



Protótipo para automatização do sistema de irrigação utilizando placa de prototipagem arduino UNO R3 para controle da água

Prototype for automating the irrigation system using the arduino UNO R3 prototyping board for water control

Ayla Marinho da Silva¹, Akaz Marinho da Silva² & Yomara Pinheiro Pires³

Resumo: O uso de tecnologias modernas na agricultura é imprescindível, apresentando grande significância principalmente para a agricultura irrigada, visto que é o setor com maior destaque no consumo dos recursos hídricos. Diante desse cenário, o trabalho tem como objetivo principal desenvolver um protótipo para irrigação, utilizando tecnologia de baixo custo, como a ferramenta arduino UNO R3 para monitorar o controle da água em horários específicos. A pesquisa apresenta uma abordagem qualitativa, e foi validada em uma residência na Cidade de Castanhal, situada na região Nordeste do Estado do Pará. Os materiais utilizados para elaboração do protótipo foram o arduino modelo UNO R3, módulo RTC, válvula solenóide, módulo Relé, mangueiras e aspersores. O código desenvolvido foi programado em linguagem C++, com o primeiro teste aplicado às 9h e o segundo às 16h, com intervalo de 10 segundos. O resultado foi obtido a partir da realização dos testes, o qual demonstrou que o protótipo desenvolvido apresenta boa capacidade no controle da água para irrigação, sendo ligado e desligado no horário programado. Foi possível notar, ainda, uma alta eficiência na utilização da placa de prototipagem arduino UNO R3, além da comunicação eficaz entre os componentes utilizados, demonstrando que as ferramentas tecnológicas são importantes para a gestão e o controle dos recursos hídricos. Dessa forma, concluiu-se que o objetivo proposto no trabalho foi alcançado, visto que a utilização do arduino proporcionou a criação do protótipo para irrigação, com eficiência para controle do desperdício de água.

Palavras-chave: *Microcontrolador arduino; Recursos hídricos; Irrigação automática.*

Abstract: The use of modern technologies in agriculture is essential, especially for irrigated crops, the sector with the highest consumption of water resources. Given this scenario, the main purpose of this paper is to report on the development of a prototype for irrigation, using low-cost technology based on the Arduino UNO R3 tool to monitor water control at specific times. The research has a qualitative-quantitative approach and was validated in a residence in the city of Castanhal, located in the northeastern region of the state of Pará, Brazil. The materials used to make the prototype were the Arduino model UNO R3, RTC module, solenoid valve, relay module, hoses, and sprinklers. The code developed was programmed in the C++ language, with the first test applied at 09h and the second at 16h, with an interval of 10 seconds. The results obtained from the tests showed that the prototype developed has a good ability to control water for irrigation, being turned on and off at the programmed times. It was also possible to see a high level of efficiency in the use of the Arduino UNO R3 prototyping board, as well as effective communication between the components used, demonstrating that technological tools are important for the management and control of water resources. Therefore, it is possible to conclude that the objective proposed in the project was achieved, since the use of Arduino enabled the creation of a prototype for irrigation, with efficiency for controlling water waste.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 04/04/2024; aprovado em 25/10/2023.

¹ Bacharela em Ciências Biológicas, Graduada pela Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA. E-mail: aylamarinho.silva@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9570-2034>;

² Discente de Graduação em Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Pará - UFPA, Faculdade de Computação – UFPA. E-mail: akazms252000@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-2917-8328>;

³ Doutora, Docente na Universidade Federal do Pará - UFPA, Coordenadora da Faculdade de Computação – UFPA. E-mail: yomara@ufpa.br; <https://orcid.org/0000-0001-7724-6082>.

Keywords: *Arduino microcontroller; Water resources; Automated irrigation.*

INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas são fundamentais para o desenvolvimento das sociedades e a manutenção da população através da produção de matérias-primas, alimentos e combustíveis. Entretanto, as práticas agrícolas vêm sendo executadas durante séculos e são responsáveis por impactar diretamente o meio ambiente, contribuindo para o esgotamento dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos, dos combustíveis fósseis e dos nutrientes essenciais para o equilíbrio do meio ambiente (Henten *et al.*, 2022).

