

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA AUXÍLIO NA TOMADA DE DECISÃO PARA PEQUENOS AGRICULTORES: IRRIGAÇÃO

DEVELOPMENT OF AN APPLICATION TO ASSIST IN SMALL FARMERS DECISION MAKING: IRRIGATION

Lara Moccio Breim Solera¹
Damaris Barbosa Goncalves²
Flávia Noronha Dutra Ribeiro³
Laura Steinert⁴
Fabio Nakano⁵

Resumo: Pequenos produtores familiares são responsáveis por parte significativa da produção agrícola brasileira. Esses produtores podem ser beneficiados pela implantação de sensores meteorológicos e pela análise desses dados para apoiar decisões sobre o tratamento de seus cultivos. Uma variável importante para a qualidade dos produtos agrícolas é a quantidade de água disponível no solo durante o desenvolvimento dos cultivos. O presente trabalho desenvolveu e implantou um sistema de informação que utiliza sensores de baixo custo e plataformas gratuitas para geração e divulgação de dados meteorológicos. Os dados coletados são combinados com dados públicos de pluviosidade de uma estação na região e aplicados em um modelo de balanço hídrico. Este modelo apresenta indicadores de excedente e déficit hídrico que podem ser apresentados através de site na Internet, ou, de aplicativo para dispositivos móveis. Os resultados das variáveis medidas permitem um conhecimento mais aprofundado do microclima local. O produtor, tendo recebido a informação, pode usá-la como elemento para decisões sobre irrigação dos cultivos. Por isso, é importante a participação dos agricultores na produção da solução tecnológica. Verifica-se também a relevância do trabalho em equipes interdisciplinares para a criação de soluções tecnológicas que auxiliem o manejo sustentável do meio ambiente.

Palavras-chave: Agricultura familiar; Sensores meteorológicos; Sistemas de informação; Balanço hídrico; Sensores de baixo custo.

Abstract: In Brazil, small farmers are responsible for a significant amount of agricultural production. These farmers can benefit from deploying meteorological sensors and the analysis of these data to improve decisions regarding their crops. Soil moisture is a particularly important variable. Considering this, the present project developed and implemented an information system using low-cost sensors and free data repositories to generate and publicize information regarding meteorological data. The collected data are combined with public data on rainfall from a meteorological

¹ Aluna de graduação em Gestão Ambiental da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo - USP. Bolsista de Iniciação Científica. E-mail: lara.breim@usp.br.

² Aluna de graduação em Gestão Ambiental da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo - USP. Bolsista de Iniciação Científica. E-mail: damarisbg@usp.br.

³ Professora Doutora, no Curso de Gestão Ambiental da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo - USP. E-mail: flaviaribeiro@usp.br.

⁴ Aluna de graduação em Gestão Ambiental da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo - USP. E-mail: laurasteinert@usp.br.

⁵ Professor Doutor, no Curso de Sistemas de informação da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo - USP. E-mail: fabionakano@usp.br.

station in the region of the farms, generating soil water balance information which includes indicators of water surplus and deficit, that are shared through a website or an application for mobile devices. The results of the measured variables allow a deeper knowledge of the local microclimate. The farmer, once given the information, can use it as an element for decisions on crop irrigation. Therefore, the participation of farmers in the development of technological solutions is important. The relevance of an interdisciplinary team approach is evident in the creation of technological solutions that help sustainable environmental management.

Key words: Small farmer; Meteorological sensors; Information systems; Water balance; Low-cost sensors.

Data de submissão: 30.06.2021

Data de aprovação: 08.03.2022

Identificação e disponibilidade:

(<https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/2643>,
<http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v28i58.2643>).

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar abrange uma população heterogênea nos seus aspectos sociais, culturais e econômicos. Pode ser constituída por pequenos produtores rurais, assentamentos da reforma agrária, povos e comunidades tradicionais, aquicultores, extrativistas, pescadores que utilizam técnicas artesanais e silvicultores. Existe uma relação intrínseca entre o agricultor familiar e a terra, por ser seu local de trabalho e domicílio. A Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006 define os critérios para a identificação dessa população, considera como agricultor familiar aquele que pratica atividades no meio rural, a área do seu empreendimento possui até quatro módulos fiscais e a gestão e mão de obra são realizadas pela própria família (Brasil, 2006). A produção do empreendimento pode ser para subsistência e/ou comercialização no mercado interno, vinculando a renda familiar do agricultor ao empreendimento (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2017).

O IBGE elaborou o Censo Agropecuário em 2017, com objetivo de retratar a realidade do “Brasil Agrário”. Realizou uma investigação em mais de 5 milhões de propriedades distribuídas em todo o Brasil e, destas, 3,9 milhões foram classificadas como agricultura familiar seguindo os critérios estabelecidos legalmente, o que representa 77% do total de estabelecimentos agropecuários existentes. O valor bruto de produção até o dia 30 de setembro de 2017 era de R\$107 bilhões, o equivalente a 23% de toda a produção agropecuária. Durante o mesmo período, a agricultura familiar empregou 10,1 milhões de pessoas, evidenciando sua importância na economia brasileira. A produção oriunda da agricultura familiar abastece o mercado interno com uma diversidade de alimentos, como por exemplo, fruticulturas, hortaliças, suínos, aves, arroz, feijão, café, entre outros (IBGE, 2017).

A irrigação na agricultura é uma prática milenar, desenvolvida por civilizações de regiões secas para suprir a necessidade hídrica dos cultivos. Em outras regiões com características físico-climáticas favoráveis aos cultivos, o uso da irrigação desenvolveu-se nos períodos de escassez constante: este é o caso do Brasil. A irrigação brasileira teve início na década de 1900 para a produção de arroz no sul do país, porém essa prática se intensificou a partir da década de 1970. Os principais

benefícios observados nos cultivos são o aumento da produtividade e melhoria na qualidade dos produtos (Agência Nacional de Águas [ANA], 2017).

