

## Estação meteorológica de baixo custo para cálculo, armazenamento e exibição da evapotranspiração de referência

### *Low-cost weather station for calculating, storing and displaying reference evapotranspiration*

Matheus Soares Nametala<sup>1</sup> 

Calebe Giaculi Júnior<sup>2</sup> 

Gislaine Pacheco Tormen<sup>3</sup> 

Bruno Alberto Soares Oliveira<sup>4</sup> 

**Resumo:** A irrigação é uma das técnicas mais importantes para aumentar a produtividade da agricultura, na qual são utilizados procedimentos que buscam aumentar a qualidade e a eficiência do processo em questão. Segundo a literatura, dentre os métodos mais eficientes de manejo da água de irrigação estão aqueles que fazem uso de sensores para estimar a evapotranspiração da cultura. Neste trabalho, foi desenvolvido um protótipo de baixo custo que coleta do ambiente dados de temperatura utilizados para calcular a evapotranspiração de referência, utilizando a equação de Hargreaves e Samani (1982). Os resultados obtidos pelo sistema são apresentados por meio de uma aplicação *web*, permitindo o monitoramento diário das condições climáticas nas quais determinada cultura esteja submetida. Para tal, foi utilizada a plataforma de prototipagem Arduino, o sensor de temperatura DHT11 e o *shield* Ethernet W5100 para conectar o Arduino na mesma rede do servidor com a aplicação *web* desenvolvida. Para validação do sistema, o protótipo foi instalado ao lado da estação meteorológica automática Bambuí-A565, do INMET, em que foi realizada uma comparação dos dados obtidos por ambos com o uso de ferramentas estatísticas, sendo obtida uma correlação de 0,956 e REQM de 0,099 para os dados de evapotranspiração de referência. Com os resultados alcançados, pode-se concluir que os objetivos propostos foram atingidos e que foi obtido um pequeno erro e uma alta correlação entre os dados comparados, significando que o sistema desenvolvido pode ser utilizado na agricultura.

**Palavras-chave:** Aplicação *Web*. Arduino. Estação Meteorológica. Evapotranspiração. Monitoramento.

<sup>1</sup>Bacharel em Engenharia de Computação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Bambuí, matheus.nametala@gmail.com.

<sup>2</sup>Mestre em Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Bambuí, calebe.giaculi@ifmg.edu.br.

<sup>3</sup>Mestre em Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Bambuí, gislaine.tormen@ifmg.edu.br.

<sup>4</sup>Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, brunoalbertobambui@gmail.com.

**Abstract:** Irrigation is one of the most important techniques for increasing agricultural productivity, using procedures that seek to increase the quality and efficiency of the process in question. According to the literature, among the most efficient methods of irrigation water management are those that use sensors to estimate crop evapotranspiration. In this work was developed a prototype that collects from environment temperature data used to calculate the reference evapotranspiration, using the Hargreaves e Samani (1982) equation. The results obtained by the system are presented through a web application, allowing daily monitoring of climatic conditions to which a given crop was subjected. For such purpose, the Arduino prototyping platform, DHT11 temperature sensor and shield Ethernet W5100 were used to connect Arduino on the same server network with the developed web application. In order to validate the system, it was installed next to INMET's Bambuí-A565 automatic weather station, where a comparison of the data obtained by both of them with the use of statistical tools was performed, were was obtained and a correlation of 0.956 and RMSE of 0.099 for the data of reference evapotranspiration. With the results obtained it can be concluded that the proposed objectives were achieved, where a small error was obtained and a high correlation between the compared data, meaning that the developed system can be used in agriculture.

**Keywords:** Arduino. Weather Station. Evapotranspiration. Monitoring. Web Application.

# 1 Introdução

A agricultura é uma atividade essencial para a humanidade, uma vez que é por meio dela que são produzidos os alimentos que abastecem a população. Entretanto, para que uma cultura agrícola tenha uma boa produtividade, é importante a utilização de técnicas que visam corrigir as condições naturais do ambiente, que nem sempre são as ideais. Dentre essas técnicas, uma que se apresenta essencial é a irrigação, que por sua vez pode demandar de grandes quantidades de água e de energia. Assim, para que se tenha um bom aproveitamento na utilização destes recursos, é necessário a utilização de métodos para aumentar a eficiência deste processo.

Segundo Lima, Ferreira e Christofidis (1999), denomina-se irrigação o conjunto de técnicas para deslocar água com objetivo de modificar as possibilidades agrícolas de cada região, visando também corrigir a distribuição natural das chuvas. Para Marouelli, Silva e Silva (2008), o sucesso de um sistema de irrigação depende de ele estar adequadamente dimensionado e manejado, possibilitando que a água seja aplicada de maneira uniforme nas plantas, no momento correto e em quantidade adequada.

De acordo com Mendonça et al. (2003), “a determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação”. Com isso, além da importância de se garantir a qualidade da plantação, também existe o fator ambiental, uma vez que a água é um recurso de extrema importância no nosso planeta, além dos custos com energia, que é uma das maiores preocupações em projetos de irrigação.

Existem vários métodos que podem ser utilizados no manejo da água de irrigação. Dentre os que se mostram mais eficientes, estão aqueles utilizando sensores em tempo real para medir as condições da água no solo ou para estimar a evapotranspiração da cultura, em que o custo, a precisão e a simplicidade de operação dependem do método utilizado (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008; OLIVEIRA; ASSIS; SASAKI, 2019).

Para a realização de tais medições, atualmente são utilizadas estações meteorológicas automáticas que fornecem os dados climáticos de importância para a agricultura. Contudo, tais estações são encontradas no mercado com preço elevado, podendo não ser viável principalmente para pequenas áreas. Assim, mostra-se necessário o desenvolvimento de um aparelho de custo acessível que forneça dados que possam ser utilizados na irrigação.

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo capaz de estimar a evapotranspiração de referência em qualquer ambiente de interesse, em que os dados obtidos serão disponibilizados em um servidor para consulta. Tais cálculos para a estimativa da evapotranspiração de referência utilizam variáveis que são grandezas do ambiente. Neste

trabalho, a equação utilizada é a fórmula de Hargreaves e Samani (1982), que utiliza dados de temperatura, coletados por um sensor e então enviados para um sistema embarcado, que executará os cálculos diariamente e enviará os resultados para um servidor, que, por sua vez, armazena os dados em um banco de dados para futuras consultas.

Assim, utilizando-se de técnicas capazes de estimar a quantidade de água para suprir a necessidade das plantas, espera-se como resultado o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo capaz de fornecer informações úteis para um uso eficaz de água e energia, diminuindo o desperdício e aumentando a eficiência da irrigação. Outra vantagem que pode ser colocada com a utilização do sistema proposto, é ao se utilizar fontes de energia que possibilitem a locomoção do dispositivo desenvolvido, como baterias ou placa fotovoltaica, ele pode ser implantado em um ambiente de interesse, tendo em vista que os aparelhos similares no mercado tratam-se de estações meteorológicas móveis, que não fazem o cálculo da evapotranspiração, apresentando apenas os dados climáticos que podem ser utilizados nas equações. Entretanto, tais estações apresentam custos elevados, além do fato de que um profissional da área de irrigação pode extrair, de forma direta, informações úteis dos valores de evapotranspiração, diferentemente dos dados climáticos fornecidos por tais aparelhos.

Com o uso do sistema desenvolvido neste trabalho, espera-se que o usuário tenha acesso a dados que possam ser utilizados em projetos de manejo de irrigação e que eles funcionem como uma ferramenta útil para ser usada em processos que visam aumentar a eficiência na aplicação de água via sistemas de irrigação, ao mesmo tempo em que será possível evitar o desperdício desse recurso, garantindo assim, uma produção sustentável.

## **2 Referencial Teórico**

### **2.1 Evapotranspiração**

O conceito de evapotranspiração foi introduzido por Thornthwaite e Wilm (1944), para expressar a ocorrência simultânea dos processos de evaporação no solo e de transpiração das plantas, como ilustra a Figura 1.

Para Borges e Mendiondo (2007), “evapotranspiração é a perda de água de uma superfície com qualquer tipo de vegetação e sob qualquer condição de umidade para a atmosfera”. Ainda segundo esses autores, nas diversas formas de uso de recursos hídricos, inclusive projetos de irrigação, é importante que se faça estimativa das perdas por evaporação e transpiração da água.