Segundo Routis e Roussaki (2023), um dos setores que mais utiliza água é a agricultura irrigada, tanto para a manutenção como para o aumento da produtividade, com um consumo global de aproximadamente 70% dos recursos hídricos disponíveis, o que gera grande preocupação e torna-se uma das principais dificuldades para o desenvolvimento sustentável.

Figorilli *et al.* (2021) salientam que a agricultura tradicional utiliza os recursos hídricos de forma demasiada, provocando desperdício tanto de água como de energia elétrica, uma vez que não considera as condições ambientais do solo e nem das plantas. Nesse sentido, a busca por novas tecnologias para mitigar a escassez dos recursos hídricos são necessárias para utilizar quantidades de água de forma adequada e sustentável.

O uso da tecnologia está integrado em todas as áreas da sociedade e é considerado como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de soluções mitigadoras, gerando impactos positivos quando utilizada de maneira correta. Correia *et al.* (2023) consideram que o uso das inovações tecnológicas podem tornar a agricultura irrigada mais eficiente, abrangendo diversos setores e contribuindo para melhoria das produções por meio de soluções como usos de equipamentos de baixo custo, economia no consumo de energia e recursos.

Na agricultura irrigada, os produtos tecnológicos são utilizados nas mais diferentes áreas do conhecimento, no entanto ainda são onerosos e poucos irrigantes possuem preço de mercado acessível aos interessados, em razão dos elevados custos de investimento e de manutenção. Porém, com a evolução dos sistemas de automação, muitos produtores passaram a ter a possibilidade de adquirir produtos mais acessíveis financeiramente e com ótima qualidade.

Um dos métodos atuais que vem sendo difundido no desenvolvimento de sistemas de controle é a tecnologia arduino, que utiliza uma placa de prototipagem de código aberto, conhecida pela facilidade de uso, com preço acessível e que permite o desenvolvimento de pesquisas em diferentes áreas do conhecimento, contribuindo com resultados benéficos para a economia e a sustentabilidade (González-

Buesa e Salvador, 2019). O arduino possui um microcontrolador que é responsável pela conexão de todos os componentes, além do envio e do recebimento de informações para controlar os dispositivos eletrônicos utilizados nos projetos (Badamasi, 2014).

Como se sabe, a água é essencial para manutenção das diferentes formas de vida existentes na terra, no entanto apresenta-se como recurso limitado. Tal limitação vem gerando grandes desafios para o mundo todo, com constantes crises ambientais e mudanças climáticas. Nessa perspectiva, este estudo tem por motivação a necessidade de produzir métodos automatizados para irrigação de baixo custo com capacidade de controlar a quantidade de água de acordo com a demanda da planta em períodos específicos.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo automatizado de baixo custo para sistema de irrigação, utilizando como ferramenta a placa de prototipagem arduino UNO para verificar o controle da água em horários específicos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Irrigação

O uso dos recursos hídricos para fins de irrigação é uma prática milenar utilizada para o controle do fornecimento de água, sendo considerada como uma técnica fundamental para o desenvolvimento produtivo das plantas. A água é um elemento essencial para o funcionamento dos processos fisiológicos que garantem a sobrevivência das espécies vegetais, dentre os quais podem ser destacados a fotossíntese, o transporte de nutrientes e a turgescência dos estômatos.

Além do mais, a irrigação desempenha um papel fundamental para a produtividade dos organismos vegetais, como destacam Hadelan *et al.* (2020), uma vez que a quantidade de água no solo proporciona diversas melhorias, como a umidade necessária para o crescimento das plantas, viabilizando melhores rendimentos e a produtividade elevada das culturas cultivadas.

Ao longo do tempo, muitas técnicas foram desenvolvidas para aprimorar os modelos tradicionais de irrigação, que aos poucos estão sendo substituídos por sistemas modernos associados ao avanço da tecnologia. Diante desse cenário, diversas técnicas implementadas objetivam minimizar o impacto ambiental e o desperdício dos recursos hídricos por meio do controle da vazão e da otimização do uso da água, priorizando a sustentabilidade.

