



Automatização de um processo de irrigação sustentável, interligado a um sistema tecnológico de sensores de solo, alimentado por placas solares

Automation of a sustainable irrigation process, interconnected to a technological system of soil sensors powered by solar plates

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo desenvolver um sistema de irrigação automatizado, através de uma bomba hidráulica com funcionamento em série, conectada a um sensor de umidade de solo e sendo controlada por um mecanismo de automação por um sistema Arduino. A metodologia utilizada foi uma pesquisa experimental visando buscar informações bibliográficas, assim aumentando o entendimento para a realização física do projeto, que permite avaliar o sistema hidráulico por meio da montagem da parte estrutural, elétrica, dos testes, coletas de dados e por métodos algébricos. O sistema produzido com funcionamento em série traz maiores alturas manométricas, operando com a mesma vazão. O estudo em questão focou na construção de um sistema de irrigação automatizado por gotejamento, integrando diversos componentes como um reservatório de 10 litros, uma bomba de diafragma de 12V controlada por um relé e uma placa Arduino, além de sensores de solo para monitoramento. Os testes preliminares realizados buscaram avaliar a eficácia do sistema, com ênfase na uniformidade e controle da distribuição da água no solo. Em suma, os resultados consolidaram a eficácia do sistema de irrigação por gotejamento automatizado, destacando a importância da integração de tecnologias, a precisão dos sensores e a sustentabilidade na agricultura moderna. O estudo não apenas forneceu insights valiosos para a otimização contínua do sistema, mas também contribuiu para a crescente área da automação agrícola.

Palavras-chave: Bomba; Automação; Arduino; Série.

ABSTRACT

The present project aimed to develop an automated irrigation system utilizing a hydraulic pump operating in series, linked to a soil moisture sensor, and controlled by an automation mechanism using an Arduino system. The methodology employed involved experimental research to gather bibliographic information, enhancing comprehension for the physical execution of the project. This enabled the assessment of the hydraulic system through the assembly of its structural and electrical components, testing procedures, data collection, and algebraic methods. The system designed to operate in series achieves greater manometric heights while maintaining the same flow rate. The project focused on building an automated drip irrigation system, integrating various components such as a 10-liter reservoir, a 12V diaphragm pump controlled by a relay and an Arduino board, along with soil sensors for monitoring. Preliminary tests were conducted to assess the system's effectiveness, emphasizing uniformity and control in water distribution across the soil. In summary, the results confirmed the efficiency of the automated drip irrigation system, highlighting the significance of technology integration, sensor precision, and sustainability in modern agriculture. The project not only provided valuable insights for continuous system optimization but also contributed to the expanding field of agricultural automation.

Keywords: Bomb; Automation; Arduino; Series.

MARCHI, Leandro *

<https://orcid.org/0000-0002-9361-5308>
Universidade Brasil, Fernandópolis, SP
leandro5marchi@hotmail.com

BUZO, João Pedro

<https://orcid.org/0009-0006-5711-1627>

FRANCISCO, Guilherme Oliveira

<https://orcid.org/0009-0008-8680-7775>

SILVA, Rodrigo Lopes

<https://orcid.org/0009-0006-7367-4040>

**Autor correspondente*



1 Introdução

Com o grande aumento da agricultura, ela se torna a área de maior consumo e de desperdício de água. Segundo a Organização das Nações Unidas – ONU (2013), aproximadamente 70% de toda a água potável disponível no mundo é utilizada para irrigação, enquanto as atividades industriais consomem 20% e o uso doméstico 10%. Esse sistema em longo prazo pode se tornar eficaz ao ajudar a reduzir o desperdício de água durante a irrigação.

Dentre os sistemas de irrigação, o que propicia produtividade elevada e melhor qualidade de frutos do meloeiro, destaca-se a irrigação por gotejamento. Esse sistema, de modo geral, trabalha com turno de rega ou frequência de irrigação menor ou igual a 3 dias, pois se caracteriza por possuir emissores de baixa vazão e por isso necessitam de mais tempo para aplicar uma determinada lâmina de água em comparação com outros sistemas de irrigação (Marcos, 2010).

As bombas hidráulicas são máquinas operatrizes, isto é, máquinas que recebem energia potencial (força motriz de um motor ou turbina), e transformam parte desta potência em energia cinética (movimento) e energia de pressão (força), cedendo estas duas energias ao fluido bombeado, de forma a recirculá-lo ou transportá-lo de um ponto a outro (Júnior, 2016).

A primeira razão para o ser humano necessitar de uma bomba hidráulica foi na agricultura. Uma necessidade premente de produzir mais alimentos para a família, depois para a comunidade e, posteriormente, para toda a população, obrigou o homem a pensar em uma forma de irrigação mecânica, iniciando os chamados sistemas de bombeamento. Portanto, possuem origens egípcias, por volta de 1500 a.C, onde por sistema de alavanca o fluido era levado de um ponto ao outro (Aquino, 2013).

Desta forma, com o passar dos anos, a automação foi se tornando muito útil no sistema de irrigação para agricultura em geral e quando associada à tecnologia presente, o sistema se torna economicamente viável e atraente para o crescimento do meio populacional.