De acordo com Camargo e Camargo (2000), “a evapotranspiração real (Etr) constitui a perda de água de uma superfície natural, em qualquer condição de umidade e de cobertura

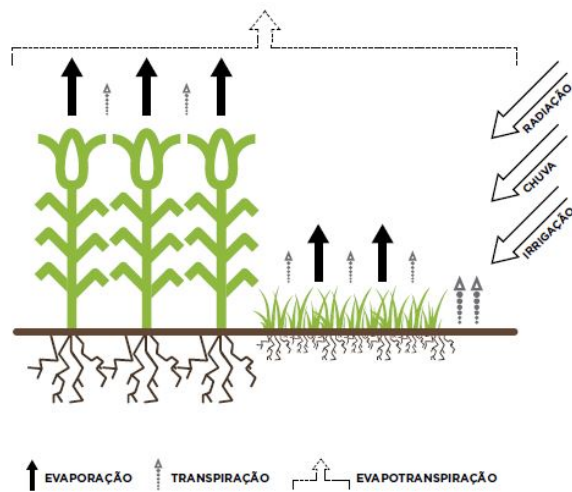


Figura 1: Evapotranspiração

vegetal”. Segundo Bezerra, Silva e Ferreira (2008), é de grande importância que se tenha o conhecimento da evapotranspiração real no manejo hídrico da agricultura irrigada. Porém, de acordo com Marques, Salati e Santos (1980), é uma tarefa difícil fazer a medição da Etr, pois a medida dela é feita com pequenas culturas a partir de técnicas específicas que fazem uso de equipamentos com utilização impraticável em ecossistemas reais.

Neste contexto, existe também o conceito de Evapotranspiração de Referência (Eto), que para Borges e Mendiondo (2007) é “o processo de perda de água para a atmosfera por meio de uma superfície padrão gramada, cobrindo a superfície do solo e sem restrição de umidade”. De acordo com Carvalho et al. (2011), Eto foi originalmente introduzida sob o termo evapotranspiração potencial (Etp), definida como a transferência de água do solo e da planta para a atmosfera sob condições padronizadas, tratando-se de uma extensa área coberta por vegetação baixa, de altura uniforme, com elevado índice de área foliar (determinado pela razão entre a área foliar do dossel e a área de solo disponível para planta), de crescimento ativo na fase adulta (em que a grama é a principal vegetação adotada) e com teor de água do solo próximo da capacidade de campo. Assim, sob estas condições, ainda segundo Carvalho et al. (2011), a evapotranspiração acontece apenas pelas condições atmosféricas sobre a vegetação, podendo então ser estimada por métodos modelados sob embasamentos matemáticos teórico-empíricos desenvolvidos e testados para várias condições climáticas.

Para Marouelli, Silva e Silva (2008), a quantidade de água que uma cultura consome por dia é definida como evapotranspiração da cultura Etc. De acordo com Carvalho et al. (2011), estimar a evapotranspiração da cultura em projetos ou manejos de irrigação é de fundamental importância, sendo uma das alternativas para se racionalizar o uso da água. A Etc normalmente

é determinada aplicando-se um coeficiente de ajuste  $Kc$  (determinado para cada cultura) à evapotranspiração da cultura de referência ( $Eto$ ) que, no caso, é a grama (Equação 1).

$$Etc = Kc * Eto \quad (1)$$

De acordo com Marouelli, Silva e Silva (2008), medir a evapotranspiração da cultura de forma direta e precisa não é uma tarefa simples, assim, para fins de manejo e irrigação, são utilizados métodos indiretos, baseados em dados climáticos, em que a evapotranspiração da cultura é estimada a partir da evapotranspiração de referência. Segundo Camargo e Camargo (2000), “a evapotranspiração potencial passou a ser considerada, como a chuva, um elemento meteorológico padrão, fundamental, representando a chuva necessária para atender às carências de água da vegetação”, sendo que, ainda segundo o autor, a chuva e a ETp são elementos meteorológicos de sentidos opostos, expressos em milímetros pluviométricos. Para Camargo e Sentelhas (1997), existem diversos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. A grande diversidade de métodos desenvolvidos para estimativa da  $Eto$  deve-se a três principais fatores, que são a conciliação do método para atender às condições climáticas da região, a simplicidade de uso e por fim a limitação de elementos meteorológicos ou climáticos que alimentam estes métodos (CARVALHO et al., 2011).

Dentre os diversos métodos disponíveis utilizados no cálculo da evapotranspiração de referência, a equação de Hargreaves e Samani (1982) se destaca por necessitar de poucos parâmetros se comparado aos demais e também por apresentar bons resultados. Shahidian et al. (2011) constata que “esta equação tem produzido resultados satisfatórios ao ar livre em diversas partes do mundo, apesar da sua aparente simplicidade”. Tal equação é dada por:

$$Eto = 0,0135Kt(T_{med} + 17,18)(T_{max} - T_{min})^{0,5} Ra \quad (2)$$

em que  $T_{med}$ ,  $T_{max}$  e  $T_{min}$  são, respectivamente, as temperaturas média, máxima e mínima do dia. Os valores de radiação solar extraterrestre  $Ra$  podem ser calculados ou então obtidos através de tabelas, em que o valor em questão varia de acordo com a latitude da região e do mês. O coeficiente empírico  $Kt$  se trata de um valor ajustável, que pode assumir valores diferentes para regiões distintas.

Como o cálculo da evapotranspiração depende de variáveis climáticas, como por exemplo, a temperatura, um sistema embarcado que, por meio de sensores, receba tais dados, pode ser desenvolvido com o objetivo de estimar a evapotranspiração de referência, e até mesmo enviar esses dados para outro sistema para que eles possam ser armazenados e consultados.

## 2.2 Análise de Dados

Para verificar a confiabilidade da medida ou estimação de uma determinada variável, é necessário fazer a comparação dos dados obtidos a partir do método proposto com valores reais ou então que possam ser considerados como referência (OLIVEIRA et al., 2021). Segundo Meira e Ávila (2010), “a comparação ideal entre os parâmetros atmosféricos estimados e as medidas requer a obtenção de métricas de avaliação dos parâmetros atmosféricos”, o que permite verificar a confiabilidade dos dados obtidos pela estimação.

Finholdt e Mantovani (2008) e Meira e Ávila (2010) concordam que as ferramentas estatísticas raiz do erro quadrático médio (*REQM*) e erro de viés médio (*EVM*) podem ser usadas para verificar a proximidade de uma grandeza observada ou estimada com o valor verdadeiro. Tais ferramentas se tratam de equações, que considerando  $F$  como o valor estimado,  $O$  o valor real e  $n$  o número de observações, são dadas por:

$$REQM = \sqrt{1/n \sum (F - O)^2} \quad (3)$$

$$EVM = 1/n \sum (F - O) \quad (4)$$

onde *REQM* mede a amplitude do erro e *EVM*, indica a direção do erro, ou seja, se está havendo uma superestimação ou subestimação dos valores.

## 2.3 Estado da Arte

No trabalho de Shahidian et al. (2011) foi feito um estudo da utilização da equação de Hargreaves e Samani (1982) para o cálculo da evapotranspiração de referência. O autor concluiu que o uso desta equação se apresentou aceitável, podendo ser então uma alternativa de método para cálculo da evapotranspiração neste trabalho.

A pesquisa de Cantu (2013) teve como objetivo implementar um sistema *web* para o monitoramento de sensores utilizando a plataforma Arduino. Em seu trabalho, o Arduino faz a leitura do sensor DHT11, que se trata de um sensor de temperatura e umidade. Os dados das leituras realizadas eram então armazenadas em um sistema de banco de dados que, posteriormente, eram visualizados e manipulados por um sistema *web*. Segundo o autor, as tecnologias utilizadas em seu trabalho são livres e adequadas tanto para estudos acadêmicos quanto para projetos comerciais. Como complemento ao seu trabalho, o pesquisador propõe para trabalhos futuros que o próprio Arduino envie dados pela rede ao sistema *web*.