Primavesi (2016) evidencia que a irrigação precisa ser adequada para trazer benefícios, como o aumento da produtividade e melhor qualidade dos produtos, caso contrário resultará em uma diminuição da produtividade. Os solos superirrigados ou mal drenados não favorecem a produção agrícola, pois causam a falta de oxigênio para a respiração da planta, diminuindo o seu rendimento. Apenas a cultura de arroz inundado preza uma umidade do solo de 100%, sendo o nível ideal para cereais uma umidade de 60% e, para as demais culturas, 80% de umidade.

Considerando a atual e progressiva preocupação com a escassez dos recursos hídricos, a utilização deste recurso na agricultura é um tema crítico, mas também essencial nos empreendimentos de agricultura. A mensuração de variáveis meteorológicas pode contribuir positivamente para a tomada de decisão dos agricultores sobre as melhores opções de cultivos adaptáveis ao clima de sua região, assim como a quantificação de sua demanda hídrica. Tais fatores permitem a utilização racional dos recursos hídricos e o alcance de melhor rendimento do cultivo, evitando as perdas de produção, seja por superirrigação, seja por déficit hídrico (Souza et al. 2013).

A mensuração das variáveis meteorológicas pode ser realizada através de sensores de baixo custo, visto que os empreendimentos de agricultura familiar não dispõem de muitos recursos financeiros para investir em tecnologia. Recentemente alguns estudos vêm sendo desenvolvidos no sentido de construir alternativas de baixo custo para o monitoramento meteorológico por pequenos produtores. Moreira (2019) desenvolveu uma miniestação meteorológica com plataforma Arduino e transmissão sem fio dos dados para contribuir no uso eficiente dos recursos hídricos na agricultura. Sabo (2011) desenvolveu uma estação agrometeorológica para monitoramento da cultura vitícola e para classificação da uva segundo o sistema de Classificação Climática Multicritérios Geovitícola, incluindo sensores de temperatura do ar, umidade, pluviosidade, luminosidade e velocidade e direção do vento. Pezente (2019) construiu um sistema de monitoramento para o cultivo de hortaliças, com um aplicativo que permite ao agricultor decidir o melhor momento para irrigar e ligar e desligar os equipamentos de irrigação. O sistema utiliza sensores de temperatura e umidade do ar, temperatura e umidade do solo e radiação. Esses trabalhos mostram que já está disponível a tecnologia de baixo custo para utilização em situações relacionadas à agricultura. No entanto, esses trabalhos utilizam uma série de sensores, incluindo sensores de solo e de pluviosidade, e não incorporam indicadores resultantes de modelagem no sistema de informação destinado ao apoio na tomada de decisão pelos pequenos agricultores.

Tais sistemas de monitoramento, apoio à tomada de decisão e cálculo de indicadores são especializações de sistemas de informação. Estes são, conforme definição apresentada por Laudon e Laudon (2010), “um conjunto de componentes inter-relacionados que coletam (ou recuperam), processam, armazenam e distribuem informações destinadas a apoiar a tomada de decisão, a coordenação e o controle em uma organização”. Cada componente de um sistema de informação tem custos associados. No que concerne à construção e operação regular deste sistema específico, identificou-se que o custo dominante é o de infraestrutura de computação e comunicação. Buscou-se minimizar este custo através do uso de dispositivos de baixo custo e serviços gratuitos, aproveitando a infraestrutura já existente.

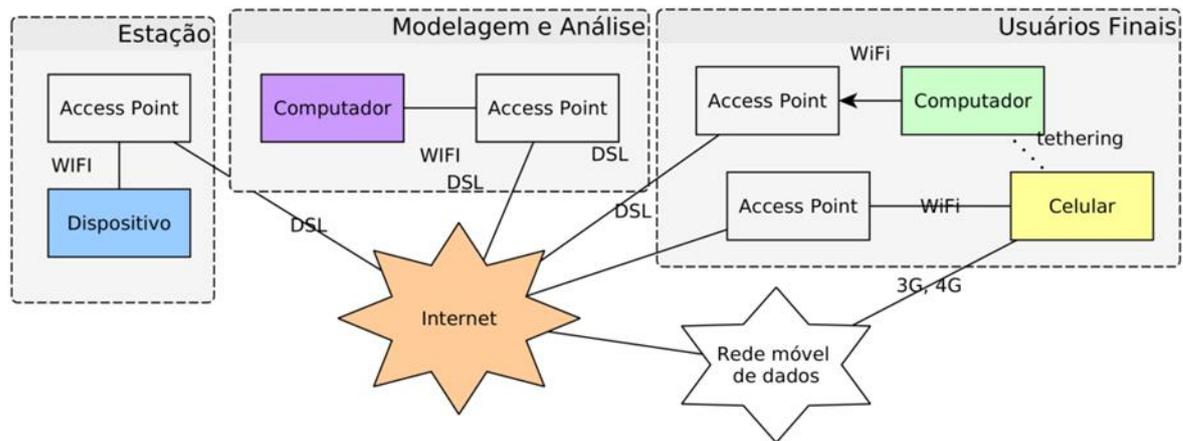
A infraestrutura existente típica permite que dispositivos locais como sensores, computadores e telefones celulares sejam conectados por WiFi a pontos de acesso.

Estes são conectados à Internet através de linhas digitais por assinatura (DSL). Alternativamente, dados podem trafegar pela conexão de dados da rede de telefonia celular. Computadores podem receber esses dados através de WiFi *tethering*. A arquitetura típica é mostrada na figura 1.

O presente trabalho pretende apresentar o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para monitoramento de variáveis meteorológicas e de cálculo do balanço hídrico. A visualização mais completa da informação é feita através de aplicativo para Android. O público-alvo é uma cooperativa de pequenos agricultores.

A partir da necessidade de informação desses agricultores para a tomada de decisão sobre a irrigação de seus cultivos, o sistema construído, consiste no dispositivo sensor, repositório de dados, modelagem dos dados, cálculo dos indicadores e apresentação no aplicativo.

Figura 1 - Arquitetura típica da infraestrutura de computação e comunicação.



Fonte: Os autores.

2 METODOLOGIA

Foram abordados neste trabalho três aspectos: social/humano, científico/tecnológico e científico/ambiental. No aspecto social/humano, destaca-se o método como chegou-se ao grupo de agricultores que têm interesse em colaborar, abordado na subseção 2.1. No aspecto científico/tecnológico de computação e comunicação, o método de construção do dispositivo e a arquitetura de computação e comunicação utilizados, tanto para transmitir os dados quanto para publicar os resultados, são abordados nas subseções 2.2 e 2.3. No aspecto científico/ambiental, o método de escolha do modelo e sua aplicação são descritos na subseção 2.4.