Hoje em dia, a tecnologia tem que ir de encontro com as necessidades dos usuários, em vários níveis, tais como níveis gerenciais até a manutenção. A integração da eletroeletrônica na construção, montagem e automação das bombas e materiais cada vez mais nobres e resistentes à altas temperaturas, abrasivos e sólidos de diferentes origens garantem uma maior vida útil destes equipamentos (Aquino, 2013).



Freitas et al. (2011) afirmam que “o conhecimento da constante dielétrica dos materiais é um dos princípios básicos no desenvolvimento de sensores capacitivos. Esses sensores têm sido empregados para determinar a umidade do solo, devido ao valor da constante dielétrica da água. Para Rusiniak (2002), Chang et al. (2007), Kumhála et al. (2008), Frangi et al. (2009), Benedetto (2010) e Monsen-Nia et al. (2010), este valor é de 78-80, em contraste com o solo, cujo valor pode chegar até 14. Assim, a constante dielétrica é altamente relacionada com o teor de água no solo (Kizito et al., 2008; Freitas et al., 2011).

As placas fotovoltaicas são desenvolvidas desde 2012, tornando casas, empresas, negócios, sustentáveis por serem capazes de produzir a sua própria energia. No presente estudo, por exemplo, foi utilizado um sistema capaz de sustentar as bombas hidráulicas, representando um sistema mais limpo e sustentável para o meio ambiente e em longo prazo, mais barato ao consumidor do próprio sistema.

Bombas hidráulicas podem ser operadas em associações, essas que são associação em paralelo ou em série. De acordo com as pesquisas de Terron (2012), as bombas associadas em série operam com a mesma vazão, porém fornece uma pressão mais elevada fornecendo para alturas mais elevadas, o que difere da associação em paralelo que mantém a altura constante, porém possui a variação de vazão das bombas.

As placas fotovoltaicas, também conhecidas como placas de sistema solar, são famosas por ser um dos tipos de energia limpa e renovável, sendo preferível, muitas vezes, à criação de usinas hidroelétricas e ou usinas nucleares, isso se dá por utilizar o calor dos raios solares e assim transformar em energia elétrica. Responsável pela absorção e transferência da radiação solar e mostra que tal método pode ser ainda mais sustentável até mesmo para aquecimento de água para o banho (EMBRAPA, 2005).

A Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento – ABRAVA, indica que o aproveitamento térmico da energia solar é uma das alternativas mais viáveis para substituição ou redução do uso de chuveiros elétricos (Rodrigues, 2005). Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2014), as condições atmosféricas, a nebulosidade, umidade relativa do ar e vários outros fatores que são relevantes, a disponibilidade de radiação solar, também denominada de energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo, então hora dia e ano.

Também conhecidas como módulo fotovoltaico, produzem certa quantidade de energia e, então, são conectadas juntas até que seja possível alcançar a quantidade satisfatória para sustentar o sistema em questão, podendo ser um imóvel ou um sistema hidráulico. Sua principal função é pegar a radiação



solar que as placas capturam e transformar em energia, o que é feito por meio das células fotovoltaicas das quais são compostas (Companhia Energética de Minas Gerais, 2015).

O principal motivo por optar por esse tipo de energia em questão pode ser declarado por vários pontos bem importantes, além de ser uma energia sustentável e que seria utilizada exclusivamente para o sistema de ligação de todo o conjunto hidráulico, também a economia que um agrupamento de placas fotovoltaicas, gerando energia solar, traria, além de poder ser utilizada por todo o dia, caso possuísse algum excesso, poderia ser utilizado durante a noite (EMBRAPA, 2005).

Responsável pelo desenvolvimento e manutenção da vida na Terra, o Sol pode ser visto, de acordo com a nossa escala de tempo e com os atuais níveis de consumo energético, como uma fonte de energia inesgotável (Galdino et al., 2010). Toda a energia dissipada pelo Sol é irradiada em todas as direções do sistema. Uma pequena parcela dessa energia dissipada atinge a superfície da Terra, devido à grande distância que os separam (Nativo, 2014). Assim, podendo ser captada pelas placas e absorver aquele calor que é derivado da luz solar e transformar em energia elétrica.

O presente trabalho, portanto, visa desenvolver um sistema de automatização de um processo de irrigação sustentável, interligado a um sistema tecnológico de sensores de solo, alimentado por placas solares.