No estudo de Elias et al. (2014) foi apresentada uma estação meteorológica integrada à aplicação *web*. O sistema é baseado em Arduino, que conectada a um *shield ethernet*, envia dados referentes ao clima para uma aplicação *web*, que por sua vez exibe os dados desta estação assim como de qualquer outra estação cadastrada e interligada à aplicação. Segundo os autores, a pesquisa apresenta algumas limitações, sendo uma delas a precisão dos instrumentos que compõem a estação desenvolvida, mostrando-se necessário comparar as medições realizadas pelos sensores com aquelas feitas por estações meteorológicas profissionais.

No trabalho de Dilly e Mendes (2015) foi desenvolvida uma aplicação que coleta dados de medição de umidade e temperatura utilizando Arduino. Os dados são então gravados em um banco de dados e disponibilizados em uma interface *web*. Segundo o autor, o Arduino mostrou-se uma solução acessível para comunicação em tempo real, porém apresentou limitações enquanto ele era usado como servidor na aplicação.

Sharma e Shukla (2019) utilizou o Arduino Uno para desenvolver um protótipo que é capaz de realizar o monitoramento do clima. Os autores coletaram dados de temperatura e umidade e, por meio de um aplicativo para dispositivo móvel, as informações poderiam ser visualizadas. Além deles, diversos outros autores (HASAN et al., 2019; COSTA, 2019; KAEWWONGSRI; SILANON, 2020; ADEPOJU et al., 2020; HUSSEIN et al., 2020; SANTOS; FERREIRA, 2020; GOTMARE; KOLTE; THENGODKAR, 2020) pesquisaram formas de utilizar o Arduino com o objetivo de desenvolver uma estação meteorológica de baixo custo.

Outras pesquisas com Arduino já foram desenvolvidas nas dependências do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Bambuí (CRUZ; OLIVEIRA, 2021). Oliveira, Assis e Nolli (2019) utilizaram a ferramenta para coletar em tempo real a corrente elétrica de um dos laboratórios de informática da instituição, apresentando os gráficos gerados com os dados em uma aplicação *web*, podendo auxiliar o gestor na tomada de decisão. Já Oliveira et al. (2020) fez uma análise de uso do sistema elétrico auxiliar de um aquecedor solar, com os dados coletados por um Arduino.

Grande parte dos trabalhos encontrados apresentam limitações indicadas pelos autores. Nessa pesquisa, tentou-se fazer o uso dessas limitações com o objetivo de evitá-las no atual sistema. Uma contribuição importante a ser destacada foi o cuidado com a interface da aplicação *web*, sendo que, em todo o processo, o usuário que atualmente opera na estação meteorológica, pôde contribuir com sugestões e listar como as informações e os gráficos deveriam ser exibidos no *layout* da aplicação. É de extrema importância que quem irá realmente utilizar a plataforma atue ativamente em seu desenvolvimento, situação que raramente é levada em consideração nas pesquisas na área de computação aplicada.

Além da preocupação dos desenvolvedores para uma interface amigável e que faça sentido o uso das informações, o protótipo foi comparado com uma estação meteorológica em ambiente real e em funcionamento, sendo que, em muitos trabalhos não houve esse cuidado em analisar os dados coletados estatisticamente. Os autores de alguns trabalhos consideraram as medições obtidas como aceitáveis, visto que os sensores utilizados já foram validados em outros trabalhos. Por último, a contribuição de se tentar fazer com que a estação tivesse o menor preço possível.

### 3 Material e Métodos

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foram utilizadas as seguintes ferramentas: uma plataforma eletrônica Arduino (ARDUINO, 2018) modelo Mega 2560, que contém um microcontrolador ATmega2560, um *Shield Ethernet* 5100W baseado no chip Wiznet W5100, que possibilita a conexão com uma rede de maneira fácil e rápida (AVELAR et al., 2010), um sensor digital de temperatura e umidade modelo DHT11. Além disso, para a aplicação *web*, foi empregado o XAMPP<sup>5</sup>, que é um pacote contendo os principais servidores de código aberto no mercado, incluindo banco de dados MySQL e o servidor Apache (FRIENDS, 2018). O *framework* Bootstrap<sup>6</sup> e a biblioteca Chart.js<sup>7</sup>.

Observada a importância da utilização de métodos eficientes para o manejo da irrigação, que de acordo com a literatura, a maioria destes se baseiam no cálculo da evapotranspiração, o presente trabalho propôs o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo que seja capaz de estimar a evapotranspiração em um ambiente a partir de dados climáticos obtidos por ele e, em seguida, disponibilizar esses dados em uma aplicação *web* para consultas futuras, a fim de que possam ser utilizados principalmente em projetos de irrigação. A Figura 2 ilustra o diagrama de blocos do sistema proposto.

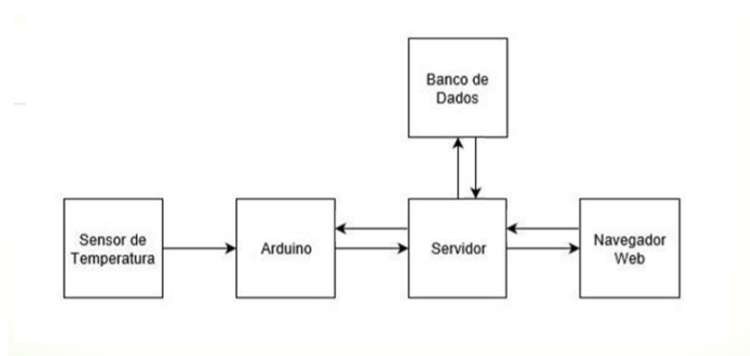


Figura 2: Diagrama do modelo proposto

<sup>5</sup><[https://www.apachefriends.org/pt\\_br/index.html](https://www.apachefriends.org/pt_br/index.html)>

<sup>6</sup><<https://getbootstrap.com/docs/4.0/getting-started/download/>>

<sup>7</sup><<https://www.chartjs.org/docs/latest/>>

Para o desenvolvimento do protótipo, inicialmente, foi definido um método para o cálculo da evapotranspiração de referência, que se trata da Equação 2, escolhida devido ao fato de ela apresentar bons resultados, requerendo o controle de apenas uma variável do ambiente, que é a temperatura. Desde modo, utilizando tal equação, há uma redução da complexidade do sistema, tendo em vista que serão menos variáveis monitoradas, existindo também o benefício da redução de custos com equipamentos e manutenção.

Como a equação escolhida requer o cálculo da temperatura média do dia, foi utilizado para tal o método apresentado no trabalho de Allen et al. (1998), recomendado pela FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), que para um período de 24 horas, trata-se da média entre a temperatura máxima e mínima observada nesse intervalo de tempo (Equação 5), em vez da média das medições das temperaturas horárias (ALLEN et al., 1998).

$$T_{media} = (T_{max} + T_{min})/2 \quad (5)$$

Os valores de radiação solar extraterrestre ( $R_a$ ) foram obtidos através do trabalho de Doorenbos e Pruitt (1977), em que foram utilizados os valores para uma latitude de  $20^\circ$ , uma vez que o experimento foi realizado no município de Bambuí do estado de Minas Gerais, com localização geográfica definidas pelas coordenadas  $20^\circ 02' 22,64$  de latitude sul e  $46^\circ 00' 19,40$  de longitude oeste. De acordo com Shahidian et al. (2011), o coeficiente empírico  $K_t$  normalmente assume o valor 0,17, por isso é comum que a parcela  $0,0135K_t$  seja substituída por 0,0023, procedimento utilizado neste estudo.

Com o método para a estimativa da evapotranspiração definido, utilizando uma placa Arduino, foi desenvolvido um sistema embarcado, que recebia os dados de temperatura para realizar o cálculo. A implementação do *software* de tal sistema foi desenvolvida na linguagem c, utilizando a IDE do Arduino, seguindo o modelo iterativo incremental, que segundo Amorim et al. (2006), é um tipo de modelo que trata cada pequena parte do sistema como uma iteração, em que são realizadas as etapas de análises, projeto, implementação e testes. Segundo Teles (2017), esse tipo de sistema “começa a ser implementado logo no início do projeto e vai ganhando novas funcionalidades ao longo do tempo”.

Uma vez que a evapotranspiração de referência tenha sido estimada pelo sistema embarcado, o mesmo fará uma requisição ao servidor enviando os dados obtidos para serem armazenados no banco de dados da aplicação *web*. Assim, o usuário do sistema que deseja visualizar os dados, por sua vez, deve estar em uma máquina conectada na mesma LAN que o servidor e utilizar um navegador *web* para acessar a aplicação que apresenta os dados.

