



PROPOSTA DE MAXIMIZAÇÃO DA DURABILIDADE DAS HASTES DE SENSORES RESISTIVOS DE UMIDADE DO SOLO DE BAIXO CUSTO

José Augusto de Lima Melo *¹ e Carlos Renato Borges dos Santos.¹

¹NPEA - Instituto Federal do Triângulo Mineiro, *campus* Paracatu

Resumo - Com o avanço da tecnologia na agricultura, o uso de sensores de umidade do solo é indispensável. Para que este avanço seja feito, utiliza-se de forma crescente as placas microcontroladas. Visando o estudo de tais placas, este artigo averiguou a aplicabilidade do microcontrolador ESP32, controlando o processo de medição de sensores de umidade do solo de baixo custo, de forma a aumentar sua durabilidade. Para isso, foram utilizadas dois conjuntos de hastes, uma energizada em período contínuo, de forma em que os sensores normalmente são mais utilizados, e para efeito de comparação outra que é energizada apenas no momento da medição. O protótipo foi testado cento e quarenta horas consecutivas para verificar o processo de corrosão das hastes dos sensores. Para o armazenamento dos dados foi utilizada uma memória EEPROM 24C256, e para publicação em tempo real dos resultados foi utilizado o protocolo ESP-NOW. Como resultado, mostrou-se uma menor corrosão nas hastes do sensor energizados apenas no momento da medição.

Palavras-Chave - ESP32 Resistivo, Sensor, Solo, Umidade.

PROPOSAL FOR MAXIMIZING THE DURABILITY OF RODS FROM BOTTOM SOIL MOISTURE RESISTIVE SENSORS COST

Abstract - With the advancement of technology in agriculture, the use of soil moisture sensors is essential. For this advancement to be made, microcontrolled boards are increasingly used. Aiming to study such boards, this article investigated the applicability of the ESP32 microcontroller, controlling the measurement process of low-cost soil moisture sensors, in order to increase their durability. For this, two sets of rods were used, one energized continuously, in a way in which sensors are normally used more, and for comparison purposes another that is energized only at the time of measurement. The prototype was tested for one hundred and forty consecutive hours to verify the corrosion process of the sensor rods. A 24C256 EEPROM memory was used to store the data, and the ESP-NOW protocol was used to publish the results in real time. As a result,

less corrosion was shown on the sensor rods energized only at the time of measurement.

Keywords - ESP32, Resistive, Sensor, Soil, Humidity.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas automatizados de irrigação são os mais confiáveis e que apresentam melhor resultado, pois apresentam grande durabilidade e confiabilidade, devido a esses sistemas terem um controle mais refinado em relação ao controle de um operador [1]. Para a montagem desse sistema é necessário o uso de um microcontrolador, sendo um dos mais usados o ESP32, por ser de baixo custo e possuir diversos recursos.

O ESP32 é utilizado para a montagem de circuitos eletrônicos. Existem várias plataformas para programá-lo, sendo a mais conhecida a IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino [2]. Devido às várias interfaces de programação, também há várias linguagens de comunicação para o ESP32, sendo a mais utilizada a linguagem C++.

Pertinente à superioridade de processamento de *hardware* do ESP32 e ESP8266 ser superior, quando comparado ao Arduino Uno, por isso os primeiros são mais utilizados em protótipos mais sofisticados, em especial os sistemas embarcados [1, 2].

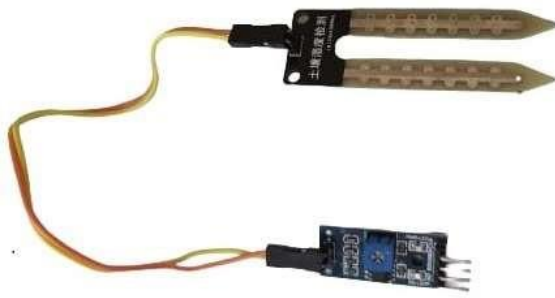
Seguindo nessa linha de raciocínio, no trabalho de [3] é construído um sistema de irrigação automatizado fundamentado em IoT, no qual o ESP32 coleta os dados dos sensores e se comunica a partir do protocolo MQTT. Isso mostra a grande aplicabilidade dessa plataforma de prototipagem em trabalhos mais complexos.