2 Materiais e Métodos

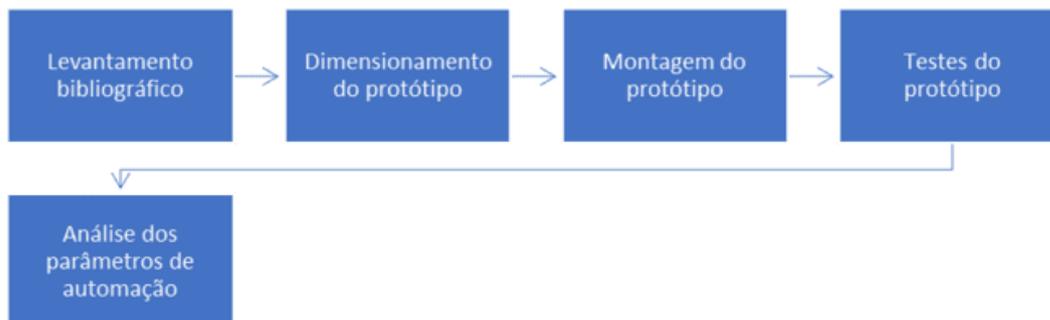
O estudo foi desenvolvido na Universidade Brasil, campus Fernandópolis-SP, localizada na Fazenda Santa Rita, ao longo do período de junho a novembro de 2023. A pesquisa ocorreu de forma experimental de caráter qualiquantitativa, com a finalidade de desenvolver um sistema de irrigação automatizado, utilizando Arduino e alimentado por placas solares.

Para facilitar a compreensão do estudo, foi criado um itinerário no formato de fluxograma em forma de linha do tempo (Figura 1).

Em primeira instância, o levantamento bibliográfico proposto abrangeu a evolução histórica das bombas hidráulicas na agricultura, destacando avanços tecnológicos, como integração de eletroeletrônica e materiais duráveis. Explorou ainda sobre o sensoriamento da umidade do solo via sensores capacitivos, relacionando a constante dielétrica com a determinação do teor de água no solo. Além disso, abordou sobre o uso de sistemas solares fotovoltaicos para alimentação de bombas hidráulicas, considerando o dimensionamento e escalabilidade. Destacou a energia solar como fonte renovável, explorando sua captura e conversão em eletricidade, assim como seu impacto ambiental e

econômico. Em seguida, discutiu sobre a automação bombas hidráulicas com o Arduino, abordando suas aplicações na automação de sistemas hidráulicos.

Figura 1. Fluxograma do mecanismo empregado na metodologia



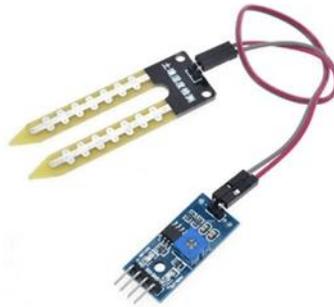
Fonte: Autoria própria (2023)

Dimensionamento do Protótipo

A HMT, ou Altura Manométrica Total, é um parâmetro fundamental no dimensionamento de sistemas de bombeamento hidráulico. Ela representa a altura total que uma bomba hidráulica é capaz de elevar a água, desde o ponto de captação até o ponto mais alto de descarga, considerando perdas de carga, atrito e resistência do sistema. Para o presente estudo, definiu-se inicialmente a altura manométrica total (HMT) necessária para elevar a água do ponto de captação ao ponto de descarga, assim como a vazão desejada do sistema.

Em seguida, escolheu-se um sensor de umidade do solo compatível com o Arduino para automação do sistema, estabelecendo a integração do sensor ao dispositivo para monitorar e controlar a umidade do solo. Para monitorar a umidade do solo foram adotados sensores nos sistemas de irrigação conforme a Figura 2.

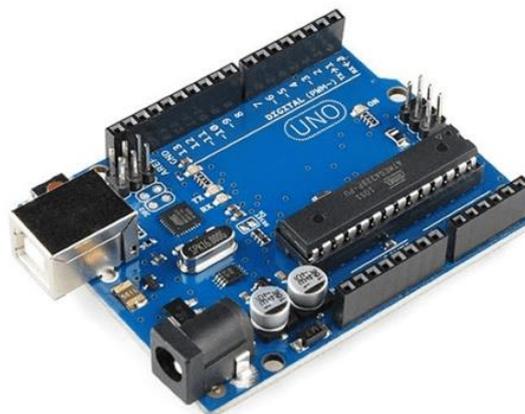
Figura 2. Módulo sensor de umidade de solo



Fonte: Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-umidade-de-solo>>
Acesso em: 08 Nov 2022

Desenvolvido em 2005 por David Cuartielles e Massimo Banzi, o Arduino é uma plataforma de código aberto, que através de uma placa permite que se controle e programe um sistema, de forma simples. Em uma placa de Arduino conforme a Figura 3, os comandos recebidos pelos programas inseridos, são feitos por um microcontrolador, que é a parte mais importante, ele é considerado por muitos como o cérebro de tudo. Um microcontrolador geral tem pinos para conexões externas de entradas e saídas, alimentação, *clock* e sinais de controle. Segundo MCROBERTS (2011), o Arduino foi projetado como uma forma simples e barata de envolver os indivíduos com a eletrônica de microcontroladores.

Figura 3. Placa Arduino uno r3



Fonte: Disponível em: ><https://www.makerhero.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/><
Acesso em: 8 de Nov de 2022

A maioria dos sistemas de irrigação por gotejamento trabalham na faixa de pressão de 0,5 kgf/cm² a 2 kgf/cm², com vazões variando de 0,5 L.h⁻¹ a 5 L.h⁻¹. Como regra geral, o espaçamento



entre gotejadores mais usados são 0,20 m a 0,30 m para solos de textura grossa e 0,50 m a 1 m para solos de textura média e fina. Já para os sistemas de fita gotejadora os mais usados são emissores espaçados de 0,10 m a 0,30 m, respectivamente (Keller, 1990).