Para o desenvolvimento da aplicação *web*, foram utilizadas as linguagens HTML, Java

Script e PHP. Para agilizar no desenvolvimento de uma interface mais amigável ao usuário, foram utilizadas também o *framework* Bootstrap e a biblioteca Chart.js. Assim como o *software* do sistema embarcado, para o desenvolvimento da aplicação, foi utilizado o modelo de processo iterativo e incremental.

Para realizar a avaliação do protótipo, foi realizada a comparação dos dados obtidos pelo sistema desenvolvido com os dados da estação meteorológica automática, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia(INMET), localizada em Bambuí-MG, nas dependências do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Bambuí. Assim, visando uma melhor qualidade da comparação entre os dados obtidos, o protótipo desenvolvido foi instalado ao lado da estação meteorológica denominada Bambuí-A565 (Figura 3).



Figura 3: Estação meteorológica Bambuí-A565

Os dados da estação são disponibilizados pelo INMET e podem ser acessados no portal<sup>8</sup> do instituto. O sistema do INMET apresenta medições meteorológicas horárias, dentre as quais estão os dados de temperatura máxima e mínima observada em cada hora com as quais é possível estimar a evapotranspiração de referência aplicando as mesmas equações apresentadas neste trabalho. A Figura 4 apresenta a tela do sistema do INMET, em que é importante observar que as informações da hora de cada medição estão no fuso horário UTC (Tempo Universal Coordenado) estando, portanto, três horas adiantado em relação ao horário de Brasília.

A coleta de dados foi realizada no período de 19/06/2019 a 23/07/2019, em que o protótipo coletou de minuto em minuto valores de temperatura do ambiente. A partir dessas observações, as temperaturas máxima e mínima de cada dia foram utilizadas no cálculo da temperatura média e da evapotranspiração de referência diária. Para a realização da comparação, foi extraído dos dados fornecidos pelo sistema do INMET os valores de máxima e mínima diários, utilizados também para calcular a temperatura média e evapotranspiração de referência. A proximidade dos valores em questão foi averiguada utilizando a equação da

<sup>8</sup><<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>

Data Inicial: 21/07/2019 Data Final: 21/07/2019

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orva	
		Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.
21/07/2019	00	11.5	12.7	11.5	87	87	79	9.4	10.0
21/07/2019	01	10.2	11.6	10.2	91	91	86	8.8	9.5
21/07/2019	02	9.7	10.5	9.7	93	93	88	8.6	9.2
21/07/2019	03	8.8	10.1	8.8	93	93	91	7.8	8.5
21/07/2019	04	8.7	9.2	8.7	94	94	92	7.8	8.5
21/07/2019	05	8.0	8.7	8.0	96	96	94	7.4	8.1
21/07/2019	06	7.6	8.1	7.3	97	97	95	7.1	7.8
21/07/2019	07	7.1	7.8	7.1	96	97	95	6.4	7.1
21/07/2019	08	6.7	7.3	6.6	97	97	95	6.2	6.9
21/07/2019	09	6.2	7.1	6.1	97	98	95	5.7	6.4
21/07/2019	10	6.3	6.7	6.2	97	98	95	5.9	6.6
21/07/2019	11	10.2	10.2	6.3	88	97	86	8.3	9.0

Figura 4: Sistema online INMET

raiz do erro quadrático médio. Além disso, para averiguar uma possível superestimação ou subestimação dos valores, foi utilizada a equação de erro de viés médio. Por fim, foi verificada a correlação destas variáveis.

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Protótipo do Sistema Embarcado

Primeiramente, foi realizado o levantamento dos requisitos necessários para que o sistema pudesse alcançar os objetivos propostos, ficando definido que o sistema embarcado deveria ser capaz de comunicar com um servidor, para que os dados obtidos por ele pudessem ser armazenados e posteriormente consultados em um computador. Além disso, torna-se necessário que ele possa obter informações de data e hora deste mesmo servidor no momento em que é ligado, já que é importante a sincronização do horário para que assim a estimativa da evapotranspiração seja realizada no momento correto ao final do dia.

Assim, o protótipo do sistema embarcado foi desenvolvido para ser capaz de consultar as horas e enviar dados para o servidor por meio de requisições HTTP. O sistema também deve receber as informações de temperatura vindas de um sensor para a realização dos cálculos da evapotranspiração diária. Considerando a possibilidade de algum problema na comunicação do sistema embarcado com o servidor, o primeiro deve armazenar os cálculos salvos em um cartão SD e, posteriormente, quando o sistema conseguir recuperar a conexão com o servidor ele deve enviar os dados que foram armazenados.

Para o usuário, o dispositivo deve proporcionar de maneira visual, por meio de LEDs, se o aparelho está ligado, se o sistema conseguiu atualizar o horário após a inicialização e, em

caso positivo, se ele se encontra conectado ao servidor ou se o cartão SD utilizado está sendo reconhecido pelo o sistema.

Desta forma, foi elaborado um diagrama de caso de uso, que de acordo com Silva, Pansanato e Fabri (2010), é usado para representar as principais funcionalidades e usos de um sistema. Ainda segundo esses autores, um diagrama é composto por atores, que podem ser usuários ou outros sistemas, e também pelos serviços que o sistema fornecerá aos atores, que se trata dos casos de uso. Para demonstrar as funcionalidades que o sistema deve oferecer aos atores, foi elaborado o seguinte diagrama, ilustrado pela Figura 5.

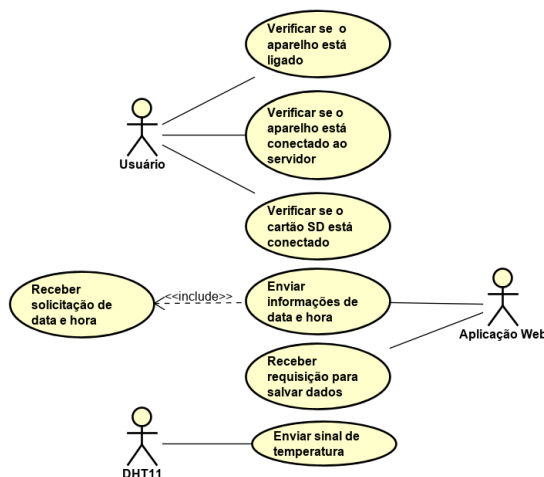


Figura 5: Diagrama de casos de uso sistema embarcado

Uma vez que foram definidas as funcionalidades do sistema, a programação foi desenvolvida, composta por duas funções principais, a “*setup()*” e a “*void()*”, que se trata da estrutura de todo código para o Arduino.

A função *setup* é executada apenas uma vez quando o Arduino é ligado, e é a partir dela que são feitas as configurações iniciais do Arduino, como definição de quais portas serão de entrada ou saída de sinais, por exemplo. Inicialmente, no caso deste trabalho, dentro desta função, é feita uma requisição ao servidor que retorna para o sistema embarcado as informações de data e hora atualizadas, assim este tem um ponto de partida, podendo então fazer a contagem dos dias e das horas internamente, para que as medições realizadas possam ser concluídas no intervalo de tempo certo e atribuídas corretamente a uma data no final de cada um de seus respectivos dias.

Tal característica impõe a necessidade do aparelho se conectar ao servidor para começar a funcionar efetivamente, o que pode ser entendido como uma desvantagem. Porém, assim se

torna dispensável a necessidade de um usuário ter que atualizar a data e a hora do sistema manualmente (por exemplo, sempre que o sistema iniciar automaticamente após uma falha de energia) economizando, além do tempo e do trabalho de deslocamento de uma pessoa até o ponto onde se encontra o dispositivo, o *hardware* que seria necessário para desenvolver a interface para esta funcionalidade.

Para que o usuário possa verificar, no momento da inicialização, se a data e a hora foram atualizadas e que o Arduino reconheceu o cartão SD inserido, dois leds indicadores são ligados, de modo que a cada nova tentativa de conexão (em caso de falhas) com o servidor ele pisca, apagando por um breve intervalo de tempo e voltando a ascender novamente.

