

MANDALA SUSTENTÁVEL: UM CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE

Sustainable mandala: a path to sustainability

Maria Yara Galdino da Silva¹
Thais Emanuele Sousa Almeida²
Francisco Dian de Oliveira Ferreira²

RESUMO

O objetivo deste estudo é implementar um sistema automatizado de irrigação em hortas orgânicas, visando reduzir o desperdício de água e aprimorar as práticas agrícolas na agricultura camponesa. A falta de recursos tecnológicos no meio rural dificulta a obtenção de parâmetros essenciais para otimizar a irrigação, resultando em um manejo ineficiente da água [Rebouças, 2003]. Este sistema será implantado em uma mandala na Escola de Ensino Médio do Campo Francisca Pinto dos Santos, localizada no município de Ocara, Ceará, com o intuito de criar um ambiente educacional que combine práticas agroecológicas e tecnologias inovadoras. Embora a água seja abundante no Brasil, ela é mal gerida, levando a desperdícios significativos [Rebouças, 2003], o que impacta diretamente a agricultura familiar e camponesa. A pesquisa, fundamentada em abordagens sobre tecnologias sustentáveis e gestão hídrica [Buainain et al., 2002], propõe o uso de inovações tecnológicas para melhorar a eficiência no uso da água. Em resumo, o sistema de irrigação eletrônico, aliado à mandala sustentável, oferece uma solução de baixo custo e alta eficiência. Essa combinação de inovação tecnológica com práticas ecológicas representa uma alternativa eficaz para a agricultura camponesa, promovendo a gestão responsável da água no cultivo de hortaliças. Foram observadas melhorias para o protótipo, as quais poderão ser adicionadas ao projeto em trabalhos futuros.

ABSTRACT

This study aims to develop and implement an automated irrigation system for organic gardens, with the goal of reducing water waste and enhancing agricultural practices in small-scale farming. Limited access to technological resources in rural areas often hampers efficient water management, leading to excessive consumption and lower productivity. The project will be carried out in a mandala garden at Francisca Pinto dos Santos Rural High School in Ocara, Ceará, Brazil, creating an educational environment that integrates agroecological methods with innovative technology. Grounded in sustainable technology and water management principles, the research seeks to improve irrigation efficiency through low-cost electronic solutions. Initial results suggest that the system effectively conserves water while supporting healthy vegetable cultivation. This combination of technology and ecological practice offers a promising model for sustainable agriculture in rural communities. Additionally, the project serves as an important educational tool, fostering greater awareness among students about responsible natural resource management and sustainability.

Keywords: Agriculture. Sustainability. Education

1. Licenciado em Química pela Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central (FECLESC), professor estadual de Química na EEM Francisca Pinto dos Santos, Crede 8, Ocara - Ceará. ORCID: 0009-0000-0140-913X.

2. Discente do 2º ano do Ensino Médio, EEM Francisca Pinto dos Santos, Crede 8, Ocara-CE.

Espera-se que, ao final, a utilização desse modelo contribua para uma maior compreensão dos estudantes sobre a importância da sustentabilidade e a gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Agricultura. Sustentabilidade. Educação.

1 INTRODUÇÃO

No setor agrícola, as novas tecnologias têm o potencial de aumentar a qualidade e a produtividade das culturas [Litjens *et al.*, 2009; Vicente, 2002]. No entanto, na agricultura camponesa, as atividades agrícolas ainda dependem predominantemente da mão de obra humana. Isso se deve ao alto custo das tecnologias disponíveis no mercado e à falta de conhecimento ou orientação técnica por parte do pequeno agricultor [Buainain; Souza Filho; Silveira, 2002; Souza Filho *et al.*, 2011].

Como resultado, alguns processos na agricultura camponesa enfrentam limitações operacionais [Souza Filho, 2001]. Um dos maiores desafios enfrentados está relacionado à irrigação, já que muitos produtores não dispõem de meios para controlar de forma precisa a quantidade de água utilizada, o que pode gerar desperdício ou, em casos de déficit, queda na produtividade das culturas [Pimentel, 2004; Rebouças, 2003; Lima; Ferreira; Christofidis, 1999].