Já no trabalho de [4] é feito um protótipo de um sistema de irrigação automatizado de baixo custo, na cultura de morangos. Este trabalho usa vários sensores, entre eles o de umidade do solo, como o demonstrado na Figura 1. Todavia, assim como na maioria nos trabalhos encontrados, não são relatadas pesquisas sobre a durabilidade dos sensores, abrindo uma

*jose.melo@estudante.iftm.edu.br

oportunidade de estudo nessa área.

Figura 1: Sensor resistivo de baixo custo. Fonte: Autores (2023).



Sobre trabalhos visando o estudo de sensores de umidade do solo, o trabalho de [5] faz uma análise entre o sensor da Figura 1 e o sensor capacitivo de umidade de solo, onde concluiu-se que os dois apresentaram confiabilidade na leitura, mas no aspecto durabilidade, o sensor capacitivo mostrou-se mais vantajoso.

O trabalho de [6] também faz uma análise parecida com a de [5], mas destacou a corrosão ocorrida no sensor mostrado na Figura 1.

O trabalho de [7] objetivou o desenvolvimento de um sistema de controle de umidade do solo automatizado, onde foram usados sensores iguais aos da Figura 1, onde foi relatada forte oxidação das hastes dos sensores e variação brusca nos dados lidos, após o sexto dia de uso.

Os principais materiais de estudo para a realização deste trabalho foram apresentados, onde destacaram a necessidade de uma proposta que maximizase a durabilidade das hastes dos sensores de umidade do solo de baixo custo utilizadas, predominantemente, em sistemas de irrigação residenciais.

Observando o prazo de seis dias, observado por [7], o presente trabalho visa verificar se pode ser reduzida a degradação do sensor observado na Figura 1, modificando-se a forma de acionamento, uma vez que a hipótese de que a degradação desse tipo de sensor seja galvânica, ou seja, ser um tipo de degradação provocada pela polarização das hastes para a medição da resistência do solo. Dessa forma, seis dias podem ser suficientes para comparar qual das formas de acionamento reduzirá a degradação da haste, aumentando-se sua durabilidade.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foi feita uma placa de circuito impresso (PCI), oriunda do *layout* do esquemático mostrado na Figura 2, que foi desenvolvido com o auxílio do *software* EasyEDA.

Uma vez realizada essa etapa, foi desenvolvido o PCI, em que os componentes a serem soldados na placa podem ser vis-

tos na Figura 3.

Figura 2: Esquemático de conexões da placa. Fonte: Autores (2023).

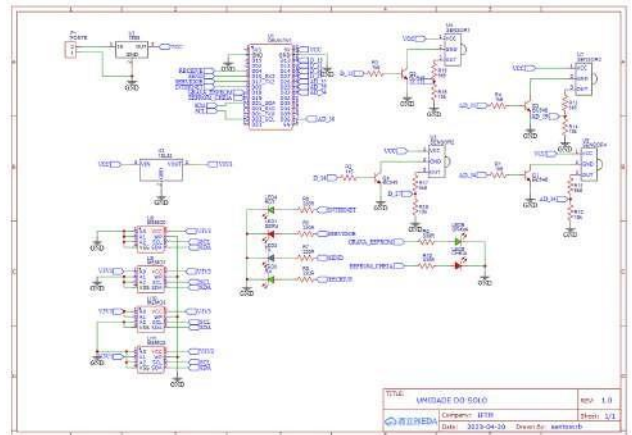
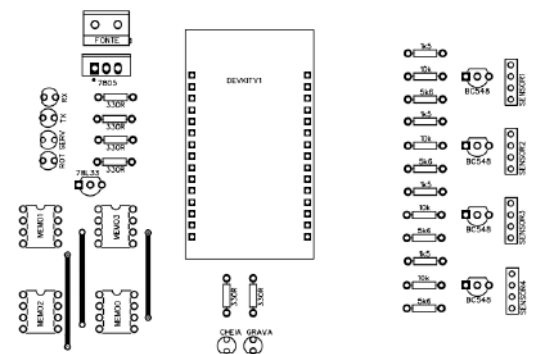


Figura 3: Componentes eletrônicos do trabalho. Fonte: Autores (2023).



Os materiais utilizados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Componentes eletrônicos utilizados. Fonte: Autores (2023).