2.1 LOCAL DE ESTUDO E CONVERSA PRELIMINAR SOBRE AS NECESSIDADES DOS AGRICULTORES

A escolha da Cooperativa dos Produtores Rurais de Jundiapéba e Região (COOPROJUR) para realizar o estudo se deu, em primeiro lugar, por contato com o professor Diamantino Pereira, orientador de uma dissertação de mestrado que estudou as práticas dos agricultores da cooperativa (Antonacci, 2018). A localização da cooperativa (Fig. 2), em Mogi das Cruzes, também foi levada em consideração, por pertencer à Região Metropolitana de São Paulo, ficando a leste da capital. Dessa forma, em novembro de 2020 realizamos uma conversa com diversos cooperados,

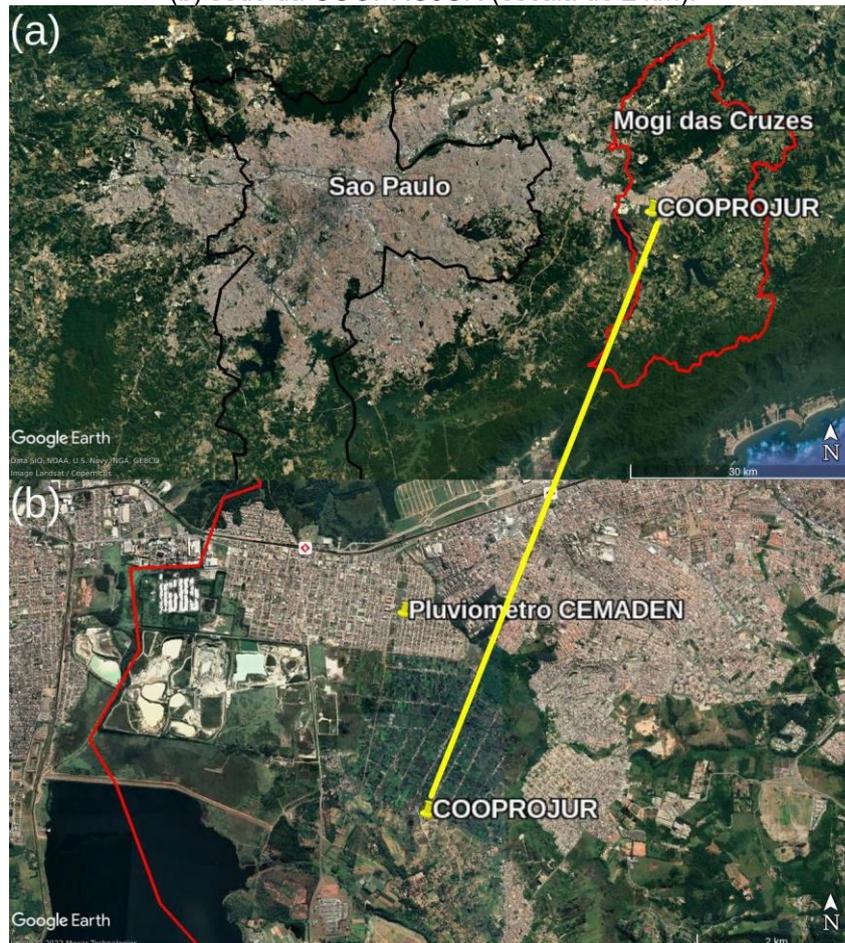
incluindo seu presidente à época, o Sr. Ivo.

Os agricultores fazem parte de um assentamento rural, regularizado pelo INCRA em 26 de dezembro de 2013, em uma área de aproximadamente 800 hectares. São 314 famílias assentadas na área que atendem aos critérios legais de agricultura familiar, onde se destacam pela alta produtividade e o abastecimento do mercado interno de distritos próximos. Em novembro de 2020, a COOPROJUR contava com 30 famílias associadas, produzindo principalmente verduras, hortaliças e legumes.

Durante a conversa, apresentamos o projeto e perguntamos principalmente quais informações meteorológicas seriam interessantes para auxiliar as decisões relacionadas à produção. Os agricultores cooperados demonstraram interesse no projeto e nos relataram em que pontos as condições meteorológicas costumam impactar sua produção. Esses comentários auxiliaram na definição dos modelos de tratamento de dados escolhidos para o projeto.

A figura 2 mostra o município de Mogi das Cruzes (figura 2a) e a localização da COOPROJUR. Utilizamos dados de precipitação do pluviômetro do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), localizado em Jundiapéba (figura 2b), a 2,8 km de distância da cooperativa.

Figura 2 - (a) Região Metropolitana de São Paulo e localização da COOPROJUR (escala de 30 km) e (b) sede da COOPROJUR (escala de 2 km).



Fonte: Google Earth.

2.2 CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO SENSOR

A lista de materiais utilizados para construção do dispositivo sensor é apresentada no quadro 1. Também são apresentados preços aproximados dos componentes e links para visualizar o componente e balizar os preços. A programação do dispositivo é apresentada em detalhes em Nakano (2021). Não houve gastos com aquisição de programas nem outros serviços.

Quadro 1 - Lista de Materiais.

Componente	Preço (R\$)	Exemplo
Placa controladora ESP8266	30	https://www.wjcomponentes.com.br/lollin
Sensor BME280	35	https://www.curtocircuito.com.br/catalog/product/view/id/1230/s/sensor-de-pressao-temperatura-umidade-bme280/
Carregador para telefone celular	15	https://www.americanas.com.br/produto/1667757298?opn=YSMESP&sellerid=34053485000101
Parafusos, porcas, abraçadeiras ...	6,28	São materiais usados para fixar e proteger o sensor. Podem variar grandemente. O preço apresentado é uma estimativa baseada no que foi usado na ocasião.
TOTAL	86,28	

Fonte: Os autores.