Nesse contexto, identifica-se a necessidade de soluções tecnológicas acessíveis que otimizem o uso da água e melhorem a eficiência do manejo hídrico na agricultura camponesa, especialmente em sistemas de cultivo orgânico. Assim, este projeto tem como objetivo geral desenvolver e implementar um sistema automatizado de irrigação em uma mandala com hortas orgânicas, com foco no uso racional da água e no fortalecimento de práticas agrícolas sustentáveis e agroecológicas.

As mandalas, por sua vez, são estruturas circulares que simbolizam a integração e a harmonia entre os elementos que as compõem. A implementação de mandalas nos sistemas agrícolas fortalece práticas sustentáveis, ao incentivar a rotação de culturas, o uso racional da água e a preservação do solo, criando, assim, um ambiente propício ao desenvolvimento de hortas orgânicas. Logo, as mandalas não só favorecem a sustentabilidade ambiental, mas também contribuem para uma agricultura mais resiliente e produtiva.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No Brasil, a agricultura é o setor que mais consome água potável, sendo também o maior responsável pelo desperdício desse recurso. Dados do Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) indicam

que a agropecuária responde por 60% do consumo de água no país, com metade desse volume sendo desperdiçada durante o processo de cultivo (FAO, 2020). Entre os principais fatores que contribuem para esse desperdício estão a irrigação ineficiente e a falta de controle adequado no uso da água (Souza, 2008; Silva, 2017).

No que diz respeito às plantas, estas dependem da água para o bom desempenho de suas funções metabólicas, absorvendo-a do solo através das raízes, com uma pequena fração sendo incorporada ao seu corpo (Pimentel, 2004). Caso essa necessidade não seja atendida de maneira adequada, as plantas podem enfrentar sérios problemas, especialmente no que tange ao seu crescimento (Pimentel, 2004). Nesse contexto, os sistemas de irrigação são essenciais para assegurar a produtividade das culturas. A irrigação inadequada, portanto, pode causar prejuízos significativos às safras, comprometendo a produtividade e impactando diretamente a renda dos agricultores (Rebouças, 2003).

Outro ponto relevante refere-se aos impactos ambientais do uso ineficiente dos recursos hídricos na irrigação (Lima; Ferreira; Christofidis, 1999). O desperdício de água é, de fato, um dos maiores desafios enfrentados nos processos de irrigação (Lima; Ferreira; Christofidis, 1999). Caso a água utilizada nestes sistemas fosse melhor aproveitada, seria possível economizar mais de 20% do total de água aplicada na agricultura (Coelho; Coelho Filho; Oliveira, 2005).

A mandala, originária de tradições espirituais e culturais, simboliza a totalidade, a integração e o equilíbrio dos elementos dentro de um espaço delimitado (Souza, 2008). Além disso, o design da mandala favorece a biodiversidade e a rotação de culturas, reduzindo a necessidade de insumos externos e o surgimento de pragas (Alípio *et al.*, 2015). Esse modelo não apenas aumenta a produtividade, mas também contribui para a conservação dos recursos naturais e a saúde do solo, alinhando-se com as práticas agrícolas sustentáveis e orgânicas (Ferreira *et al.*, 2018).

A irrigação por gotejamento foi escolhida por sua alta eficiência, pois permite a irrigação localizada diretamente na zona radicular das plantas, reduzindo o desperdício de água, energia e mão de obra. A técnica opera com baixa pressão, proporcionando uma aplicação eficiente da água através de tubos, enquanto minimiza a umedecção da folhagem e do caule (Coelho *et al.*, 2005).

O *Arduino UNO* é um microcontrolador de código aberto amplamente utilizado em projetos de automação e prototipagem eletrônica. Sua interface acessível permite a programação de sistemas embarcados para o controle de sensores e atuadores em diversas aplicações, incluindo a automação da irrigação.

Devido à sua flexibilidade e baixo custo, o Arduino tem se destacado como uma ferramenta essencial para projetos educacionais e de inovação tecnológica, sendo aplicado no desenvolvimento de sistemas automatizados de irrigação para otimizar o uso da água na agricultura (Ferreira *et al.*, 2016).

Portanto, a adoção de práticas sustentáveis, como a irrigação eficiente, o modelo de mandala e outras estratégias que otimizem o uso dos recursos naturais, é essencial para reduzir desperdícios, aumentar a produtividade agrícola e garantir o uso responsável dos recursos hídricos, contribuindo para a sustentabilidade do setor.