Componente	Quantidade
Conector 2 vias	1
LM7805	1
LED	6
Resistor de 330R	6
Resistor de 1k5	4
Resistor de 5k6	4
Resistor de 10k	4
TBJ BC548	4
78L33	1
24C256	1
Sensor resistivo	4
ESP32	2

No trabalho de [8] é mostrado que o tamanho da amostra de solo influencia na curva de retenção de umidade do solo. A partir disso, foi montado um procedimento experimental, contando com dois recipientes, ambos com o mesmo tipo e quantidade de solo. O primeiro recipiente destinou-se ao teste utilizando-se o sensor energizado durante um período contínuo de tempo por 140 horas, enquanto o outro utilizou um sensor energizado somente no momento da leitura da umidade, ao longo das mesmas 140 horas.

A Figura 4 mostra tal cenário de teste, com duas garrafas

PET de 2 litros e com 1 litro de areia, cada.

Figura 4: Protótipo em funcionamento.



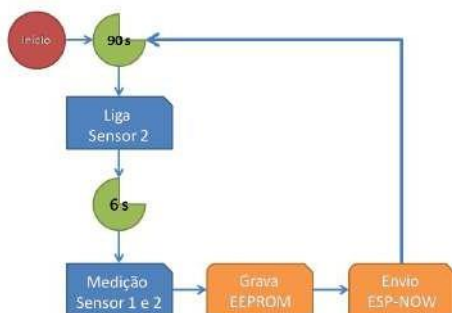
Partiu-se do pressuposto que o solo inicialmente estivesse seco, onde foi adicionado a mesma quantidade de água em cada recipiente, no mesmo horário. Os dados de umidade eram lidos a cada 96 segundos, onde o sensor energizado em período contínuo, foi energizado durante todo o tempo do experimento, já o sensor energizado somente no momento da leitura da umidade, ficou desenergizado por 90 segundos e energizado por 6 segundos para a realização da leitura. Os dados foram armazenados na memória EEPROM 24C256, totalizando 4050 amostras, de tal forma que coubesse na memória os valores medidos.

Para visualização de dados em tempo real, foi utilizado o protocolo ESP-NOW, no qual o ESP32 da placa envia os dados a um ESP32 conectado a um computador com o Arduino IDE aberto, em que os dados são impressos no *Monitor Serial*. Dessa forma, pode-se verificar o funcionamento do experimento em tempo real, além de obter um sistema de redundância de dados, pois o tempo do experimento é demasiado grande, evitando-se perda de tempo, em caso do experimento estiver com algum problema.

O tempo estimado de 96 segundos entre as medições foi determinado empiricamente, pois evitou medidas desnecessárias sem perder precisão. A necessidade de manter o sensor de umidade ligado por 6 segundos foi necessário para estabilizar a medição, uma vez que medindo-se logo após sua energização permitiu leituras incorretas.

A Figura 5 apresenta o fluxograma de funcionamento do experimento.

Figura 5: Fluxograma do experimento.



O circuito eletrônico do trabalho finalizado é mostrado na Figura 6.

Figura 6: Circuito eletrônico do trabalho. Fonte: Autores (2023).



III. RESULTADOS

A seguir são mostrados os resultados encontrados após 140 horas de medição. São mostrados os gráficos do experimento e imagens das hastes após suas utilizações.

Inicialmente o solo encontrava-se seco com o valor de umidade do solo em escala AD (Analogico-Digital) de 2106 para o sensor energizado em período de tempo contínuo, já para o sensor energizado em período de tempo não contínuo apresentou o valor de 2112, onde foi adicionado água, correspondente ao momento em que foram lidas as amostras 729 e 1041, instantes esses em que a medição alterou-se significativamente, conforme as figuras 7 e 8, onde essas imagens representam os gráficos dos dados lidos pelos sensores, nos quais apresentam o valor de umidade do solo, ao passo que a Figura 9 representa um comparativo entre esses dois gráficos.

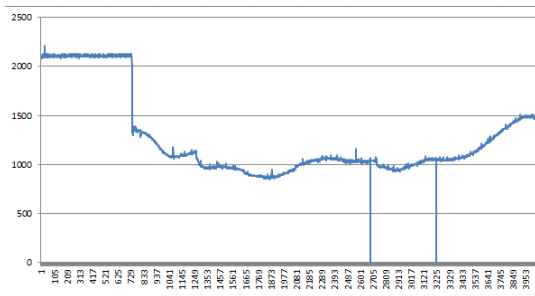
A. Dados do experimento

O experimento durou quase 6 dias consecutivos, com os dados sendo armazenados por uma memória EEPROM 24C256, de 32 kB. Por redundância e para verificação do experimento em tempo real, outra forma de obtenção dos dados que pôde ser usada com este protótipo, por meio da utilização do protocolo ESP-NOW, onde é feita a comunicação *unicast*, sendo o ESP32 da placa o transmissor que envia as amostras para o ESP32 receptor, que está conectado ao computador, e a partir dessa configuração é possível coletar estes dados no monitor serial do Arduino IDE.