O dispositivo sensor é composto por uma placa controladora baseada em ESP8266-12 (NodeMCU) que se conecta à internet através de WiFi e controla os sensores propriamente ditos. Um sensor é o BME280 (Bosch, 2015) que mede temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica. Um sumário das características técnicas é apresentado na Tabela 2. Outro sensor é um resistor dependente de luz, ou LDR, que indica intensidade de luz com faixa de variação de 0 a 1023. O dispositivo necessita de fornecimento de energia. Isto é feito através de uma fonte de alimentação para telefone celular. Os dados brutos são enviados para o repositório de dados através de WiFi.

Quadro 2 - Sumário de características técnicas do sensor BME280.

	Faixa de operação	Acurácia	Condições para medida da acurácia
Temperatura (°C)	-40 a +85	±1.0	temperatura no intervalo 0 a 65
Umidade Relativa (%)	0 a 100	±3	umidade relativa no intervalo 20 a 80
Pressão Atmosférica (hPa)	300 a 1100	±1.0	nas condições acima

Fonte: BOSCH, 2015.

A programação da placa controladora é feita com uso do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino (Arduino, 2021) com biblioteca para a placa controladora (ESP8266, 2021).

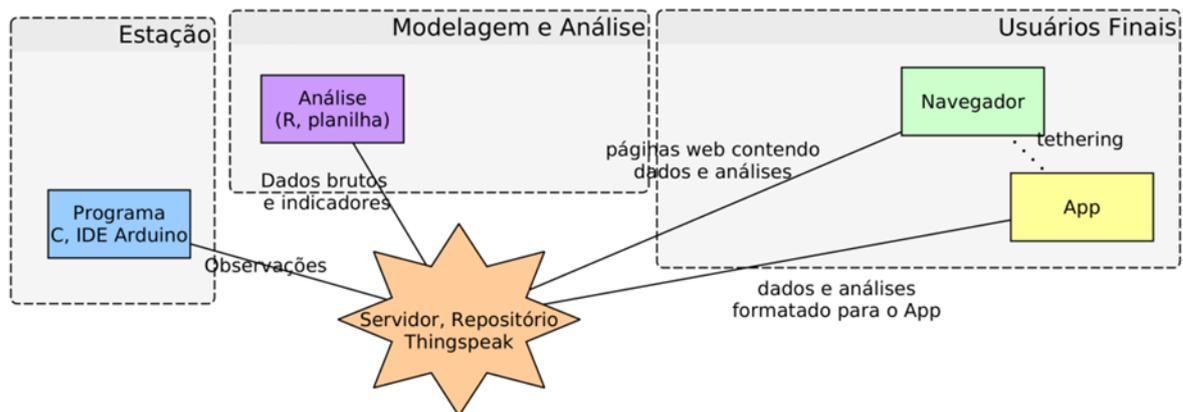
O repositório de dados escolhido é Thingspeak (Thingspeak, 2021), por permitir registro de observações a cada 30 segundos, disponibilizar a biblioteca de acesso com exemplos de uso na IDE do Arduino, apresentar os dados em formato de gráfico

e permitir a exportação dos dados em arquivos de texto separado por vírgulas, ou arquivos em formato texto CSV, apresentado por Shafranovich (2005). Os arquivos assim exportados podem ser visualizados com uma planilha ou usados em cálculos no ambiente de programação para estatística computacional R (R Core Team, 2020).

2.3 FERRAMENTAS DE PROGRAMAÇÃO, ANÁLISE E APRESENTAÇÃO

Em cada elemento são executados programas, dos quais os mais relevantes são o programa, escrito na linguagem C e compilado na IDE do Arduino, que envia os dados observados para o repositório criado no site Thingspeak. Os programas usados para análise dos dados e aplicação dos modelos são R e editores de planilhas. Tanto os dados brutos quanto os resultados da aplicação dos modelos podem ser visualizados no navegador Web ou em aplicativo criado no App Inventor (AppInventor, 2021). Os programas, agrupados conforme a arquitetura, são apresentados na figura 3.

Figura 3 - Programas colocados de acordo com a arquitetura típica.



Fonte: Os autores.

2.4 CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é um cálculo utilizado para definir a disponibilidade de água em um volume de solo em determinado período. Proposto por Thornthwaite e Mather (1957), o método é ainda bastante utilizado por prescindir de medições diretas de variáveis do solo para calcular a disponibilidade hídrica da região. O balanço hídrico considera as entradas e saídas de água do solo para determinar o armazenamento de água no solo (ARM) e estabelecer se houve excedente (EXC) ou déficit (DEF) hídrico.

A entrada de água no solo vem de precipitação, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral e ascensão capilar. No entanto, a ascensão capilar e o orvalho podem ser negligenciados e o escoamento superficial e a drenagem lateral de entrada são geralmente compensados pelo escoamento e drenagem de saída, sobrando apenas precipitação como principal entrada de água no solo. A irrigação pode ser considerada, mas nesse projeto não temos a medida da irrigação. A saída de água, além do escoamento e da drenagem que já foram compensados, engloba a drenagem profunda e a evapotranspiração (Pereira, 2005).

O método de Thornthwaite e Mather (1957) utiliza a precipitação (P), a

evapotranspiração potencial (ETP) e a capacidade de água disponível (CAD) para calcular o ARM. No presente trabalho, P é a precipitação acumulada diária e ETP é a evapotranspiração potencial diária, pois o cálculo do balanço hídrico é realizado para cada dia. A CAD depende de características do solo (Centurion & Andreoli, 2000), mas normalmente é utilizado um valor constante: para nosso estudo, o valor utilizado é 100 mm, seguindo o valor utilizado pelo Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no cálculo do balanço hídrico normal (Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária [SISDAGRO], 2021).