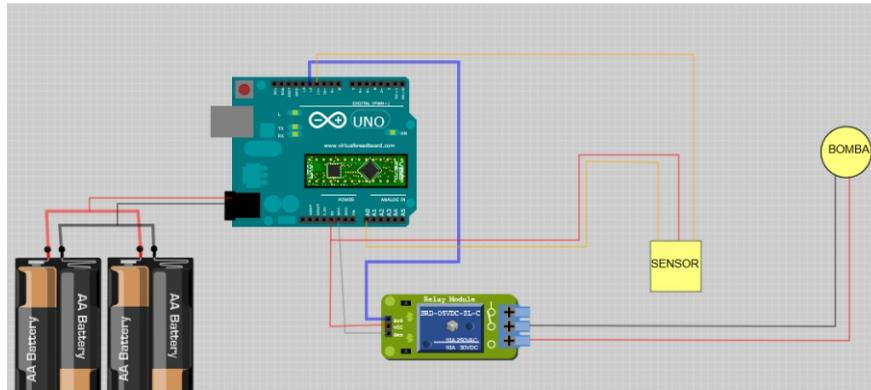
3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem mista (qualitativa e quantitativa), com objetivo exploratório e experimental, pois visa compreender e testar a eficiência de um sistema automatizado de irrigação em um ambiente agrícola real. O projeto foi desenvolvido com base no uso do microcontrolador Arduino UNO, que tem a função de processar os dados coletados pelo sensor de umidade do solo. Este sensor foi construído de forma caseira, utilizando dois fios de cobre, aproveitando os princípios de resistência elétrica estudados nas aulas de Física.

O sistema será instalado na mandala da Escola de Ensino Médio (E.E.M) Francisca Pinto dos Santos, que contém diversas hortas interligadas, fornecendo um ambiente controlado e diversificado para testar o sistema. O desenvolvimento do projeto será estruturado em três etapas: 1) Estudo da horta, que incluirá a coleta de dados sobre as condições ambientais, como temperatura, luminosidade, umidade e temperatura do solo; 2) Programação do Arduino UNO, que envolve a criação da lógica de controle para monitorar as variáveis do solo e ativar o sistema de irrigação quando necessário; 3) Instalação e testes do sistema na horta, a fim de validar sua eficiência, garantindo o funcionamento adequado no ambiente real. Após a validação do protótipo, o sistema será disponibilizado para pequenos agricultores da região, com o intuito de expandir os benefícios dessa tecnologia inovadora e sustentável.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

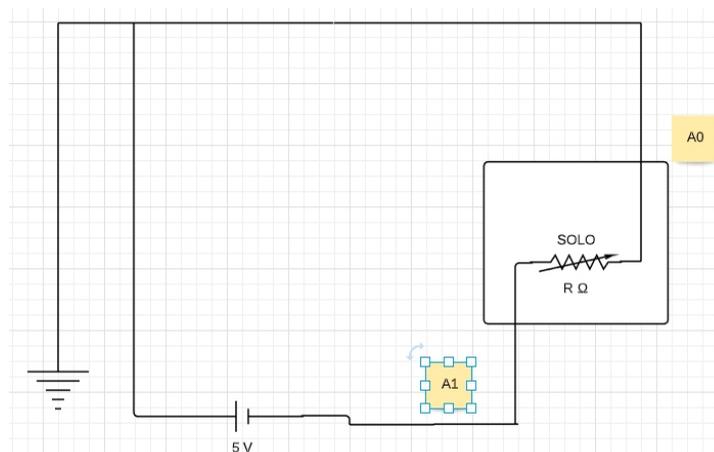
No laboratório de Física da Escola de Ensino Médio Francisca Pinto dos Santos, foi desenvolvido um protótipo de sistema de irrigação automatizado utilizando uma placa Arduino UNO. O sistema conta com um sensor de umidade do solo, responsável por monitorar os níveis de umidade, e um módulo relé, que controla a válvula solenoide – um dispositivo semelhante a uma torneira elétrica. O funcionamento baseia-se na leitura da umidade do solo: quando detectado um nível baixo, a válvula solenoide é acionada para liberar a irrigação; ao atingir um nível adequado, a irrigação é interrompida ao desativar o solenoide. Para simular o controle da válvula, utilizou-se uma mini bomba (Figura 1), permitindo testar o sistema antes de sua implementação no campo.