Escolheu-se uma minibomba de diafragma, modelo DP-537, com as seguintes especificações técnicas: pressão máxima de 0,68 MPa, vazão máxima de 4,0 L/min e tensão de operação de 12 VDC, com potência máxima variando entre 60 e 65 W, levando em conta a HMT requerida de 0,1 m de profundidade, adequando o reservatório abaixo da bomba, e a vazão desejada de 0,2 L a cada 30 s, optando-se por uma única bomba para atender demandas de altura manométrica mais usual no dia a dia.

Finalmente, planejou-se uma estrutura de montagem para integrar os componentes do sistema de forma eficiente, possibilitando a operação adequada do protótipo. Esse foi um fator crucial para a seleção da bomba adequada para atender às exigências de elevação e pressão necessárias em um sistema de bombeamento específico. Para a montagem do protótipo, foram adquiridos os materiais elencados no Quadro 1.

Quadro 1. Materiais utilizados no protótipo

Materiais Usados	Unidade de medida	Quantidade
Cabo Wire Jumper 20cm 40 Fios Fêmea-macho Protoboard Arduino	UN	1
Placa Atmega328p Smd Compatível Com Arduino Uno R3 C/cabo	UN	1
Modulo Rele 1 Canal Led Indicador Para Arduino Pi Pic 5v/10 ^a	UN	1
Display Lcd 16x2 1602 Fundo Azul C/ Modulo I2c Já Soldado	UN	1
Kit Protoboard 400 Pontos Resistor Led Botão Jumpers Arduino	UN	1
Minibomba Diafragma Pulverizador Elétrico Pressurizadora	UN	1
Modulo Placa Solar de 10W	UN	1
Sensor De Umidade Do Solo - Higrômetro Para Arduino	UN	1
Reservatório Plástico Reaproveitado de 10 L	UN	2
Mangueira Cristal Transparente 0,5 M	UN	1
Mangueira Siliconada 0,5 M com rosca	UN	1

Fonte: Autoria própria (2023)

Montagem do protótipo

A montagem da unidade estrutural consistiu em um reservatório de capacidade máxima de 10 L com abertura no topo. Esse tanque alimenta o sistema formado pela mangueira cristal transparente,



conectada diretamente a bomba de diafragma de 12 V instalada. Por processo de sucção coleta a água do reservatório e faz o bombeamento da água para alimentar o sistema de irrigação por gotejamento.

O controle de todo o sistema foi feito por meio de uma placa relé de um canal, dispositivo cuja função é ligar ou desligar o circuito elétrico da bomba. O relé é controlado pela placa Arduino através do software desenvolvido, que foi carregado a placa Arduino. O Quadro 2 mostra as conexões entre a placa de Arduino e o módulo de relé, visando o controle do sistema hidráulico.

Quadro 2. Conexões digitais entre relé e placa de Arduino

Relé 1 canal	Arduino
VCC	5V
GND	GND
IN	Porta digital 10

Fonte: Autoria própria (2023)

Testes do protótipo

Buscando verificar o funcionamento do sistema, foram realizados três testes preliminares. Para isso, elaborou-se um roteiro constituído por duas fases: preparação e execução. A primeira, a preparação, consistiu em encher o reservatório com volume de 10 L de água e verificar o volume suficiente para irrigar o solo de forma uniforme e controlada. Em seguida, verificou-se o funcionamento de todos os equipamentos presentes na unidade, como a bomba, o sensor de umidade do solo e painel de LCD que exibi as informações do sistema.

Na segunda fase, a execução, ligou-se a bomba por meio de um painel de controle, foi analisado seu comportamento, sucção e descarga da água na mangueira de irrigação, etapa que necessitou de alguns ajustes no projeto e posteriormente o teste foi repetido.

Os testes realizados com o sistema de irrigação revelaram sua eficiência. A taxa de distribuição foi medida em 1,5 litros em 30 segundos a uma profundidade de 10 cm, utilizando uma sucção de 30 cm de mangueira e distribuição em 8 furos, cada um com uma vazão de 0,1875 litros em 30 segundos. Os testes variaram entre 10 segundos, 1 segundo, 1 minuto, 30 segundos, 20 segundos, o melhor resultado foi alcançado justamente em 30 segundos de operação.

Durante os testes foram aplicados métodos algébricos com o propósito de avaliar o desempenho do projeto e de compreender as diferenças de comportamento do sistema de irrigação. Para a obtenção



da velocidade, utilizou-se a equação: $v = \frac{Q}{A}$, onde v é a velocidade dada em m/s, Q é a vazão em m^3/s e A é a área da tubulação em m^2 .

Para a classificação do regime de escoamento, foi aplicada a Equação 2, desenvolvida pelo físico Osborne Reynolds em 1883: $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$, onde Re é o número de Reynolds e é adimensional, v é a velocidade em m/s, ρ é a massa específica em kg/m^3 , D é o diâmetro medido em metros, e μ é o coeficiente de viscosidade do fluido em m^2/s .