O primeiro passo do método é calcular a diferença entre P (entrada) e ETP (saída). Os dados de precipitação são obtidos diariamente da plataforma do CEMADEN, que possui dados de pluviômetros automáticos instalados em todo o país (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais [CEMADEN], 2021). Esses dados estão disponíveis para serem baixados em arquivos de texto em formato CSV e incluem precipitação acumulada a cada 10 minutos. A seguir, é preciso calcular a ETP. Há diversas formas de calcular a ETP e Bormann (2011) comparou 18 métodos diferentes, que classificou em quatro tipos de métodos baseados em: temperatura; velocidade do vento; radiação solar; e na combinação dessas variáveis, como, por exemplo, o método de Penman-Monteith (Monteith 1965, apud Bormann, 2011). Devido à sua simplicidade e utilização de variáveis de fácil mensuração, que são a temperatura do ar (T) e a umidade relativa (UR), o método escolhido no presente trabalho foi o de Schendel (1967, apud Bormann, 2011):

$$ETP = \frac{16.T}{UR} \quad (1)$$

Dessa forma, as únicas variáveis de entrada que devem ser medidas para aplicação do método proposto são: P, obtida do pluviômetro do CEMADEN; T e UR, obtidas do sensor BME280. O cálculo também precisa do valor do ARM do dia anterior, que para o primeiro dia da série considerou-se igual ao CAD (100 mm). Se P – ETP é negativo, o ARM tem queda, dada por:

$$ARM_n = ARM_{n-1} \cdot e^{\frac{(P-ETP)}{CAD}} \quad (2)$$

Onde o índice n indica o dia para o qual é feito o cálculo e o índice n-1 indica o dia anterior.

A seguir, calcula-se a evapotranspiração real (ETR) conforme (3) e o DEF conforme (4):

$$ETR = P + ARM_n - ARM_{n-1} \quad (3)$$

$$DEF = ETR - ETP \quad (4)$$

Quando P – ETP é positivo, a umidade do solo se recupera e pode chegar a produzir excedente hídrico. Nesse caso, ARM é calculado em (5):

$$ARM_n = ARM_{n-1} + P - ETP \quad (5)$$

Se ARM tem valor menor ou igual a CAD, não há excedente (EXC=0). Se ARM é maior que CAD, então o solo chegou à sua capacidade máxima de reter água e temos excedente hídrico. Nesse caso, define-se ARM = CAD, e EXC é calculado conforme (6):

$$EXC = P - ETP - ARM_n + ARM_{n-1} \quad (6)$$

Uma vez calculados o ARM, o EXC e o DEF, seus valores são acrescentados a um arquivo contendo temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, ETP e precipitação. Esse arquivo é carregado no repositório do site ThingSpeak e pode ser acessado para apresentação dos dados e indicadores através de página web ou através de aplicativo para telefone celular.

3 RESULTADOS

São resultados deste trabalho a construção e implantação do dispositivo sensor, a configuração da infraestrutura de comunicação e armazenamento de dados, a aplicação do modelo e a publicização, aos cooperados, dos resultados. Cada resultado é detalhado em seguida.

3.1 CONSTRUÇÃO E IMPLANTAÇÃO DO DISPOSITIVO SENSOR

O dispositivo sensor construído e instalado é apresentado na figura 4. A vista superior é apresentada no quadro (a), a placa contendo o microcontrolador e o sensor de luz está no centro. O conjunto é coberto com uma capa transparente. Orifícios foram feitos nas laterais e na tampa inferior de maneira a permitir a circulação de ar e impedir a entrada de água de chuva. A vista por baixo é apresentada no quadro (b). Os fios coloridos conectam eletricamente o microcontrolador ao sensor. Usou-se uma placa de isopor para evitar que a luz solar incidisse diretamente sobre o sensor. O dispositivo foi instalado no gradil de uma janela, como mostrado no quadro (c).

Figura 4 - Dispositivo sensor.



Fonte: Os autores.

A cada 30 segundos, aproximadamente, uma observação é enviada para o repositório. Esta contém tempo do relógio interno do dispositivo, em milissegundos (não mostrado), um indicador de intensidade de luz, temperatura do ar em graus Celsius, umidade relativa do ar e pressão atmosférica em kPa. Um exemplo de apresentação em desktop com o navegador web apresentando o repositório no site Thingspeak pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Captura de janelas do navegador apresentando exemplos de gráficos.



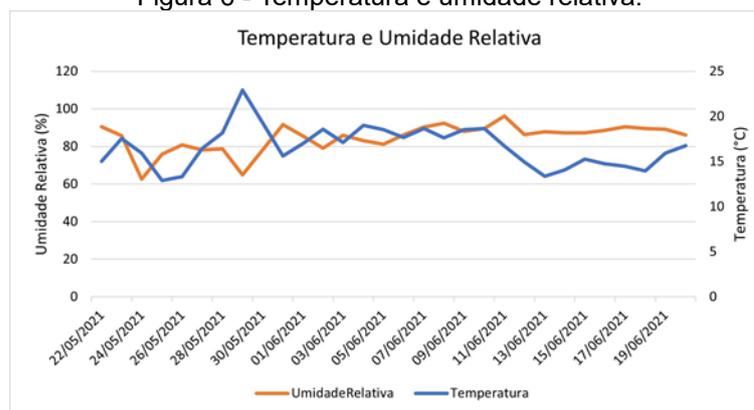
Fonte: Os autores.

3.2 CONSTRUÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO

A partir dos dados coletados pela estação meteorológica instalada no assentamento em Jundiapéba e dos dados de precipitação que foram baixados da plataforma do CEMADEN, a precipitação acumulada diária foi calculada, bem como o ARM e o EXC ou o DEF, seguindo as Equações de 2 a 6. Esses cálculos foram automatizados no R que também permitiu que os dados fossem organizados da melhor forma possível visando uma fácil análise dos mesmos. Em seguida, os resultados obtidos no R foram utilizados para a elaboração das figuras 6, 7 e 8 que possibilitam a observação de algumas relações entre os valores obtidos. As Figuras apresentam a média ou o acumulado diário de seus respectivos dados no período de 30 dias (de 22 de maio a 20 de junho de 2021).