Marouelli *et al.* (2011) destacam que o manejo do uso da água por meio de sistemas eficientes de irrigação deve priorizar a disponibilidade dos recursos para as plantas de forma adequada e suficiente, proporcionando melhores condições de cultivo e de produtividade, reduzindo o desperdício de água como também a lixiviação do solo, prevenindo tanto o estresse hídrico quanto a degradação ambiental.

Para a adoção precisa das técnicas de irrigação, alguns fatores devem ser analisados, como o tipo da cultura escolhida, as condições climáticas onde será implementado o cultivo, a disponibilidade dos recursos hídricos, a área disponível para plantio e o orçamento disponível. Além disso, pode-se destacar a eficiência de aplicação dentre os sistemas disponíveis, sendo os mais utilizados na agricultura a irrigação por aspersão e o gotejamento.

Conforme abordado por Abdel-Hamid e Abdelhaleem (2022), a escolha do método de irrigação deve levar em consideração o desempenho operacional do sistema, sendo o principal objetivo o fornecimento eficiente e adequado de água para as plantas.

Ademais, os autores abordam que os sistemas de irrigação mais antigos apresentam desempenho ineficiente, uma vez que a utilização do recurso hídrico geralmente resulta em desperdício, o que pode afetar o desempenho das culturas, sendo necessário o desenvolvimento de técnicas mais precisas que minimizem esse impacto.

Irrigação por gotejamento

O sistema de irrigação por gotejamento tem como principal finalidade o fornecimento de água diretamente nas raízes das plantas em pequenas quantidades, permitindo que o produtor tenha maior controle na distribuição hídrica. Esse método tem grande destaque na agricultura, sendo um dos mais utilizados atualmente, principalmente em regiões com pouca disponibilidade hídrica e elétrica devido a sua precisão de aplicação, menor consumo de água, e adaptabilidade às diferentes condições físicas e químicas do solo (Pinto *et al.*, 2022).

A irrigação por gotejamento envolve o uso de mangueiras ou tubos com pequenos emissores em gotas, e segundo Mackić *et al.* (2023) tende a ser altamente eficiente para mitigar o déficit hídrico, com vantagens diante dos métodos convencionais. Berça, Mendonça e Souza (2019) apontam que além da economia no uso da água, pode-se destacar a viabilidade técnica e de produção de plantas, e uso de tecnologias de automação, proporcionando menor uso de mão de obra.

Irrigação por aspersão

No método de irrigação por aspersão, a utilização da água é realizada por aspersores que simulam a chuva, circundando uma área específica próxima a planta, proporcionando maior cobertura (Testezlaf, 2017). Porém, diferente do sistema por gotejamento, a demanda liberada pelos aspersores é mais acelerada, podendo ocasionar desperdício de água por evaporação, e a escolha deve ser realizada levando em conta o tipo de cultura, assim como devem ser consideradas as regiões com pouco declive e suscetibilidade a ventos fortes, conforme cita Coelho *et al.* (2017).

Portanto, embora seja eficaz para determinadas culturas, com vantagens de flexibilidade e de uniformidade, há algumas desvantagens, como custos operacionais dispendiosos, além de não ser adaptável a todo tipo de terreno.

Controle da água

Em sistemas de irrigação, o controle da água possui um destaque importante, principalmente em locais com riscos de escassez de água. Nesse sentido, a gestão eficiente dos recursos hídricos contribui para a adequação e a obtenção de métodos mais sustentáveis que otimizem a produtividade das plantas e promovam a conservação ambiental dos solos.

A água é um recurso limitado, com isso, o controle por meio do desenvolvimento de tecnologias pode evitar os desperdícios. Para tanto, conforme citam Bwambale, Abagale e Anornu (2022), é essencial o conhecimento sobre as cultivares, sendo fundamental observar as variações da estrutura química e física do solo, a umidade e as condições climáticas do ambiente, para que seja viável o desenvolvimento de tecnologias que monitoram a quantidade de água a ser disponibilizada para as plantas.

De acordo com Goap *et al.* (2018), o consumo excessivo de água visando melhores rendimentos produtivos ocorre em maior quantidade nos países em desenvolvimento e esse cenário se dá em razão da baixa aquisição dos métodos de irrigação inteligentes e de baixo custo.