Figura 1 – Esquema do Protótipo do Sistema de Irrigação.

Fonte: Elaborado pelo autor no Tinkercad (2024).

Com o objetivo de reduzir custos, foi desenvolvido um sensor de umidade do solo alternativo, utilizando materiais acessíveis e de baixo custo. O dispositivo é composto por dois fios de cobre fixados em uma haste de madeira, o que garante estabilidade e facilita sua inserção no solo. Seu princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica do solo de acordo com seu nível de umidade, permitindo uma leitura eficiente e de fácil implementação. Um dos fios [A0] emite corrente elétrica para o solo, enquanto o outro [A1] recebe essa corrente.

As portas A0 e A1 vistas na figura 2 correspondem às entradas analógicas do *Arduino, UNO* que permite a leitura da variação de tensão entre 0 e 5 volts, de acordo com a quantidade de corrente elétrica conduzida pelo solo. Nesse sentido, os solos úmidos facilitam a passagem da corrente elétrica, resultando em uma tensão mais elevada na porta A1, enquanto solos secos apresentam maior resistência elétrica, reduzindo a tensão recebida [Eustáquio et al., 2019]. O protótipo demonstrou que o sensor é funcional e sensível a pequenas variações na umidade do solo, possibilitando seu uso em sistemas de irrigação automatizados de baixo custo.

Figura 2 – Circuito do Sensor de Umidade de Solo.

Fonte: Elaborado pelo autor no Lucidchart (2024).

A programação do Arduino foi realizada utilizando a sua própria IDE (*Integrated Development Environment*), um ambiente completo que permite a escrita, compilação e upload do código diretamente para o microcontrolador (Bolton, 2019; Rodrigues *et al.*, 2012). A lógica de programação desenvolvida foi especificamente projetada para monitorar continuamente a umidade do solo por meio do sensor caseiro, ativando automaticamente o sistema de irrigação quando os níveis de umidade estiverem abaixo do limite estabelecido. Esse controle automatizado visa otimizar o uso da água, evitando desperdícios e garantindo condições ideais para o desenvolvimento das plantas.

Além das funcionalidades atuais, o projeto contempla a implementação futura de novos recursos que ampliem o monitoramento ambiental, como a inclusão de sensores adicionais para medir temperatura, luminosidade e outros parâmetros relevantes para o manejo agrícola. Essa expansão permitirá um controle mais preciso e adaptativo da irrigação, alinhando-se às condições climáticas e às necessidades específicas das culturas. Dessa forma, o sistema poderá evoluir para uma plataforma mais robusta e inteligente, oferecendo maior eficiência e suporte para os agricultores familiares, promovendo a sustentabilidade e a inovação tecnológica no campo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da identificação das dificuldades enfrentadas pela agricultura camponesa no que diz respeito ao controle eficiente da irrigação – sobretudo pela ausência de tecnologias acessíveis – este projeto teve como objetivo desenvolver um sistema automatizado de irrigação, de baixo custo, integrado a uma mandala agroecológica, com foco na sustentabilidade e na gestão racional da água.

Diante disso, o protótipo desenvolvido para o sistema de irrigação eletrônico foi projetado para monitorar a umidade do solo e aplicar água automaticamente, garantindo o uso eficiente dos recursos hídricos. Para reduzir os custos, foi criado um sensor alternativo de umidade, feito com materiais acessíveis e de baixo custo, o que torna o sistema viável para pequenos produtores.

Esse sistema foi integrado a uma mandala sustentável, que, com seu design circular e concêntrico, favorece a distribuição eficiente de água e nutrientes. Ao aplicar o sistema de irrigação dentro desse modelo, potencializamos os benefícios da mandala, otimizando o uso da água, reduzindo desperdícios e alinhando a prática com os princípios da agricultura sustentável.

Em resumo, o sistema de irrigação eletrônico, aliado à mandala sustentável, oferece uma solução de baixo custo e alta eficiência. Essa combinação de inovação tecnológica com práticas ecológicas representa uma alternativa eficaz para a agricultura camponesa, promovendo a gestão responsável da água no cultivo de hortaliças.