Para o cálculo da altura manométrica, foi utilizada a equação da energia desenvolvida por Bernoulli: $H_{man} = \frac{P_2 + P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 + v_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + h_p$, onde P é a pressão medida em Pa (N/m^2), v é a velocidade em m/s, γ é o peso específico em N/m^3 , z é a cota/altura em m, g é a força gravitacional dada em m/s^2 , h_p é a perda da carga em metros, e H_{man} é a altura manométrica em metros.

Também, utilizou-se a Equação para o cálculo do tempo de escoamento do fluido durante todo o percurso: $t = \frac{V}{Q}$, onde t é o tempo dado em s, V é o volume em m^3 e o Q é a vazão em m^3/s .

Ao final, utilizou-se a expressão para realizar o cálculo do consumo de água para irrigação por gotejamento expresso por (IRRIGAT,2010): $ET_c = K_c \cdot ETo$, onde K_c é o coeficiente da cultura, ETo é a evapotranspiração de referência do dia calculado.

Assim, o ETo representa o consumo hídrico de referência para a região, sendo que para isso é utilizado o cálculo da necessidade de água de todas as culturas. Para o cálculo de ETo é necessário usar a fórmula: $ETo = F \cdot (T_{max} - T_{min}) \cdot (T_{max} + T_{min} + 35,6)$, onde, a letra F corresponde ao coeficiente que depende do dia do ano e T_{max} e T_{min} são os valores diários das temperaturas máximas e mínimas, respectivamente.

Para o tempo dessa rega a fórmula utilizada nada mais é do que o TI (tempo de irrigação) igual ao valor do $ETCa$ (acumulado) dividido pela intensidade de aplicação dos emissores. Lembrando que o ideal é adicionar de 10 a 20% no valor do $ETca$, por conta da desuniformidade de um solo, assim compensando essas falhas.

Ainda, como regra geral de acordo com Brandão (2010), ideal para instalação dos gotejadores são mais utilizados a uma distância de 0,20 m a 0,30 m para solos de textura grossa e 0,50 m a 1 m para solos de textura média e fina. Já para os sistemas de fita gotejadora os mais usados são emissores espaçados de 0,10 m a 0,30 m, respectivamente.



Análise de automação

Foi desenvolvida uma linguagem de programação em linguagem C++ para garantir o funcionamento adequado do sistema. Foi elaborado um conjunto de instruções na forma de Sketch. Para realizar essa programação, foram necessários, um computador, um cabo USB e o uso de um ambiente de programação conhecido como IDE - Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment*). Nessa programação, foram incluídas as instruções essenciais para controlar a bomba, determinar o tempo de funcionamento da mesma e, assim, estabelecer o sistema automatizado. As Figuras 4 e 5 representam a programação final utilizado no projeto.

Figura 4. Primeira Parte do Código de programação com as conexões entre sensor de solo, relé, painel LCD, relé e Arduino

```
1. // inclui a biblioteca:
2. #include <Wire.h>
3. #include <LiquidCrystal_I2C.h>
4.
5. // DEFINIÇÕES
6. #define endereco 0x27
7. #define colunas 16
8. #define linhas 2
9.
10. // INSTANCIANDO OBJETOS
11. LiquidCrystal_I2C lcd(endereco, colunas, linhas);
12.
13. // variáveis do programa
14. const int pinoSensor = A0;
15. const int pinoValvula = 10;
16. const int limiarSeco = 60;
17. const int tempoRega = 30; // Tempo de rega em segundos
18. int umidadeSolo = 0;
19.
20. void setup() {
21.   lcd.init();
22.   lcd.backlight();
23.   lcd.clear();
24.
25.   pinMode(pinoValvula, OUTPUT);
26.   // Desliga a válvula
27.   digitalWrite(pinoValvula, HIGH);
28.   // define o tamanho do Display LCD
29.   lcd.begin(16, 2);
30.   // Exibe a mensagem no Display LCD.
31.   lcd.print("Rega Inteligente");
```



```
32.
33.   Serial.begin(9600);
34. }void loop() {
35.   // Mede a umidade a cada segundo. Faz isso durante uma hora (3600 segundos).
36.   for(int i = 0; i < 1300; i++) {
37.     // Posiciona o cursor do LCD na coluna 0 linha 1
38.     // (Obs: linha 1 é a segunda linha, a contagem começa em 0)
39.     lcd.setCursor(0, 1);
40.     // Exibe a mensagem no Display LCD:
41.     lcd.print("Umidade: ");
```

Fonte: Autoria Própria, (2023)