Diante do contexto mencionado, novas estratégias estão emergindo associadas ao uso dos recursos tecnológicos qual a Inteligência Artificial (IA) e a automação de sistemas com uso de sensores de umidade, de temperatura e de vazão, possibilitando aos produtores o uso eficiente dos recursos hídricos. Evitando, assim, o déficit ou o excesso hídrico nas plantações. O uso demasiado de água nas culturas pode ocasionar lixiviação, percolação, alagamento e escoamento superficial, em contrapartida a carência de água resulta em perdas produtivas e no estresse das plantas (Bwambale, Abagale e Anornu, 2022).

Arduino

O arduino é uma ferramenta de prototipagem de código aberto, com software e hardware de fácil utilização. Possui um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) e um controle de componentes eletrônicos e de módulos externos por meio da programação (Arduino, 2023d). A programação do arduino é realizada por meio da linguagem de programação C++, o que o simplifica e torna-o acessível a utilização da plataforma por iniciantes.

Kondaveeti *et al.* (2021) destacam que o arduino é um sistema embarcado, contendo um microcontrolador e outros componentes essenciais para o funcionamento, como cristal oscilador,

bootloaders e pinos que auxiliam na conexão de fontes, os quais tornam a plataforma completa e permitem a execução do programa no IDE.

Existem várias placas com diferentes funcionalidades e aplicações no mercado, dentre elas, pode-se citar o modelo UNO R3, considerado o mais popular entre os iniciantes, em razão da sua versatilidade e facilidade. O microcontrolador dessa placa tem como base o ATmega328P, que conta com 14 pinos digitais para entrada e saída, sendo 6 deles operados para saída PWM (*Pulse Width Modulation*), 6 pinos de entrada para leituras de sinais analógicas, ressonador cerâmico de 16 MHz, porta USB (*Universal Serial Bus*), fonte de alimentação, conector ICSP (*In Circuit Serial Programming*) para controle do microcontrolador e um botão reset para reiniciar o programa (Arduino, 2023c).

O segundo modelo é conhecido como Arduino Mega fundamentado no ATmega2560, o qual possui uma placa maior e mais desenvolvida em relação ao UNO. Esse modelo conta com 54 pinos, sendo 15 para saída PWM, 16 entradas analógicas e 4 portas seriais de *hardware*, tornando-se adequado para o desenvolvimento de projetos com maior complexidade (Arduino, 2023b). O Arduino Due possui placa de microcontrolador SAM3X8E, núcleo ARM Cortex-M3, possuindo maior capacidade de processamento e de desempenho, conta com 54 pinos para entrada e saída, com 12 sendo utilizados para saídas PWM, além de 12 entradas analógicas (Arduino, 2023a).

As placas de prototipagem são comumente utilizadas para programação de sistemas de automação e de eletrônica, em razão da sua versatilidade de uso, como destacam Pereira *et al.* (2020). De acordo com os autores, essa ferramenta apresenta flexibilidade, pois possibilita que o código criado seja executado, atualizado e alterado pelo próprio usuário, sem exigir que o circuito físico do arduino precise ser alterado.

Um diferencial das placas arduino está relacionada à acessibilidade de aquisição em função do baixo preço quando comparado com os valores de outros microcontroladores disponibilizados nos mercados (Kondaveeti *et al.*, 2021). Em razão dessa facilidade, o arduino está sendo requerido cada vez mais para o desenvolvimento de sistemas automáticos simples e complexos.

Em algumas áreas da agricultura, inovações tecnológicas utilizando placas de prototipagem e sensores já foram desenvolvidas, como sistemas de semeadura para pequeno e médio porte e irrigação utilizando Arduino e sensores (Kumar e Rajagopal, 2022).

Com o aumento do uso da água na agricultura, é notória a necessidade de desenvolver novas técnicas que minimizem a perda desse recurso, sendo imprescindível, dessa forma, a placa de prototipagem que tende a ser um recurso viável para o desenvolvimento de sistemas de irrigação automatizados, visto que pode ser adaptado conforme desejado para atender diferentes objetivos.

METODOLOGIA

O presente trabalho refere-se a uma pesquisa com abordagem quali-quantitativa, sendo composto por uma breve fundamentação teórica a respeito dos principais conceitos abordados na pesquisa e, em um segundo momento, discorre sobre a elaboração do protótipo para automatização do sistema de irrigação, utilizando placa de prototipagem arduino UNO.