Durante a execução do projeto, foram identificadas diversas possibilidades de melhorias no protótipo, as quais poderão ser implementadas em trabalhos futuros para potencializar ainda mais sua eficiência e aplicabilidade. Entre essas melhorias, destaca-se a implementação de notificações via dispositivos móveis, permitindo que o agricultor seja alertado quando a planta necessite de irrigação.

Além disso, propõe-se o aprimoramento da lógica de programação do sistema, de modo a tornar a irrigação ainda mais precisa e eficiente. A adição de sensores de luminosidade e temperatura também é considerada uma melhoria relevante, pois pode contribuir para uma análise mais completa da evapotranspiração das plantas.

Outra sugestão é a redução do tamanho físico do protótipo, tornando-o mais compacto e prático para o uso em diferentes contextos agrícolas. Por fim, propõe-se a integração de fontes de energia renovável, como a solar ou a eólica, visando uma alimentação elétrica autônoma e sustentável para o sistema.

REFERÊNCIAS

ALÍPIO, Maria Aparecida de Sousa *et al.* **O sistema de produção de mandalas foi implantado no Assentamento Acauã no Município de Aparecida-PB.** 2015.

BOLTON, David. **Definition of IDE.** Disponível em: <http://cplus.about.com/od/glossar1/g/idedefinition.htm>. Acesso em: 11 de agosto 2019.

BUAINAIN, A. M.; SOUZA FILHO, H. M.; SILVEIRA, J. M. da. Agricultura familiar e condicionantes da adoção de tecnologias agrícolas. In: **Inovação nas tradições da agricultura familiar.** Brasília: CNPq/Paralelo, 2002.

COELHO, Eugênio Ferreira; COELHO FILHO, Maurício Antônio; OLIVEIRA, S. L. de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.

EUSTAQUIO, JFLL *et al.* **Construção e desenvolvimento de um sensor de umidade de solos utilizando Arduino.** Jaboatão/PE: Fundação Bradesco, 2016.

FAO. **Relatório sobre consumo e desperdício de água na agricultura.** Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-e-ibge-lancam-levantamento-sobre-uso-da-agua-na-agricultura-de-sequeiro-no-brasil-1>> Acesso em: 20 mar. 2024.

FERREIRA, Bruna Oliveira *et al.* **Irrigação automatizada com plataforma Arduino em casa de vegetação na Universidade Federal Rural da Amazônia.** In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC). 2016. p. 1-5.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, Raquel Scalia Alves; CHRISTOFIDIS, Demetrius. O uso da irrigação no Brasil: O estado das águas no Brasil. **Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica**, v. 1, 1999.

LITJENS, Otto Jacob *et al.* **Automação de estufas agrícolas utilizando sensoriamento remoto e o protocolo Zigbee.** 2009. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

LUCIDCHART. **Lucidchart.** Disponível em: <https://www.lucidchart.com/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

PIMENTEL, David *et al.* Water resources: agricultural and environmental issues. **BioScience**, v. 54, n. 10, p. 909-918, 2004.

REBOUÇAS, Aldo da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia análise dados**, v. 13, p. 341-345, 2003.

RODRIGUES, Lucas; SARTORI, Eliseu; GOUVEIA, Bruno. **Introdução ao Arduino**. Mato Grosso do Sul: Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2012. 25 p.

RODRIGUES, P. S. Lobo; MENEZES, P. L. de. Construção de protótipo alternativo para aferição do teor de água no solo. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4., 2017, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: INOVAGRI, 2017. Disponível em: <https://www.inovagri.org.br>. Acesso em: 9 jun. 2022.

SOUZA, J. L. Produção agroecológica sustentável. Mais de mil pequenas áreas familiares em forma de círculo movimentam economias locais. **Desafios do Desenvolvimento**, n. 40, 2008.

SOUZA FILHO, H. M. de. Desenvolvimento agrícola sustentável. **Gestão agroindustrial**, v. 2, p. 586-627, 2001.

TINKERCAD. **Tinkercad**. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em: 20 de março de 2024.

VICENTE, José Roberto. **Pesquisa, adoção de tecnologia e eficiência na produção agrícola**. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, 2002.