A figura 6 apresenta a variação da temperatura e da umidade relativa do ar, sendo possível observar a partir dele como a temperatura exerce influência no comportamento da umidade, apresentando um comportamento oposto: quando a temperatura sobe a umidade baixa e vice-versa. Segundo Péres (2008) a umidade relativa sempre se relaciona com a temperatura. Verifica-se no gráfico que a temperatura média diária se manteve em torno de 16 ° C, iniciando a série com dias relativamente mais frios, mantendo temperaturas relativamente maiores de 28 de maio a 11 de junho e apresentando dias mais frios até o fim da série. Nota-se um pico de temperatura no dia 29 de maio, acompanhado por umidade relativa mais baixa. Na maior parte da série a umidade relativa média diária foi superior a 80 %. Isso se deve às baixas temperaturas noturnas (não apresentadas aqui), que favoreceram a saturação do ar (umidade relativa de 100%) durante a maior parte da noite. É importante ressaltar que não houve medidas no dia 30 de maio pois o sensor foi desligado acidentalmente.

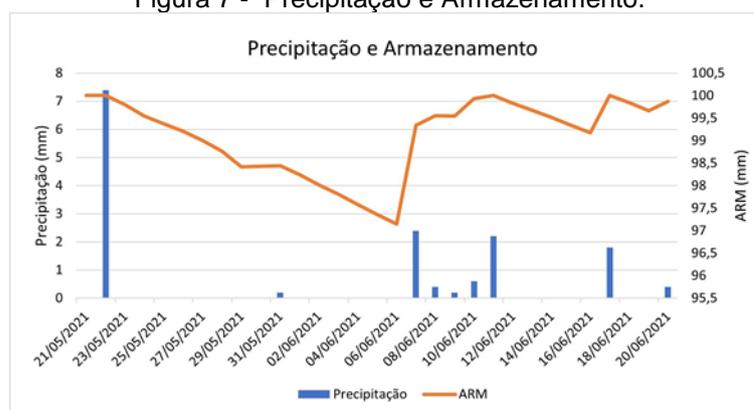
Figura 6 - Temperatura e umidade relativa.



Fonte: Os autores.

Com os dados medidos de temperatura e umidade relativa, calculou-se a ETP (Eq. 1). É importante ressaltar que para o início da série o armazenamento foi considerado máximo (100 mm). Avalia-se que, com a precipitação do dia 22 de maio, a maior da série, os cálculos realizados para o restante do período não foram impactados significativamente por essa consideração. O armazenamento se refere à capacidade de armazenar água no interior de um volume de solo (Thornthwaite & Mather, 1957). Como se pode observar na figura 7, o armazenamento é diretamente influenciado pela precipitação e pela evapotranspiração, já que seu cálculo se baseia nesses valores (Eq. 5). A figura 8 e a figura 9 mostram que o armazenamento de água no solo influencia os valores do excedente hídrico e do déficit hídrico. Quando o armazenamento atingiu o valor de 100 mm, houve um aumento no excedente, indicando que a precipitação foi suficiente para repor a umidade do solo e ainda produzir escoamento. Quando a precipitação do dia não é suficiente para repor a evapotranspiração diária, há déficit hídrico. Portanto, o excedente hídrico ocorre quando os valores da evapotranspiração são inferiores aos valores de precipitação (Moura, 2020) e o contrário acontece com o déficit hídrico (figura. 9).

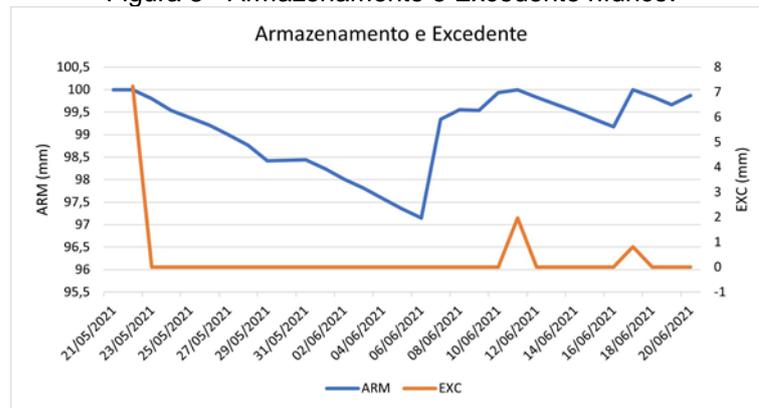
Figura 7 - Precipitação e Armazenamento.



Fonte: Os autores.

O padrão da figura 7 mostra que a precipitação do dia 7 de junho somente não foi suficiente para repor o armazenamento de umidade do solo, que alcançou seu máximo apenas dia 11, acumulando a precipitação dos 4 dias anteriores. Já no dia 17 de junho, a precipitação foi suficiente para repor o que havia sido perdido por evapotranspiração nos 4 dias anteriores.

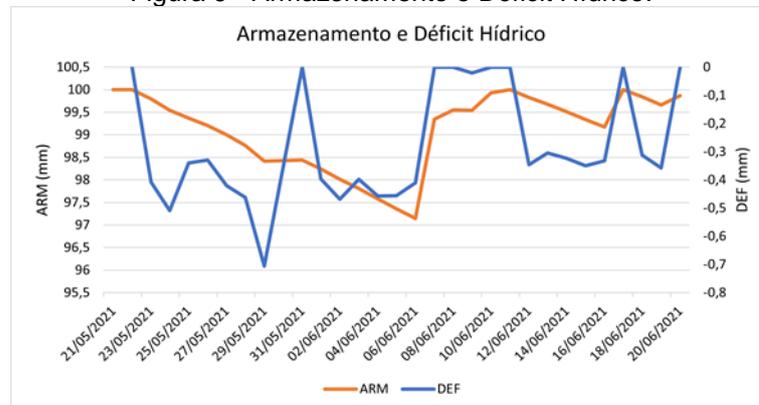
Figura 8 - Armazenamento e Excedente hídrico.



Fonte: Os autores.

A figura 8 apresenta os valores de excedente e percebe-se que apenas em 3 ocasiões houve precipitação que excedeu o máximo armazenamento do solo: nos dias 23 de maio, 11 de junho e 17 de junho. Já a figura 9 mostra o padrão para o déficit. Como a precipitação foi baixa, o déficit é diferente de 0 na maior parte do período. O dia 9 de junho é um caso interessante, pois apresenta déficit hídrico apesar de ter tido precipitação. Esse resultado indica que a precipitação desse dia não foi suficiente para repor a evapotranspiração potencial, gerando o déficit. Outra observação é que o déficit é um valor diário, enquanto o armazenamento leva em conta a evolução temporal do balanço hídrico.