A etapa de construção do protótipo foi realizada em uma residência localizada na Cidade de Castanhal, situada na região Nordeste paraense, a aproximadamente 75 Km da capital, Belém, sendo realizado o teste de experimentação no dia 15 de outubro de 2023.

Portanto, a etapa de construção iniciou-se com o levantamento dos materiais necessários para a construção do sistema, visando à diminuição de possíveis problemas. Foram utilizados como materiais para a elaboração, uma placa de prototipagem arduino modelo UNO R3, responsável pelo processamento dos dados temporais recolhidos do Módulo RTC (*Real Time Clock*), onde recebe dados de minutos e de segundos. O módulo RTC, que atua como um relógio, foi utilizado no trabalho para evitar possíveis problemas relacionados à programação do arduino, como a contagem do tempo de forma precisa.

Para além disso, utilizou-se uma válvula solenóide, que funciona através de um sistema eletromecânico, sendo ativada por uma bobina com a passagem de cargas elétricas e um módulo Relé que atua como dispositivo de controle de circuitos elétricos, sendo controlado diretamente pelo Arduino, além de mangueiras e aspersores para prover água para o sistema de irrigação.

Por fim, o código de programação para o processo de automação foi elaborado na linguagem de programação C++, conforme exposto abaixo, especificando horários específicos para observação do sistema, sendo a primeira às 9h e a segunda às 16h, com a duração de 10 segundos para cada período de irrigação.

Abaixo, o código em linguagem C++ utilizado para comunicação com o hardware e para o controle da água:

```
1 void ligaRele (){
2   myRTC.updateTime ();
3   if(myRTC.hours == 8 && myRTC.minutes == 0 && myRTC.seconds == 0){
4     digitalWrite (rele, HIGH);
5   }
6   if(myRTC.hours == 8 && myRTC.minutes == 0 && myRTC.seconds == 10){
7     digitalWrite (rele, LOW);
8   }
9
10  if(myRTC.hours == 16 && myRTC.minutes == 0 && myRTC.seconds == 0){
11    digitalWrite (rele, HIGH);
```

```
12 }  
13 if(myRTC.hours == 16 && myRTC.minutes == 0 && myRTC.seconds == 10){  
14   digitalWrite (rele, LOW);  
15 }  
16 }
```

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar o teste, observou-se que o protótipo desenvolvido apresenta boa adequabilidade ao sistema de irrigação, demonstrando que, a partir do código programado, o sistema é ligado e desligado no horário estabelecido, liberando água em intervalos específicos (**FIGURA 01**). O sistema conta com uma mangueira ligada diretamente em uma torneira, a qual é conectada ao Arduino, sendo composta por três micros aspersores do tipo *spray* (**FIGURA 02**).

FIGURA 01: Protótipo de irrigação utilizando arduino UNO R3.



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

FIGURA 02: Protótipo de sistema de irrigação utilizando micro aspersores conectados a mangueira.



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Com a realização dos testes utilizando a placa de prototipagem arduino e os demais itens associados para a construção do sistema de irrigação, notou-se a capacidade de processamento do arduino UNO R3, com comunicação eficiente entre os componentes utilizados. Siqueira e Ferreira (2023) corroboram que a utilização de sistemas automatizados agrega diversos benefícios aos irrigantes, dentre os quais se destacam a redução de erros por falhas humanas, uma vez que o sistema é programado para garantir a irrigação correta às plantas, além de otimizar o consumo de insumos por meio da aplicação direcionada, promovendo melhores rendimento produtivos.

Nesse sentido, os resultados apresentados demonstram que o uso de elementos tecnológicos na operação de sistemas de irrigação automáticos são ferramentas importantes para a gestão e para o controle eficiente dos recursos hídricos, contribuindo, assim, para minimizar o desperdício de energia e de água. Além disso, ajudam na produção, assim como na qualidade dos produtos obtidos.