Uma vez que data e hora foram atualizadas e o cartão SD foi reconhecido, os dois leds são apagados e então o programa segue a execução, em que a próxima etapa do sistema é buscar no cartão SD se existem medidas de temperatura realizadas na data atual, isso para que torne possível ao sistema fazer o cálculo da Eto mesmo se o aparelho por algum acaso, como falta de energia, por exemplo, tiver desligado e ligado novamente em um curto período de tempo. Assim, caso alguma falha como essa seja detectada, os valores das variáveis que guardam os resultados parciais para a medição da Eto são atualizados para os mesmos valores que tinham no momento da falha. Com isso, é possível calcular a Eto mesmo se o aparelho apresentar alguma falha desse tipo, contudo a medida em questão será imprecisa podendo não ser significativa, em que o usuário, ao verificar a ocorrência da irregularidade por meio da aplicação *web*, deve avaliar se o resultado daquele dia tem alguma coerência em relação aos dias anteriores mais próximos e, então, se pode ser aproveitado de alguma maneira.

A partir disso, dentro da função “void()”, duas outras funções são executadas em loop no sistema. A primeira delas é chamada de minuto em minuto. Desta forma, a cada minuto, o sistema embarcado realiza a leitura do valor de temperatura informada pelo sensor e então verifica se tal valor é o maior ou o menor registrado durante o dia (temperaturas máxima e mínima do dia). Em caso positivo, a variável em questão é atualizada. No final da função, os valores das variáveis registradas são salvos no cartão SD, para que possam ser recuperados em caso de falha de energia.

No final do dia, os dados coletados são usados no cálculo da evapotranspiração. Para tal, primeiramente ele verifica se o aparelho concluiu todas as medições de temperatura naquele dia, por meio de uma verificação de igualdade entre o número de leituras registradas (realizadas de minuto em minuto) com o total de leituras possíveis em um dia. Assim, é enviado como parâmetro um valor de 0 ou 1 que indica se todas as leituras foram realizadas.

Após a realização do cálculo, o Arduino tenta realizar a conexão com o servidor. Se a conexão for feita com sucesso, os dados obtidos são enviados para serem salvos pela aplicação

*web* no banco de dados. Caso aconteça uma falha na conexão, o Arduino registra os dados obtidos naquele dia no cartão SD, para que quando restabelecida a conexão, ele possa enviar os dados gravados.

Outra função executada em *loop* é utilizada para restabelecer a conexão com o servidor. Quando a conexão é feita com sucesso, se existem cálculos de Eto salvos no cartão SD, eles serão enviados ao servidor. Caso a conexão não aconteça, o sistema embarcado acende um dos LEDs que indica que o aparelho não está conectado ao servidor. A mesma função também verifica se o cartão SD está sendo reconhecido pelo aparelho, acendendo também um led em caso negativo.

Com o programa definido, foi montado o circuito para construção de um componente com os leds de interface com o usuário e também a interface com as portas do Arduino, ilustrado pela Figura 6. O modelo em questão foi testado em uma *protoboard*, uma placa de prototipagem com conexões condutoras para circuitos elétricos experimentais, e assim que foi verificado o correto funcionamento do circuito, ele foi construído em uma placa de circuito impresso, para então ser colocada em campo.

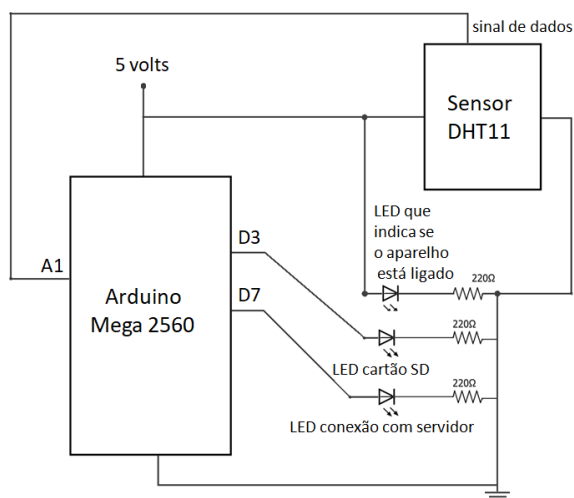


Figura 6: Esquema do circuito

## 4.2 Aplicação Web Desenvolvida

Em relação a aplicação *web* desenvolvida, foi definido que o usuário poderia visualizar os dados obtidos pelo sistema, tanto em forma de gráfico como de tabela, podendo também pesquisar os dados obtidos em um intervalo específico de tempo por ele selecionado.

Considerando a interação entre a aplicação *web* e o sistema embarcado, foi estabelecido que o dispositivo poderia fazer requisições ao servidor para salvar dados e solicitar informações

de data e hora, para que assim ele possa funcionar corretamente, como explicado anteriormente. Tais funcionalidades estão representadas no diagrama de casos de uso ilustrado pela Figura 7.

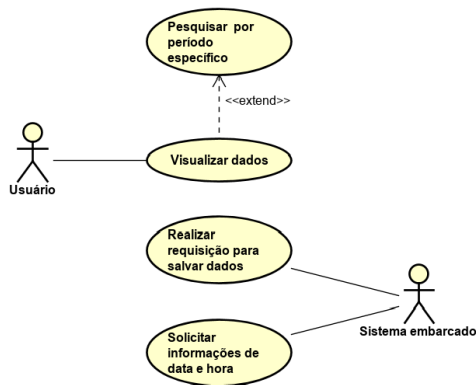


Figura 7: Diagrama de casos de uso da aplicação *web*

Com o diagrama de casos de uso definido, o sistema *web* implementado foi composto por quatro arquivos, desenvolvidos em linguagem php, que são a "*add.php*", "*time.php*", "*index.php*" e "*connection.php*". O arquivo "*add.php*" é o requisitado pelo sistema embarcado, e nele contém o código que salva os dados recebidos pelo SE no banco de dados. Além do "*add.php*", outro arquivo também requisitado pelo SE é o "*time.php*" que, por sua vez, retorna as informações de data e hora do servidor. Já o arquivo "*connection.php*", contém código utilizado pelos outros arquivos para fazer a conexão com o banco de dados.

O arquivo "*index.php*" contém parte de seu código em php para buscar as informações salvas no banco e também em html para exibir tais informações para o usuário. Quando este arquivo é executado, ele busca por todos os dados armazenados no banco e coloca esses dados em variáveis do php. Como inicialmente os dados são carregados em variáveis php, primeiramente, após a declaração das variáveis, é utilizado um trecho em código php com dois laços de repetição que geram um código em Javascript em que duas listas serão alimentadas com os rótulos e os dados a serem apresentados no gráfico da aplicação.

Para que as informações pudessem ser armazenadas e posteriormente consultadas, foi desenvolvido um banco de dados. Como os dados armazenados pelo sistema tratavam-se das grandezas climáticas obtidas diariamente, o banco de dados desenvolvido contém apenas uma entidade, o dia, possuindo quatro atributos, que são os valores de interesse para o sistema, tratando-se do dia em questão, da temperatura mínima, máxima e média registrada, da evapotranspiração de referência estimada e por fim, do atributo "completa", utilizado pelo sistema para saber se foram realizadas todas as medições do dia em questão, sem a ocorrência

de falhas. A Figura 8 representa o diagrama do banco de dados.

resultado	
id_resultado	bigint(20)
dia	date
maxima	float
minima	float
media	float
evapotranspiracao	float
completa	int

Figura 8: Entidade resultado do banco de dados

A tela da aplicação desenvolvida mostra os dados coletados diariamente por meio de uma tabela, contendo a data da medição, o valor de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e a evapotranspiração de referência calculada. A aplicação também conta com um gráfico, que permite uma melhor visualização da variação da evapotranspiração de referência no decorrer dos dias. As Figuras 9 e 10 mostram a tela com a interface gerada contendo a apresentação dos dados de evapotranspiração de referência que são obtidos pelo sistema na forma de gráfico e tabela, respectivamente.

