necessidade de rega

4. Conclusões

Os dados meteorológicos obtidos por meio dos sensores não apresentaram uma boa correlação com os dados da estação meteorológica, indicando a necessidade de realizar um novo levantamento de sensores. Porém, apesar da baixa correlação dos dados, a diferença entre o *ET_o* calculado usando os dados da estação meteorológica e o calculado usando dados dos sensores se mostrou pequena. Essa pequena diferença se deve ao fato de que o cálculo para *ET_o* depende de muitas outras variáveis que possuem maior influência sobre o cálculo.

A primeira sugestão de trabalhos futuros seria verificar sensores de baixo custo que apresentem uma melhor correlação com os dados de estações meteorológicas. Há ainda a possibilidade de unir uma central de controle automático que esteja ligado ao sistema de irrigação das culturas, fazendo com que o produtor rural opere o sistema apenas em caso de falha, além de alimentar o sistema através de baterias fotovoltaicas. Ainda, caso deseje-se aplicar o sistema em grandes culturas, seria interessante projetar uma rede de sensores para a obtenção de dados meteorológicos.

Referências

- Afrasiabikia, P., Rizi, A. P., and Javan, M. (2017). Scenarios for improvement of water distribution in doroodzan irrigation network based on hydraulic simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 135:312–320.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Anand, K., Jayakumar, C., Muthu, M., and Amirneni, S. (2015). Automatic drip irrigation system using fuzzy logic and mobile technology. In *Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)*, 2015 IEEE, pages 54–58. IEEE.

- Conceição, M. (2006). Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de penman-monteith-fao. Embrapa Uva e Vinho-Circular Técnica (INFOTECA-E).
- de Albuquerque, P. (2010). Estratégias de manejo de irrigação: exemplos de cálculo. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E).
- dos Santos Nascimento, P., Bassoi, L. H., and da Silva Paz, V. P. (2012). Planilha eletrônica para auxílio à tomada de decisão em manejo de irrigação. IRRIGA (Brazilian Journal of Irrigation and Drainage), 17(1):1–15.
- Faris, Z. M. and Croock, M. S. (2016). Database based irrigation management system. Database, 5(10).
- Ficklin, D. L., Letsinger, S. L., Gholizadeh, H., and Maxwell, J. T. (2015). Incorporation of the penman–monteith potential evapotranspiration method into a palmer drought severity index tool. Computers & Geosciences, 85:136–141.
- Jabloun, M. d. and Sahli, A. (2008). Evaluation of fao-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data: Application to tunisia. Agricultural water management, 95(6):707–715.
- Jacobi, J., Perrone, D., Duncan, L. L., and Hornberger, G. (2013). A tool for calculating the palmer drought indices. Water Resources Research, 49(9):6086–6089.
- Nugroho, A. P., Okayasu, T., Hoshi, T., Inoue, E., Hirai, Y., Mitsuoka, M., and Sutiarsu, L. (2016). Development of a remote environmental monitoring and control framework for tropical horticulture and verification of its validity under unstable network connection in rural area. Computers and Electronics in Agriculture, 124:325–339.
- Rojas, J. P. and Sheffield, R. E. (2013). Evaluation of daily reference evapotranspiration methods as compared with the asce-ewri penman-monteith equation using limited weather data in northeast louisiana. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 139(4):285–292.
- Touati, F., Al-Hitmi, M., Benhmed, K., and Tabish, R. (2013). A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of qatar. Computers and electronics in agriculture, 98:233–241.
- Wenting, H., Zhiqing, X., Yang, Z., Pei, C., Xiangwei, C., and Ooi, S. K. (2014). Realtime remote monitoring system for crop water requirement information. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 7(6):37.