Figura 9 - Armazenamento e Déficit Hídrico.

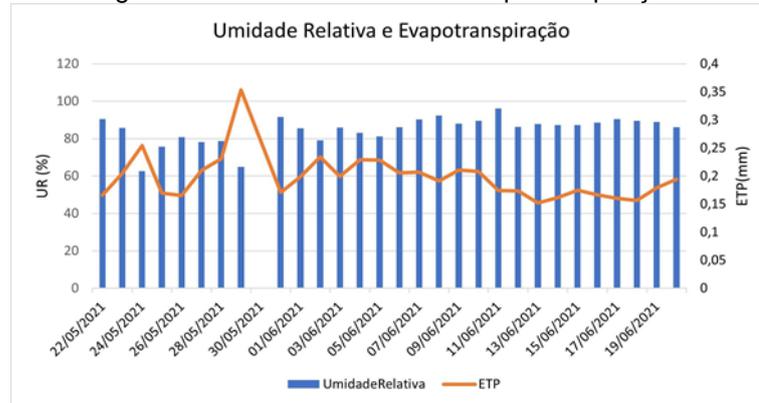


Fonte: Os autores.

A figura 10 evidencia a relação existente entre a umidade relativa e a evapotranspiração potencial no período. A evapotranspiração potencial abrange toda a água evaporada e transpirada que é transferida para a atmosfera (Moura, 2020). Por se tratar de um reservatório, o solo dificulta a saída de água em períodos de secas, já que, nesse período há uma quantidade menor de água disponível para o reabastecer. Dessa forma, quando há queda na precipitação a evapotranspiração das plantas diminui (Pereira, 2005). O período analisado aqui é muito curto para se observar esse efeito. Além da influência da precipitação, a evapotranspiração é dependente da umidade relativa, assim como se pode observar na figura 10. À medida que a umidade relativa do ar diminui, a ETP aumenta e o mesmo ocorre em situação oposta. Como a umidade relativa média diária foi alta, cerca de 80 %, a evapotranspiração diária teve valores relativamente baixos (menos que 0,5 mm). Já que a umidade relativa é dependente da temperatura, a evapotranspiração é também

influenciada pela temperatura.

Figura 10 - Umidade relativa e evapotranspiração.

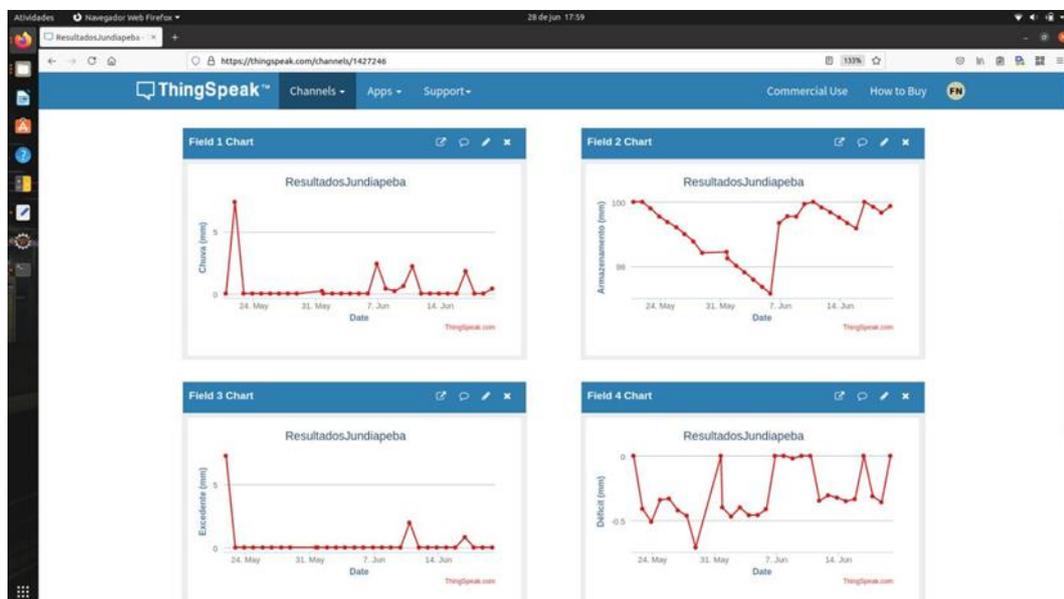


Fonte: Os autores.

3.3 PUBLICIZAÇÃO DOS DADOS E DOS RESULTADOS

Após aplicação do modelo sobre os dados, os indicadores mais importantes para tomada de decisão são Armazenamento, Excedente e Déficit. Este três, juntamente com a pluviosidade são importados em um canal do Thingspeak e podem ser acessados através da URL: <https://thingspeak.com/channels/1427246>. Um exemplo é apresentado na figura 11.

Figura 11 - Página contendo resultados da aplicação do modelo.



Fonte: Os autores.

O aplicativo apresenta gráficos de todos os dados medidos pelo dispositivo sensor, acrescidos de pluviosidade, armazenamento, excedente e déficit. A tela inicial é apresentada no quadro (a) da figura 12. Dados e resultados são visualizados clicando no respectivo botão. A temperatura é apresentada como exemplo de dado gerado pelo dispositivo sensor e apresentado no quadro (b), o armazenamento é apresentado como exemplo de resultado da aplicação do modelo e apresentado no

quadro (c).

Figura 12 - Amostras de telas do aplicativo.



(a) tela inicial



(b) apresentação da temperatura medida



(c) apresentação do armazenamento calculado

Fonte: Os autores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de monitoramento meteorológico e cálculo do balanço hídrico de baixo custo para ser utilizado por pequenos agricultores na tomada de decisão em relação à irrigação e às condições de sua produção. As escolhas de dispositivos e de sistemas de armazenamento e tratamento de dados foram realizadas levando em conta a simplicidade e o baixo custo do sistema final.