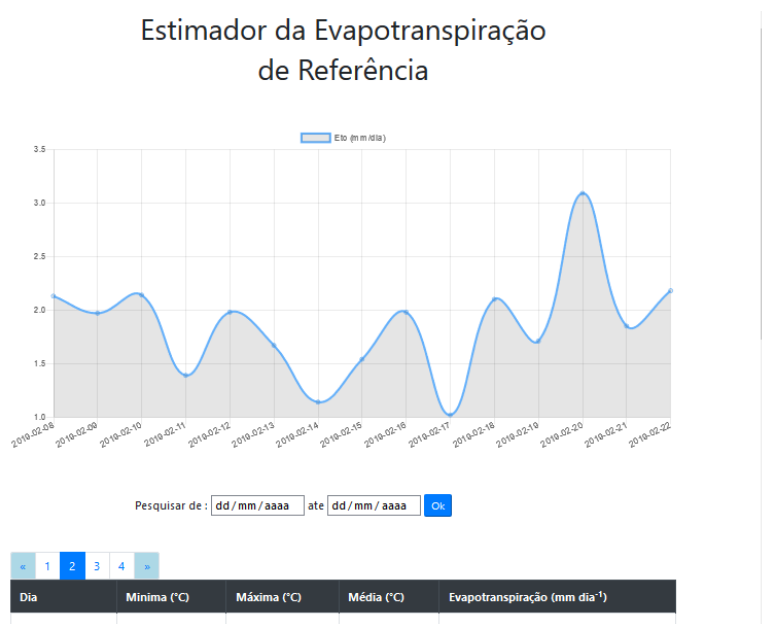


Figura 9: Exemplo de gráfico apresentado pela aplicação *web*

Na Figura 10, é possível observar que, entre os dados apresentados na tabela do sistema, duas linhas estão em destaque. Elas representam as datas em que a estimativa da evapotranspiração não foi concluída de forma correta, identificado pelo sistema *web* por meio do atributo “completa” de registro no banco de dados. Tal diferenciação da cor das linhas foi feita para facilitar a identificação do usuário das datas em que o sistema não atuou corretamente,

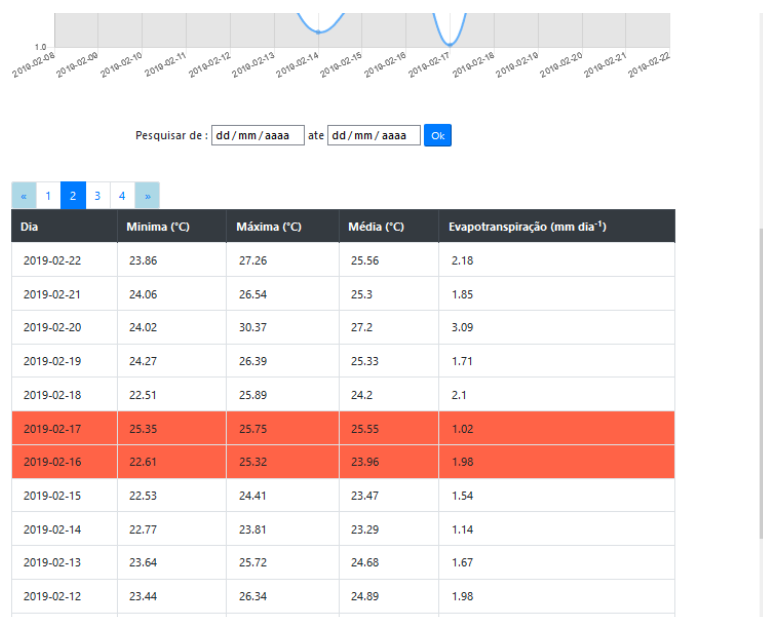


Figura 10: Exemplo de tabela apresentada pela aplicação *web*

favorecendo, assim, uma possível medida para identificar e prevenir problemas que podem causar tais falhas.

Uma das funcionalidades do sistema é a pesquisa dos resultados obtidos em um intervalo de datas, para tal, o sistema conta com um campo, mostrado na Figura 11, em que o usuário define as datas que deseja pesquisar e o sistema então apresenta os dados obtidos dentro do intervalo definido.

### 4.3 Análise dos Dados Obtidos

A aquisição dos dados pelo protótipo desenvolvido resultou em 70 dados registrados obtidos por meio do sensor DHT11, havendo 50400 leituras para definir as temperaturas mínima e máxima dos 35 dias em que o sistema foi colocado em campo, dados estes que foram utilizados para o cálculo da temperatura média e da evapotranspiração de referência estimada para cada dia, totalizando, assim, 140 dados registrados pelo sistema.

Como descrito anteriormente na metodologia, tomou-se a estação Bambuí-A565 como referência para fins de validação deste trabalho. Foram comparados os dados obtidos pelo sistema desenvolvido, juntamente com o cálculo da evapotranspiração a partir de tais dados.

Tendo em vista os gráficos temporais das Figuras 12,13,14 e 15, pode-se visualizar os dados obtidos no período de 19/06/2019 a 23/07/2019, pelo protótipo proposto e pela estação meteorológica do IFMG.

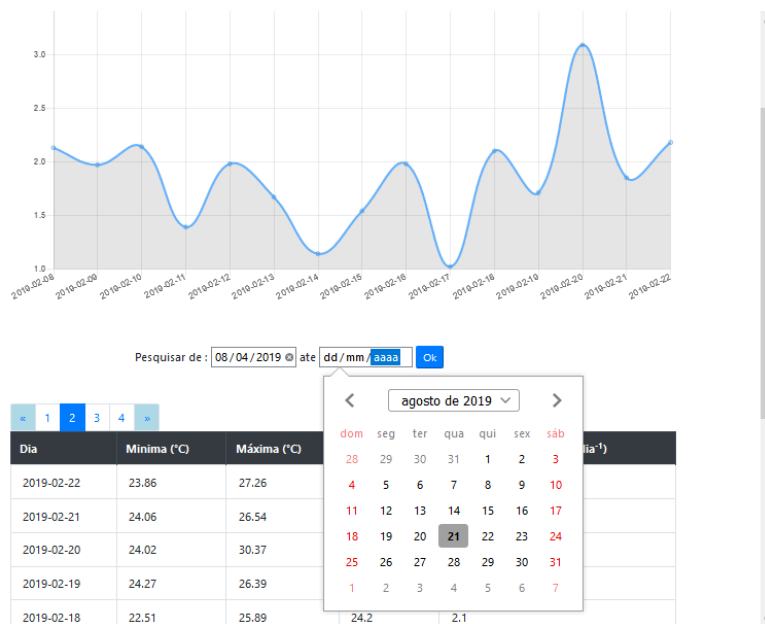


Figura 11: Pesquisa entre datas na aplicação *web*

Na Figura 12, é possível observar uma ligeira superestimação dos dados obtidos pelo sistema proposto em relação aos dados da estação automática, confirmadas pelas informações estatísticas com um *evm* calculado de 0,18. A dispersão dos dados calculada (*REQM*) foi de 0,585, com um índice de correlação de 0,973.

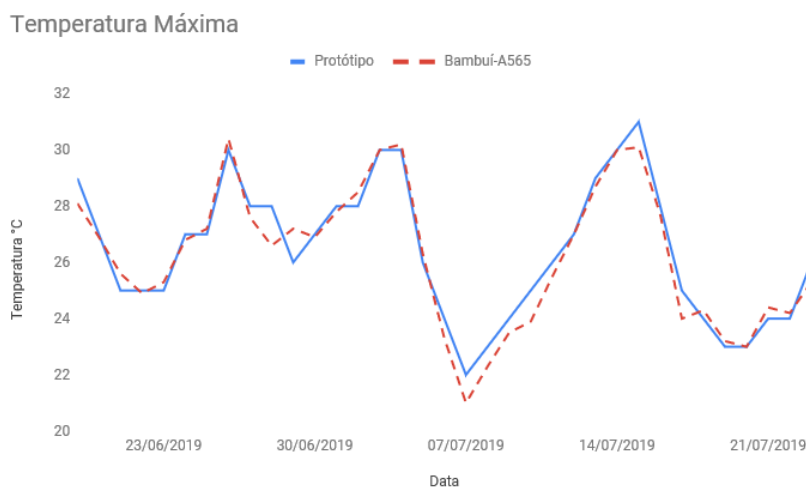


Figura 12: Gráfico de comparação dos dados de temperatura máxima

A Figura 13 apresenta o gráfico fazendo a comparação entre os dados de temperatura mínima do protótipo com da estação automática. O *evm* calculado para a temperatura mínima foi de -0,442, indicando uma pequena subestimação dos valores obtidos. Para o dado em

questão, o  $REQM$  calculado foi de 0,795, com um índice de correlação de 0,975.