Figura 5. Segunda Parte do Código de programação com os comandos de ativação e controle do sistema automático via Arduino

```
42.   // Faz a leitura do sensor de umidade do solo
43.   umidadeSolo = analogRead(pinoSensor);
44.   // Converte a variação do sensor de 0 a 1023 para 0 a 100
45.   umidadeSolo = map(umidadeSolo, 1023, 0, 0, 100);
46.   // Exibe mensagem no Display LCD:
47.   lcd.print(umidadeSolo);
48.   lcd.print(" % ");
49.   // Espera um segundo
50.   delay(1000);
51. }
52.
53. if(umidadeSolo < limiarSeco) {
54.   // Posiciona o cursor do LCD na coluna 0 linha 1
55.   // (Obs: linha 1 é a segunda linha, a contagem começa em 0)
56.   lcd.setCursor(0, 1);
57.   // Exibe a mensagem no Display LCD:
58.   lcd.print(" Bomba Ligada ");
59.   // Liga a válvula
60.   digitalWrite(pinoValvula, LOW);
61.   // Espera o tempo estipulado
62.   delay(tempoRega * 1000);
63.   digitalWrite(pinoValvula, HIGH);
64. }
65. else {
66.   // Posiciona o cursor do LCD na coluna 0 linha 1
```



```
67. // (Obs: linha 1 é a segunda linha, a contagem começa em 0)
68. lcd.setCursor(0, 1);
69. // Exibe a mensagem no Display LCD:
70. lcd.print("Solo Encharcado ");
71. // Espera o tempo estipulado
72. delay(1000);
73. }}
```

Fonte: Autoria Própria, (2023)

3 Resultados e Discussão

O sistema de irrigação automatizado desenvolvido mostrou-se eficaz na regulação da umidade do solo. Com base nos princípios da constante dielétrica da água e do solo, identificou-se que os sensores capacitivos eram fundamentais para determinar o teor de água no solo. Isso permitiu um controle preciso sobre o acionamento da bomba diafragmática por pressão.

A integração das placas solares no sistema ofereceu uma fonte sustentável e ininterrupta de energia, com o uso de baterias durante o período noturno, essencial para o funcionamento contínuo da bomba e do sistema em um todo, resultando em eficiência energética e redução dos custos operacionais em longo prazo.

A aplicação do Arduino como centro de controle e automação foi crucial para a operação sincronizada da bomba, baseando-se nos dados recebidos pelos sensores de umidade do solo. Através da programação desenvolvida, foi possível regular os momentos ideais de irrigação, evitando tanto o desperdício quanto a escassez de água, maximizando o uso eficiente desse recurso.

O sistema integrado mostrou-se um avanço significativo na agricultura, especialmente na otimização do uso da água. A capacidade de monitorar e controlar a umidade do solo em tempo real permitiu uma irrigação mais precisa e eficiente. Isso não apenas aumenta a produtividade, mas também contribui para a conservação da água, um recurso essencial cada vez mais escasso.

As principais etapas de montagem da parte estrutural e elétrica do sistema são apresentadas na Figura 6.

Figura 6. Principais etapa de montagem



Fonte: Autoria própria (2023).

A introdução de energias renováveis, como as placas solares, não apenas reduziu os custos operacionais em longo prazo, mas também diminuiu a pegada de carbono do sistema. A sustentabilidade ambiental tornou-se um fator crítico, e essa abordagem representa um passo significativo em direção a práticas agrícolas mais amigáveis ao meio ambiente.

Além disso, a automação permitida pelo Arduino e a programação específica desenvolvida demonstram como a tecnologia pode ser aplicada de maneira prática e funcional na agricultura. Isso não apenas facilita o trabalho dos agricultores, mas também garante uma abordagem mais científica na gestão dos recursos.

O estudo descreve o processo de montagem de um sistema de irrigação por gotejamento automatizado. Esse sistema é composto por um reservatório de 10 litros conectado a uma bomba de diafragma de 12V, controlada por um relé de um canal, que por sua vez é gerenciado por uma placa Arduino, utilizando o software Arduino.ide para ajustes e controle.

A Figura 7 demonstra o protótipo da Automação de um processo de irrigação sustentável, interligado a um sistema tecnológico de sensores de solo, alimentado por placas solares finalizado.

Figura 7. Protótipo finalizado



Fonte: Autoria própria (2023).

4 Conclusão

Após a finalização do projeto, houve a compreensão de todos os envolvidos sobre o comportamento e funcionalidade de um sistema de automação. Pode-se observar também o funcionamento de um sistema de bomba hidráulica em série. Sendo possível avaliá-lo tanto em forma física por seu dimensionamento, tanto em forma teórica por meio de cálculos e métodos literários de pesquisa.

Após a realização de testes e cálculos, também foi possível notar um alto sistema de eficiência para a irrigação, concluindo que o melhor resultado possível era em 30 segundos, mostrando uma eficácia maior para a distribuição de água, cobrindo assim o solo de forma desejável.

A conclusão deste estudo demonstra a abrangência e a profundidade alcançadas na compreensão e funcionamento de um sistema de automação para irrigação por gotejamento. A integração de diferentes componentes, como a bomba hidráulica, o controle via Arduino e os sensores de solo, revelou-se altamente eficiente e funcional.