Embora os modelos de irrigação atuais apresentem inúmeras vantagens com relação à eficiência na utilização da água e sejam precisos para os diferentes meios de cultivo, alguns problemas podem ser encontrados, principalmente no que se refere ao custo financeiro e de instalação, pois demandam certo nível de complexidade. Dessa forma, os resultados alcançados são pertinentes. Apontam Marouelli *et al.* (2011) que as técnicas de irrigação geralmente fazem uso da água sem um controle adequado, contribuindo para o desperdício e proporcionando o aumento do produto final, além de favorecer o desequilíbrio ambiental, ocasionando escassez e afetando a qualidade dos recursos hídricos.

Outro ponto a ser destacado neste trabalho, é com relação ao uso do arduino, visto que os sistemas que utilizam essas placas de prototipagem tendem a ser mais acessíveis, pois são conhecidas pelo baixo custo financeiro, que viabiliza o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas com a mesma capacidade e as mesmas funções de equipamentos de alta tecnologia (Siqueira e Ferreira, 2023). Portanto, pode-se considerar que o protótipo é vantajoso, já que permite o controle da água com baixo custo.

Entretanto, é importante ressaltar que o sistema não foi testado em grandes sistemas de agricultura. Faz-se necessário, assim, um estudo mais aprofundado sobre as possibilidades de implementar em áreas irrigáveis maiores, levando também em consideração o tipo de cultivo, de ambiente, de clima e de solo onde o sistema será instalado.

Da mesma maneira, deve-se considerar a utilização de sensores para melhor precisão e controle dos recursos hídricos, certo de que, conforme cita Rivas-Sánchez, Moreno-Pérez e Roldán-Cañas (2019), os parâmetros ambientais de temperatura e de umidade são essenciais para conhecer as condições exatas das plantas e do ambiente.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização do arduino proporcionou a criação de um protótipo para sistema de irrigação automático e alcançou, com eficiência, o objetivo proposto no presente trabalho, dado que o sistema viabilizou a liberação de água nos horários estabelecidos.

Embora o sistema seja simples, apresenta eficiência para o controle da água, limitando o desperdício e contribuindo para a sustentabilidade, proteção e conservação dos recursos naturais, além de ser acessível para pequenos produtores, devido ao baixo custo de aquisição e de implementação.

Destaca-se, também, a importância de realizar novas pesquisas utilizando sensores para aplicabilidade em sistemas de cultivo em diferentes ambientes.

REFERÊNCIAS

- [1] ABDEL-HAMID, M.; ABDELHALEEM, H. M. Cost benefits analysis of flexible on-field irrigation systems: a case study. *Innovative Infrastructure Solutions*, v. 7, n. 7, p. 1-8, 2022. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00594-x>.
- [2] ARDUINO. Arduino Due without Headers. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-due-without-headers>. Acesso em 11 de out. 2023a.
- [3] _____. Arduino Mega 2560 Rev3. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>. Acesso em 11 de out. 2023b.
- [4] _____. Arduino Uno Rev3. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>. Acesso em 11 de out. 2023c.
- [5] _____. What is Arduino?. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em 11 de out. 2023d.
- [6] BADAMASI, Y. A. The Working Principle Of An Arduino. 2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO). 2014. Doi:10.1109/icecco.2014.6997578.
- [7] BERÇA, A. S.; MENDONÇA, T. G.; SOUZA, C.F. Influence of organic mulching on drip irrigation management of cabbage cultivation. *Revista Ambiente & Água*, vol. 14, n. 4, e2381, p. 1-11, 2019. Doi:10.4136/ambi-agua.2381.
- [8] BWAMBALE, E; ABAGALE, F. K.; ANORNU, G. K. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*, v. 260, e107324, p. 1-12, 2022. [107324https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107324](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107324).
- [9] COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. DA ; PARIZOTTO, I.; SILVA, T. S. M. Conhecendo os tipos de sistemas de irrigação e seus usos. In: _____. *Sistemas e manejo de irrigação de baixo custo para agricultura familiar*. Cruz das Almas, Ba : Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2017. 6-24 p.