Foram realizadas 4050 amostras. A Figura 7 mostra os dados de umidade do solo para a medição de 140 horas do sensor de umidade resistivo de baixo custo, que ficou energizado em

período de tempo contínuo por todos estes dias.

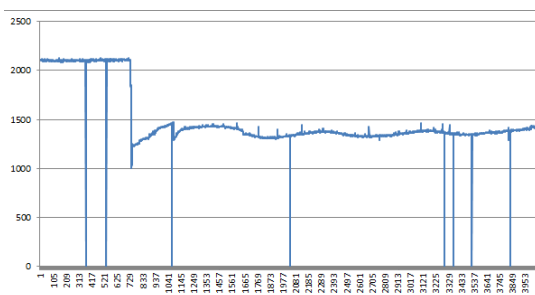
Figura 7: Gráfico dos dados de umidade do solo para o sensor energizado em período de tempo contínuo. Fonte: Autores (2023).



Na Figura 7 pode-se observar que, no eixo das ordenadas, tem-se os valores lidos pelo sensor, já convertidos pelo conversor AD do pino determinado para a aquisição de dados do microcontrolador ESP32, e no eixo das abscissas temos o número de amostras, podendo-se observar que até por volta da amostra 740, quando não havia sido feita a irrigação do sistema, as leituras apresentaram comportamento estável, mas após isso, houve grandes variações nos dados lidos, principalmente após a amostra 3600. Algumas amostras demonstraram ser errôneas, por isso foram consideradas com o valor 0, para a escala do gráfico não ser alterada. Esses erros podem ter ocorrido durante o armazenamento do dado na memória EEPROM, pois apresentaram um valor que não é condizente com a faixa de valores do módulo do sensor. Além disso, nenhuma leitura enviada por ESP-NOW apresentou os mesmos valores discrepantes, sendo, dessa forma, passível de uma investigação sobre o acontecido.

Já a Figura 8 mostra os resultados da medição de 140 horas do sensor de umidade do solo resistivo de baixo custo, que ficou energizado somente no momento da leitura da umidade por todos esses dias.

Figura 8: Gráfico dos dados de umidade do solo para o sensor energizado somente no momento da leitura da umidade. Fonte: Autores (2023).



As variáveis dos eixos da Figura 8 são as mesmas da Figura 7. Pode-se observar que na Figura 8 houve uma maior estabilidade nos dados lidos, tanto antes quanto depois da irrigação, apresentando maior variação entre as amostras 740 a 1020. Em algumas amostras também houve a leitura errada dos dados e eles foram considerados com o valor 0, da mesma forma constatada nos dados da Figura 7. Da mesma forma que no caso anterior, supõe-se que houve erro na gravação dos dados, e com este erro acontecendo em mais amostras em relação ao sensor energizado somente no momento da leitura da umidade.

Para melhor análise dos dados, foram comparados os dados dos sensores de forma conjunta, conforme a Figura 9, onde o gráfico em vermelho é do sensor energizado somente na leitura da umidade e o azul representa o sensor energizado em período contínuo. Já para uma análise estatística foram realizados os cálculos, conforme a Tabela 2, onde o sensor 1 é o sensor energizado em período contínuo e o sensor 2 é o sensor energizado somente na leitura da umidade.

Figura 9: Gráfico dos dados de umidade do solo dos dois sensores do experimento. Fonte: Autores (2023).

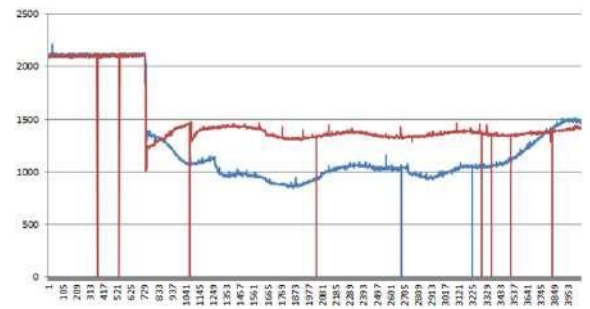


Tabela 2: Dados estatísticos do experimento. Fonte: Autores (2023).