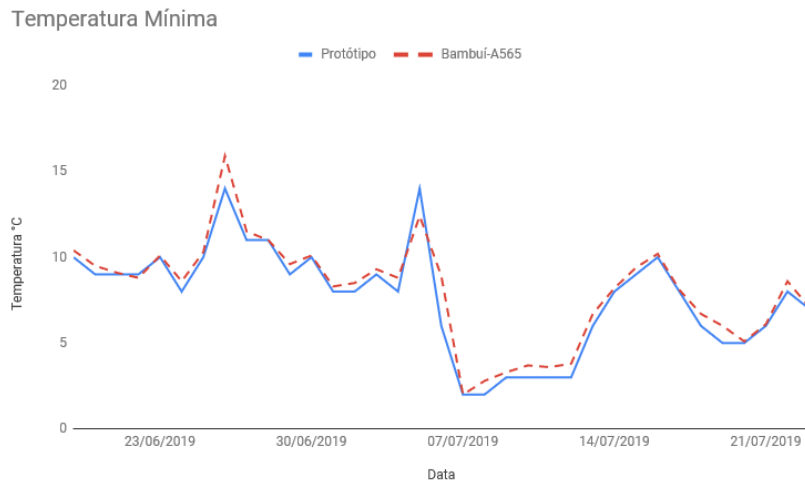


Figura 13: Gráfico de comparação dos dados de temperatura mínima

Na Figura 14, são apresentados os valores da temperatura média calculada utilizando os dados de temperatura máxima e mínima de cada dia. Nota-se que ambas séries apresentadas no gráfico mostram uma semelhança visual em seus formatos, com uma leve subestimação dos valores obtidos, que também pode ser constatado pelo  $evm$  calculado, que foi de -0,131. O  $RQEM$  calculado foi de 0,443. Considerando o  $REQM$  obtido juntamente com o gráfico, é possível observar uma tendência da diferença dos dados de temperatura média calculada ser menor do que das variáveis utilizados em seu cálculo. O índice de correlação foi de 0,984.

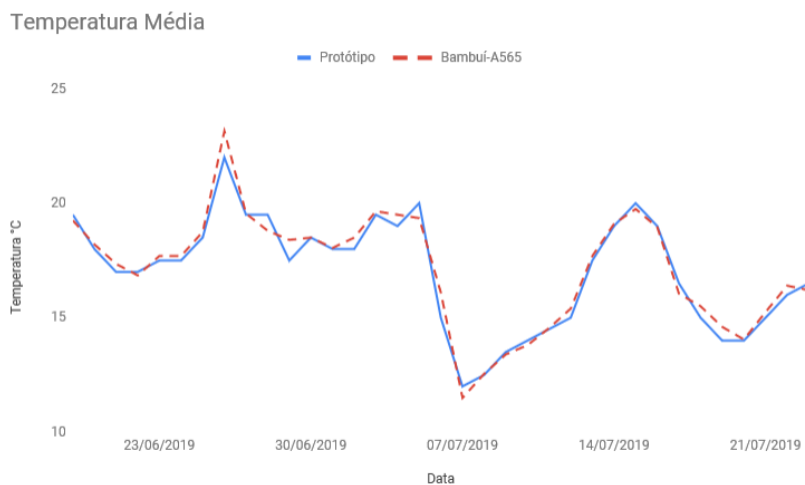


Figura 14: Gráfico de comparação dos dados de temperatura média

Vale ressaltar que o  $REQM$  calculado para a temperatura média para cada dia neste

trabalho foi similar ao da temperatura média no trabalho de Finholdt e Mantovani (2008), em que foi desenvolvida uma estação meteorológica padrão, que entre outros dados, fazia leituras de temperatura de minuto em minuto e registrava a média dessas temperaturas a cada hora. Finholdt e Mantovani (2008) realizou a comparação dos dados obtidos pelo seu dispositivo com os da estação considerada de referência por ele. Foi obtido um erro de 0,253 para a temperatura média, com *evm* de 0,184 e uma correlação de 0,987, dados que o autor considerou satisfatórios e que implica na utilização de seu equipamento na agricultura em geral.

Verifica-se pela Figura 15, que apresenta o gráfico da evapotranspiração de referência calculada, que os resultados obtidos utilizando os dados do protótipo se aproximam do resultado usando os dados da estação Bambuí-A565. Em que o *evm* calculado de 0,043 indica uma leve superestimação dos dados. O *REQM* calculado indica que foram obtidos resultados com valores próximos, apresentando um resultado de 0,099, uma vez que as evapotranspirações obtidas pelo protótipo variaram de 3,4 até 4,6, com uma média entre todos os dados de 3,95.

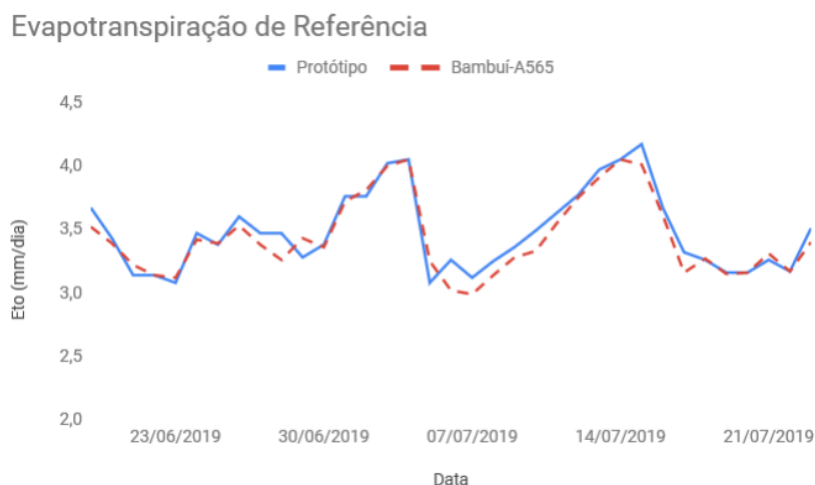


Figura 15: Gráfico de comparação dos dados de evapotranspiração de referência

Apesar da proximidade dos dados de evapotranspiração e do *REQM* baixo se comparado aos valores encontrados, a correlação entre a *Eto* calculada foi pouco menor do que as outras variáveis comparadas, com um índice de 0,956. As informações estatísticas obtidas da comparação entre os dados do protótipo desenvolvido e da estação Bambuí-A565 são apresentadas pela Tabela 1.

Assim, considerando-se as comparações estatísticas e tendo em vista que quando mais próximo de 1 mais forte é a correlação de duas variáveis e também a proximidade dos resultados obtidos nesta pesquisa com o trabalho de Finholdt e Mantovani (2008), que segundo o autor foram considerados satisfatórios, constata-se que o equipamento apresenta resultados com uma

Tabela 1: Dados estatísticos das comparações realizadas

	$T_{\max}$	$T_{\min}$	$T_{\text{méd}}o$	$E_{\text{to}}$
correlação	0,973	0,975	0,984	0,956
<i>REQM</i>	0,585	0,793	0,443	0,099
<i>evm</i>	0,180	-0,442	-0,131	0,043

boa correlação se comparados com os dados de uma estação meteorológica padrão.

## 5 Conclusões

Este estudo teve como objetivo desenvolver um protótipo de baixo custo capaz de coletar informações de temperatura do ambiente e, posteriormente, usar os dados para calcular a evapotranspiração de referência e apresentá-los para o usuário por meio de um sistema *web*.

Nesse sentido, o protótipo desenvolvido visa auxiliar a tomada de decisão no manejo de sistemas de irrigação, fornecendo informações que são úteis para um correto dimensionamento da água utilizada no processo, sendo este um dos recursos mais importantes do nosso planeta. Dessa maneira, somada a redução de gastos econômicos com água e energia utilizadas, o protótipo se apresenta como uma ferramenta alternativa para quem busca realizar o processo de irrigação de maneira sustentável.

A partir das análises estatísticas e se comparando os dados obtidos pelo sistema desenvolvido com os de uma estação meteorológica automática do INMET, é possível concluir que o protótipo apresentou resultados satisfatórios e que ele pode ser utilizado para agricultura, principalmente em culturas pequenas, em que a pequena falta de precisão se torna ainda mais irrelevante.