- [10] CORREIA, T. P.; MENDES, É. L.; SILVA, S. W.; MELO, T. F. Tecnologia e produção agrícola: uma interface promissora e de gestão. *Agriculturae*, v.5, n.1, p.20-27, 2023. Doi: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-645X.2023.001.0003>.
- [11] FIGORILLI, S.; PALLOTTINO, F.; COLLE, G.; SPADA, D.; BENI, C.; TOCCI, F.; VASTA, S.; ANTONUCCI, F.; PAGANO, M.; FEDRIZZI, M.; COSTA, C. An Open Source Low-Cost Device Coupled with an Adaptive Time-Lag Time-Series Linear Forecasting Modeling for Apple Trentino (Italy) Precision Irrigation. *Sensors*, v. 21, n. 2656, p. 2-15, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21082656>.
- [12] GOAP, A.; SHARMA, D.; SHUKLAB, A. K.; KRISHNA, C. R. An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 155, p. 41–49, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040>.
- [13] GONZÁLEZ-BUESA, J.; SALVADOR, M. L. An Arduino-based low cost device for the measurement of the respiration rates of fruits and vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture* v. 162, p. 14-20, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.029>.
- [14] HADELAN, L.; ROGELJ, M.J.; GUGIC, J.; CRNCAN, A.; ZRAKIC, M. Multi-criteria evaluation of locations for irrigation system implementation. *Irrigation and Drainage*, v. 69, n. 5, p. 1022–1032, 2020. <https://doi.org/10.1002/ird.2512>.
- [15] HENTEN, E. V.; TABB, A.; BILLINGSLEY, J.; POPOVIC, M.; DENG, M.; REID, J. Agricultural Robotics and Automation [TC Spotlight]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v. 29, n. 4, p. 145-147, 2022. Doi: 10.1109/MRA.2022.3213136.
- [16] KONDAVEETI, H. K.; KUMARAVELU, N. K.; VANAMBATHINA, S. D.; MATHE, S. E.; VAPPANGI, S. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, v. 40, n. 100364, p. 1-28, 2021. Doi:10.1016/j.cosrev.2021.100364.
- [17] KUMAR, A.; RAJAGOPAL, H. Automated Seeding and Irrigation System using. *Journal of Robotics. Networking and Artificial Life*, v. 8, n. 4, p. 259–262, 2022. Doi: <https://doi.org/10.2991/jrnal.k.211108.006>.
- [18] MAČKĆ, K.; BAJIĆ, I.; PEJIĆ, B.; VLAJIĆ, S.; ADAMOVIĆ, B.; POPOV, O.; SIMIĆ, D. Yield and Water Use Efficiency of Drip Irrigation of Pepper. *Water*, v. 15, n. 16, e2891, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.3390/w15162891>.
- [19] MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, A. S. de; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. de. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 157-232 p.
- [20] PEREIRA, R. M.; SANDRI, D.; RIOS, G. F. A.; SOUSA, D. A. DE O. Automation of irrigation by electronic tensiometry based on the arduino hardware platform. *Revista Ambiente & Água*, v. 15, n. 4, e2567, p. 1-12, 2020. Doi:10.4136/ambi-agua.2567.

- [21] PINTO, J. M.; YURI, J. E.; CALGARO, M.; CORREIA, R. C. Cultivo de melão em fileiras duplas com irrigação por gotejamento. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2022. 14 p. (Embrapa Semiárido. Circular Técnica, 133).
- [22] RIVAS-SÁNCHEZ, Y. A.; MORENO-PÉREZ, M. F.; ROLDÁN-CAÑAS, J. Environment Control with Low-Cost Microcontrollers and Microprocessors: Application for Green Walls. *Sustainability*, v. 11, n. 782, p. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11030782>.
- [23] ROUTIS, G.; ROUSSAKI, I. Low Power IoT Electronics in Precision Irrigation. *Smart Agricultural Technology*, v. 5, p. 1-17, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100310>.
- [24] SIQUEIRA, A. S.; FERREIRA, A. F. Sistema de irrigação automatizada para estufas de cultivo de tomate utilizando a plataforma arduino. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 2, p. 1121-1129, 2023. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i2.8608>
- [25] TESTEZLAF, R. Sistemas de irrigação: Tipos e princípios. In: _____. *Irrigação: métodos, sistemas e aplicações*. CAMPINAS: FEAGRI/UNICAMP, 2017. 24-134 p.