Em síntese, este estudo não apenas validou a eficácia do sistema de irrigação por gotejamento automatizado, mas também evidenciou a importância da integração entre tecnologia, sustentabilidade e eficiência na agricultura. Os resultados obtidos não só corroboram a viabilidade e eficácia do sistema proposto, mas também abrem portas para futuras melhorias e desenvolvimentos nesse campo promissor



da automação agrícola.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, aos colegas e amigos que ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, aos professores que colaboraram para elaboração do mesmo e a instituição de ensino, Universidade Brasil pelo apoio que sempre tem prestado para o nosso desenvolvimento profissional e pessoal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRISHOW. **Você conhece as principais causas do desperdício na irrigação?**. Agrishow. Disponível em: <https://digital.agrishow.com.br/irrigacao/voce-conhece-principais-causas-do-desperdicio-na-irrigacao>. Acesso: 8 nov. 2022.
- ALAVOURA. **Especialistas veem na energia solar oportunidades para desenvolvimento na agricultura familiar**. ALavoura. Disponível em: <https://alavoura.com.br/colunas/panorama/especialistas-veem-na-energia-fotovoltaica-oportunidades-para-desenvolvimento-na-agricultura-familiar/>. Acesso: 9 nov.2022.
- ALMEIDA, Danilo. **Sensor de umidade de solo com Arduino: higrômetro**. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>. Acesso: 2 nov. 2022
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório 2013**. Brasília: ANEEL, 2014.
- ASBOMBAS. **Bombas, breve história**. ASBombas. Disponível em: <http://www.asbombas.com.br/bombas-uma-breve-historia/>. Acesso: 4 nov. 2022.
- BARROS, Giulia Rossato de. **Energia Solar na Agricultura: como funciona, onde é usada e quais os custos?**. Disponível em: <https://blog.tentoscrap.com.br/energia-solar-na-agricultura/>. Acesso: 9 nov.2022.
- BLUESOL. **Painel Solar (Placa Solar): A verdade sobre o preço e como funciona**. BlueSol Energia Solar. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>. Acesso: 7 nov. 2022.
- BORIM, Andréa Carla Alves; PINTO, Carlos Alberto Ramos – **“Medição de umidade no solo através de sensores capacitivos”**. Disponível em: <https://revista.pgskroton.com/index.php/rcext/article/view/2395>. Acesso: 6 out. 2022.
- BRAGA, Carlos Augusto da Silva *et al.* **“Sistema automatizado de aquecimento solar para controle de fitopatógenos da água de irrigação”**. Disponível em: [Riffel/publication/259639165_Sistema_automatizado_de_testes_de_coletor_solar_plano/links/5696a](https://www.riffel.com.br/publication/259639165_Sistema_automatizado_de_testes_de_coletor_solar_plano/links/5696a)



c6908aea2d743747fd2/Sistema-automatizado-de-testes-de-coletor-solar-plano.pdf. Acesso: 6 out. 2022.

BRANDÃO, B. B. **Coletor concentrador parabólico composto (CPC) como absorvedor V invertido completamente iluminado**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2004. 95 p.

CAMPOS, Mateus. “**Energia Solar**”. Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>. Acesso: 2 nov. 2022.

CHAVIER, Luís Fernando. “**Programação para Arduino – Primeiros passos**”. Disponível em: <https://professor.luzerna.ifc.edu.br/marcelo-cendron/wp-content/uploads/sites/40/2017/03/Programa%25C3%25A7%25C3%25A3o-para-Arduino-Primeiros-Passos-Conceitos-iniciais-de-programa%25C3%25A7%25C3%25A3o-para-Arduino-Projeto-de-eletr%25C3%25B4nica-modular-com-Arduino-Circuitar.pdf>. Acesso: 2 de nov. 2022.

CHONG, ALAIN YEE-LOONG. Predicting m-commerce adoption determinants: A neural network approach. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 2, p. 523-530, 2013.

CREMASCO, Marco Aurélio. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

CUNHA, K. C. B. da; ROCHA, R. V. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. RECoDAF – **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, jul./dec. 2015. ISSN: 2448-045274. Disponível em <https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/13/24>. Acesso: 2 de nov. 2022.

CYRINO, Luis. “**Bombas hidráulicas e suas principais falhas**”; Tractian. Disponível em: <https://tractian.com/blog/bombas-hidraulicas-e-suas-principais-falhas>. Acesso: 7 nov. 2022.

DA PORCIÚNCULA, Cleber B.; BESKOW, Sílvio; MARCON, Daniel Stefani; NOBRE, Jéferson Campos. Constrained Application Protocol (CoAP) no Arduino UNO R3: Uma Análise Prática. In: Workshop Pré-Ietf (WPIETF), 5, 2018, Natal. Disponível em <https://sol.sbc.org.br/index.php/wpiETF/article/view/3212>. Acesso: 2 de nov. 2022.

DWIVEDI, YOGESH K. ET AL. A generalised adoption model for services: A cross-country comparison of mobile health (m-health). **Government Information Quarterly**, v. 33, n. 1, p. 174-187, 2016.

ESA. “**Bombas Hidráulicas**”; Eletrotécnica Santo Amaro. Disponível em: <https://www.esaeletrotecnica.com.br/bombas-hidraulicas.html>. Acesso: 7 de nov. 2022.