Vale ressaltar ainda que, com o desenvolvimento do sistema *web*, é permitido ao usuário verificar os dados registrados pelo sistema por meio de um navegador em um dispositivo conectado a rede, proporcionando a visualização dos dados em forma gráfica para melhor verificação do comportamento ao longo do tempo das variáveis relacionadas.

Conclui-se, portanto, que os objetivos propostos no desenvolvimento deste trabalho foram alcançados, uma vez que o sistema foi testado e validado em campo, apresentando resultados satisfatórios para que possa ser utilizado. Além disso, esse trabalho contribui para futuras pesquisas de monitoramento automático de variáveis climáticas, nas quais as medidas de interesse são utilizadas para realizar cálculos com um propósito específico, havendo necessidade de várias medições diárias para se ter dados significativos.

Como trabalhos futuros, pode-se avaliar a produção de uma plantação utilizando

dados fornecidos pelo sistema desenvolvido para dimensionamento da irrigação, incorporar ao protótipo desenvolvido um sistema de irrigação automático para determinada cultura, incrementar à aplicação *web* a possibilidade do usuário selecionar uma cultura específica e, posteriormente, apresentar também ao usuário a Etc calculada para essa cultura a partir dos dados obtidos.

Outros possíveis incrementos ao sistema poderia a funcionalidade de gerar relatórios dos dados obtidos, integrar ao protótipo desenvolvido uma fonte de alimentação fotovoltaica, para que ele possa ser instalado em um ambiente remoto. Além disso, implementar ao sistema uma verificação de segurança, para que não seja permitido que dados possam ser adicionados ao banco por outros atores senão o sistema embarcado utilizado, disponibilizar o acesso *online* ao servidor com a aplicação *web* desenvolvida, para que assim os dados possam ser visualizados em qualquer computador conectado na *internet*.

## Referências

ADEPOJU, T. M. et al. Development of a low-cost arduino-based weather station. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, v. 5, n. 2, 2020. 8

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-fao irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998. 10

AMORIM, T. A. et al. Remodelagem do software sacar-web usando técnicas de engenharia reversa e reengenharia de software. *Anais do CBIS*, v. 2006, 2006. 10

ARDUINO. *What is Arduino?* 2018. Acessado em: 03/06/2020. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. 9

AVELAR, E. et al. Arquitetura de comunicação para cidades inteligentes: Uma proposta heterogênea, extensível e de baixo custo. *Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife*, 2010. 9

BEZERRA, B. d.; SILVA, B. d.; FERREIRA, N. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais tm-landsat 5. *Revista brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 3, p. 305–317, 2008. 5

BORGES, A. d.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na bacia do rio jacupiranga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, SciELO Brasil, v. 11, n. 3, p. 293–300, 2007. 4, 5

CAMARGO, A. D.; CAMARGO, M. B. P. D. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, SciELO Brasil, v. 59, n. 2, p. 125–137, 2000. 4, 6

CAMARGO, A. d.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. *Revista brasileira de agrometeorologia*, p. 89–97, 1997. 6

CANTU, D. *Sistema web para monitoramento de sensores de temperatura e umidade*. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 7

CARVALHO, L. G. D. et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*, p. 10–5216, 2011. 5, 6

COSTA, P. N. d. S. Desenvolvimento de um sistema de hardware e software para aquisição, processamento e envio de dados meteorológicos baseado em arduino. Universidade Federal do Maranhão, 2019. 8

CRUZ, J. V. A. da; OLIVEIRA, B. A. S. Avaliação de uma rede neural artificial como modelo regressor para séries temporais. *CALIBRE-Revista Brasileira de Engenharia e Física Aplicada*, v. 6, n. 1, p. 33–45, 2021. 8

DILLY, R. O.; MENDES, L. F. C. Aplicação em tempo real de monitoramento de umidade e temperatura utilizando arduino. *Caderno de Estudos em Sistemas de Informação*, v. 2, n. 1, 2015. 8

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. *Guidelines for predicting crop water requirements*. [S.l.]: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 10

ELIAS, A. A. de A. et al. Ardweather: Uma estação meteorológica baseada no arduino e em web services restful. *Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress*, p. 44–48, 2014. 8

FINHOLDT, G.; MANTOVANI, E. C. *Desenvolvimento e avaliação de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação*. 2008. 7, 21

FRIENDS, A. *XAMPP*. 2018. Acessado em: 03/06/2020. Disponível em: <https://www.apachefriends.org/index.html>. 9

GOTMARE, V.; KOLTE, R.; THENGODKAR, R. Weather monitoring system using arduino uno. *International Engineering Journal For Research & Development*, v. 5, n. 5, p. 8–8, 2020. 8

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the irrigation and Drainage Division, ASCE*, v. 108, n. 3, p. 225–230, 1982. 1, 2, 4, 6, 7

HASAN, I. J. et al. An android smart application for an arduino based local meteorological data recording. In: IOP PUBLISHING. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. [S.l.], 2019. v. 518, n. 4, p. 042014. 8

HUSSEIN, K. et al. Low cost smart weather station using arduino and zigbee. *Telkomnika, Ahmad Dahlan University*, v. 18, n. 1, p. 282–288, 2020. 8

KAEEWONGSRI, K.; SILANON, K. Design and implement of a weather monitoring station using coap on nb-iot network. In: IEEE. *2020 17th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*. [S.l.], 2020. p. 230–233. 8

LIMA, J.; FERREIRA, R.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil: O estado das águas no Brasil. *Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica*, 1999. 3

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. d. C.; SILVA, H. da. *Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo*. [S.l.]: Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008., 2008. 3, 5, 6

MARQUES, J.; SALATI, E.; SANTOS, J. M. d. Cálculo da evapotranspiração real na bacia amazônica através do método aerológico. *Acta Amazonica*, SciELO Brasil, v. 10, n. 2, p. 357–361, 1980. 5

MEIRA, D. N. O.; ÁVILA, A. M. H. de. Avaliação de previsões de tempo do modelo eta para subsidiar pesquisas agrícolas no Brasil. *Campinas*, 2010. 7

MENDONÇA, J. C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (eto) na região norte fluminense, rj. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, SciELO Brasil, v. 7, n. 2, p. 275–279, 2003. 3

OLIVEIRA, B. et al. Análise de uso do sistema elétrico auxiliar de um aquecedor solar, localizado em um instituto público no centro-oeste de minas gerais. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782)*, v. 4, n. 6, 2020. 8

OLIVEIRA, B. A. S.; ASSIS, S.; NOLLI, C. Development of a prototype electrical energy monitoring system via internet/desenvolvimento de um protótipo de sistema de monitoramento de energia elétrica via internet. *Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis*, v. 12, n. 1, p. 48–61, 2019. 8

OLIVEIRA, B. A. S.; ASSIS, S.; SASAKI, R. Aplicativo android para avaliar a qualidade da pulverização em condições de campo. *Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada-UNG-Ser*, v. 2, n. 1, p. 15–23, 2019. 3

OLIVEIRA, B. A. S. et al. Automated monitoring of construction sites of electric power substations using deep learning. *IEEE Access*, v. 9, p. 19195–19207, 2021. 7

SANTOS, T. F.; FERREIRA, V. H. Building a low-cost weather station. *IEEE Potentials*, IEEE, v. 39, n. 5, p. 35–40, 2020. 8

SHAHIDIAN, S. et al. Utilização da equação de hargreaves samani para o cálculo da eto em estufas. In: *Congresso Ibérico de AgroIngenieria, 6º, 5-7 Setembro 2011*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–10. 6, 7, 10

SHARMA, A.; SHUKLA, S. Iot based weather monitoring system using arduino uno. Jaypee University of Information Technology; Solan; HP, 2019. 8

SILVA, C. E.; PANSANATO, L. T. E.; FABRI, J. A. Ensinando diagramas uml para estudantes cegos. *XVIII CIESC–XXXVI CLEI*, 2010. 13

TELES, V. M. *Extreme Programming: Aprenda como encantar seus usuários desenvolvendo software com agilidade e alta qualidade*. [S.l.]: Novatec Editora, 2017. 10

THORNTHWAITE, C. W.; WILM, H. Report of the committee on evapotranspiration and transpiration, 1943-1944. washington. *Transactions of the American Geophysical Union*, p. 686–693, 1944. 4

**Enviado em:** 27 dez. 2020

**Aceito em:** 30 jun. 2021

**Editores responsáveis:** Bianca Neves Machado / Mateus das Neves Gomes