O sistema foi desenvolvido com sucesso, apresentando funcionamento adequado. Esse sistema é simples, mas oferece uma base para a implantação de outras funcionalidades. O baixo custo do sistema, aproximadamente R\$ 80,00, viabiliza a utilização do dispositivo por uma cooperativa de pequenos agricultores, que tem pouco capital para investimento em tecnologias mais sofisticadas. Este mesmo sistema pode ser implantado em outras cooperativas ou até mesmo por agricultores individuais.

Os resultados das variáveis medidas permitem um conhecimento mais aprofundado do microclima local. Embora o período de medição ainda seja pequeno (30 dias), aconteceu num período de estiagem, quando a necessidade de irrigação é maior. Além disso, o outono de 2021 foi menos frio e mais seco que a média climatológica (Instituto Nacional de Meteorologia [INMET], 2021). Com um período de medição maior, os agricultores terão ainda mais informação para basear suas decisões sobre o cultivo, comparando suas observações com os dados gerados. O sistema permite ainda que outras análises sejam feitas e implementadas no futuro, como um acompanhamento de longo prazo das variáveis, com médias mensais e anuais. Além disso, a disponibilidade desses dados na rede pode ajudar a outros estudos meteorológicos, ampliando a cobertura espacial dos dados meteorológicos.

O desenvolvimento de um sistema como esse só é possível se for considerada uma equipe interdisciplinar, que seja capaz de propor, por um lado, o tratamento e a interpretação adequados dos dados, e por outro lado, o desempenho técnico. No desenvolvimento desse trabalho, alunas de graduação do curso de Gestão Ambiental, orientadas por uma professora do mesmo curso e por um professor do curso de Sistemas de Informação, se interessaram por propor uma solução para um problema real, considerando temas que estão presentes na agenda internacional de discussão científica: agricultura familiar, segurança alimentar, recursos hídricos, ciência cidadã, inclusão digital e internet das coisas. A oportunidade de utilizar conhecimentos de áreas diferentes e produzir uma solução técnica é um aprendizado de extrema importância para os futuros gestores ambientais.

Outro ponto importante é a consideração das necessidades dos pequenos agricultores, ou seja, que o projeto leve em conta suas opiniões e visões sobre o problema e sobre o desenho da solução proposta. Dessa forma, os agricultores se tornam parte do processo, apropriando-se da solução e tornando-a mais efetiva.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas. (2017). *Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada*.
<https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacaoUsodaAguanaAgricaturalIrigada.pdf>.
- Antonacci, E. A. B. (2018). *O Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS) do INCRA em Jundiapéba: regularização fundiária e reforma agrária*. Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo.
- AppInventor (2021). *MIT App Inventor*. <https://appinventor.mit.edu/>.
- Arduino (2021). *Arduino.cc, 2021*. <https://www.arduino.cc/>.
- Bormann, H. (2011). Sensitivity analysis of 18 different potential evapotranspiration models to observed climatic change at German climate stations. *Climatic Change*, 104(3), 729-753. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9869-7>.
- Bosch (2015). BME280 - Combined humidity and pressure sensor - Final data sheet.. <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/#documents>.
- Brasil. (2006). *LEI nº 11.326 DE 24 DE JULHO DE 2006*. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. DOU.
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm.
- Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. (2021). *Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do CEMADEN*. <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>

- Centurion, J. F. & Andrioli, I. (2000). Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 24(4), p. 701-709. <http://hdl.handle.net/11449/114556>.
- ESP8266. (2021). *ESP8266 Comunity Forum*. <https://www.esp8266.com/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo agropecuário: resultados definitivos 2017*.
- Instituto Nacional de Meteorologia. (2021) *Boletim Climatológico São Paulo: Balanço do Outono e Prognóstico para o Inverno 2021*.
- Laudon, K., & Laudon, J. (2010). *Sistemas de Informação Gerenciais* (9.ed). Pearson Prentice-Hall.
- Monteith JL (1965) Evaporation and environment. In: GT Fogy (ed) *The state and movement of water in living organism* (pp. 205–234.). Cambridge.
- Moreira, E. E. M. (2019). *Desenvolvimento de uma miniestação meteorológica de baixo custo baseada na plataforma Arduino*. Universidade Federal do Ceará.
- Moura, M. S. (2020). *Estudo comparativo dos elementos do balanço hídrico climatológico no cerrado para as cidades de Cuiabá e Nova Xavantina (MT)*. Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo.
- Nakano. (2021) *Sensor Meteorológico*. <https://github.com/FNakano/CFA/tree/master/projetos/SensorMeteorologico>.
- Pereira, A.R. (2005). Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. *Bragantia*, 64(2), p. 311-313. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000200019>.
- Péres, A. B. (2008). *Monitorador de temperatura e umidade do ar*. Centro Universitário de Brasília.
- Pezente, D. P. (2019). *Sistema de Monitoramento Avançado para Cultivo de Hortaliças*. SATC Educação e Tecnologia.
- Primavesi, A. (2016). *Manual do solo vivo* (2.ed.). Expressão Popular.
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Sabo, P. H. (2011) *Modelo de microestação agrometeorológica para monitoramento vitícola*. Universidade Estadual de Maringá.
- Shafranovich, Y. (2005). *Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files*. Fremont. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4180>

Schendel, U. (1967). *Vegetationswasserverbrauch und -wasserbedarf* (137 pp.). Habilitation, Kiel.

Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária. (2021). *Balço Hídrico Climatológico Decendial*.
<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/climatologia/bhclimatologiconormal/index>.

Souza, C. F. et al Souza, C. F., Pires, R. C. M., Miranda, D. B. de, & Varallo, A. C. T. (2013). Calibração de sonda FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. *IRRIGA*, 18(4), p. 597–606. 2013. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n4p597.

Thingspeak (2020). *Thingspeak.com*. Disponível em: <https://thingspeak.com/>

Thornthwaite, C. W., Mather, J. R. (1957) *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. No. RESEARCH. Centerton, EUA.

AGRADECIMENTOS

Os autores receberam bolsas de Iniciação Científica através dos projetos PIBIC 2020-1580: "Estação meteorológica de baixo custo para pequenos agricultores", e PUB-USP 1970: "Estação meteorológica de baixo custo para pequenos agricultores".

Deixa-se também registrado o agradecimento ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que mantém pluviômetros pelo país e disponibiliza ao público geral, através de plataforma, seus dados.