EVANS, Martin; NOBLE Joshua; HOCHENBAUM, Jordan. “**Arduino em ação**”. Ln: NOVATEC EDITORA LTDA, 2013. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=tig0CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=arduino+hist%C3%B3ria&ots=mSlvhc1r1I&s>



[ig=_IPUXfyL5LkRbEB5MSNunkK0ias#v=onepage&q=arduino%20hist%C3%B3ria&f=false7.](#)

Acesso: 2 nov. 2022.

FELIPEFLOP, “**Componentes Eletrônicos**”, 2018. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/>.

Acesso: 15 out. 2022.

FREITAS, Wellington A. de. “**Manejo da irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo**” Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/YFWmWdkXbKh4TFcVx3DpYnD/?lang=pt&format=html>.

Acesso: 6 set. 2022.

GALDINO, M. A. E. *et al.* Contexto das energias renováveis no Brasil. **Revista da Direng**, Ilha do Fundão, 2010.

GOMES, Flávio Henrique Ferreira, “**Calibração de um sensor de umidade do solo de baixo custo**”. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Flavio-Henrique-Ferreira-Gomes/publication/318666453_CALIBRACAO_DE_UM_SENSOR_DE_UMIDADE_DO_SOLO_DE_BAI_XO_CUSTO/links/5aec463eaca2727bc003fa1a/CALIBRACAO-DE-UM-SENSOR-DE-UMIDADE-DO-SOLO-DE-BAI_XO-CUSTO.pdf. Acesso: 6 set. 2022.

HUADE, “**O que são bombas de palheta**”; Huade América. Disponível em:

<https://www.huade.com.br/o-que-sao-bombas-de-palhetas/>. Acesso: 6 nov. 2022.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. “**O que é energia?**”; Brasil Escola. Disponível em:

<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-energia.htm>. Acesso: 3 nov. 2022.

LAMBERT, José Antonio *et al.* “**Geração de energia elétrica por meio de placas solares fotovoltaicas**”. Disponível em:

<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/12126>. Acesso: 6 out. 2022.

LTSI. “**Arduino**”. Disponível em

<https://sites.usp.br/ltsi/introducao/#:~:text=O%20Arduino%20%C3%A9%20uma%20plataforma,a%20eletr%C3%B4nica%20b%C3%A9sica%20e%20programa%C3%A7%C3%A3o.> Acesso: 2 nov. 2022.

NATIVO, M. O. **Estudo da percepção de alunos de uma escola pública de ensino fundamental sobre o uso racional de energia elétrica e suas formas alternativas.**

NETTO, José. “**Pequenas histórias das bombas hidráulicas**”. Disponível em:

http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_154_n_66.pdf. Acesso: 6 nov. 2022.

NOVAIS, Stéfano Araújo. “**Lei de Lavoisier**”; Brasil Escola. Disponível em:

<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/lei-lavoisier.htm>. Acesso: 3 nov. 2022.

OLIVEIRA, Felipe Segismundo. “**Readequação da prática de laboratório de engenharia química: Associação de bombas**”. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20557/3/Readequa%C3%A7%C3%A3oPr%C3%A9ticaLaborat%C3%B3rio.pdf>. Acesso: 8 nov. 2022.



PUMPSBOOK. “**Bomba, uma das invenções mais antigas da humanidade...**”; Pumpsbook.com. Disponível em: <https://pumpsbook.wordpress.com/2015/07/07/bombas-uma-das-invencoes-mais-antigas-da-humanidade/>. Acesso: 5 nov. 2022.

QUINTINO, Eduardo de Castro. “**O que é IDE Arduino**”. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-ide-arduino/>. Acesso: 2 nov. 2022.

REBECHI, S. H. **O potencial da geração solar fotovoltaica conectada ao sistema de distribuição urbano: estudo de caso para um alimentador com pico de carga diurno**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC Núcleo de Pesquisa em Construção Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008. 100 p.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integradas às edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública do Brasil**. Editora UFSC/LABSOLAR, Florianópolis, 2004. 114 p.

SALVINO, Laís Régis *et al.* - Bombeamento direto automatizado através de redes neurais artificiais visando o aumento da eficiência energética. *In: Congresso ABES, 11., 2017, João Pessoa.*

FENASAN. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/06/XI-098.pdf>. Acesso: 6 out. 2022.

SANTOS, W. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para representação analítica de curvas características de bombas hidráulicas, visando sua seleção, seu dimensionamento e a simulação de sua operação**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 38-56

SILVA, Magno Charles da. **Automatização dos grupos geradores da Estação de Bombas VI da unidade de Germano da Samarco Mineração**. Disponível em: <https://200.239.128.125/handle/35400000/639>. Acesso: 6 out. 2022.

SOUSA, T. L.; ZAMPERIN, J. L. B. Análise e dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid em um food truck. **Revista Engenharia em Ação**. UniToledo. Araçatuba, SP, v. 2, n. 1, p. 119-135, jan./ago. 2017.

ZANETTI, Humberto. “**IDE Arduino com melhorias**”. Disponível em <https://blog.fazedores.com/ide-arduino-com-melhorias/>. Acesso: 2 nov. 2022.