	Sensor 1	Sensor 2
Média	1269,36	1499,38
Desvio padrão	422,98	288,06
Coefficiente de variação (%)	33,32	19,21

B. Situação dos sensores

Após ocorrido as 140 horas do experimento foi verificada a situação dos sensores, a Figura 10 e a Figura 11 demonstra o estado do sensor energizado em período contínuo, onde é perceptível a corrosão sofrida por ele.

Figura 10: Corrosão no sensor energizado em período contínuo (visão frontal). Fonte: Autores (2023).



Figura 11: Corrosão no sensor energizado em período contínuo (visão traseira). Fonte: Autores (2023).



Conforme todo o material estudado, essa corrosão já era esperada, para mitigá-la o outro sensor foi energizado somente no momento da leitura da umidade. As figuras 12 e 13 mos-

tram como este sensor ficou após o experimento.

Figura 12: Corrosão do sensor energizado somente no momento da leitura da umidade (visão frontal). Fonte: Autores (2023).

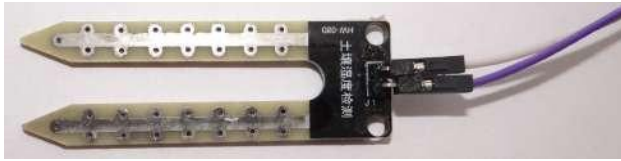


Figura 13: Corrosão do sensor energizado somente no momento da leitura da umidade (visão frontal). Fonte: Autores (2023).



Nota-se que nas figuras 12 e 13, o sensor sofreu consideravelmente menos a corrosão em relação ao sensor das figuras 10 e 11, como o sensor energizado somente no momento da leitura da umidade ficou desligado a maior parte do tempo. A transferência de elétrons dos metais das hastes com o solo foi menor, ocasionando assim uma corrosão galvânica consideravelmente menor [9].

IV. CONCLUSÕES

Antes do experimento, supunha-se que a haste funcionando de forma contínua poderia apresentar uma maior confiabilidade nos dados. Entretanto, ao verificar a Figura 9 é possível afirmar que o sensor energizado em período contínuo apresentou menor confiabilidade nos dados lidos, pois principalmente após a irrigação do solo onde ele apresentou uma grande instabilidade, e que mesmo com algumas amostras errôneas, elas não interferiram na análise de durabilidade. Dessa forma, a Figura 8 mostrou um comportamento mais linear, o que é compatível com a umidade esperada nos recipientes, uma vez que a água retida deveria manter-se constante, com pequenas perdas devido à perda de água para a atmosfera.

Ao fazer a análise das figuras 10, 11, 12 e 13 foi visto que a corrosão acometeu mais em uma haste do que a outra no próprio sensor, sendo essa uma característica da corrosão galvânica. Ao fazer a análise comparativa das figuras 10 e 11 com as figuras 12 e 13 é visível o quanto o sensor energizado somente no momento da leitura da umidade sofreu menos com a corrosão galvânica do que o sensor energizado em período contínuo. Comprovando a hipótese de que o funcionamento apenas no momento da leitura de umidade é válida, pois melhora a exatidão da medição, além de aumentar a durabilidade do sensor. Vale destacar que a energização, somente no momento da leitura da umidade, permite a economia de energia do sistema, visto que o sensor estará energizado somente para a leitura de umidade, sendo uma boa opção para locais que

possuem apenas baterias como fonte de alimentação.

Por fim, o estudo apresentado analisou o comportamento do sensor em dois estados diferentes. E que para o uso do protótipo, por um tempo maior, é essencial à adoção de técnicas para o aumento da durabilidade das hastes.

Para futuros trabalhos sugere-se a aplicação de revestimento nas hastes, calibragem do sensor e envio de dados via internet.

Além disso, não foi analisado o que ocorre com o material corroído, ou seja, não foi analisado se a corrosão das hastes pode contaminar o solo, uma vez que requer laboratórios complexos e específicos de análise do solo.

REFERÊNCIAS

- [1] PERES. L. R. O.; SANTOS. C. R. B.; SOUZA. O. C. P. **Análise experimental da durabilidade de sensores de umidade de solo utilizados com arduino**, CEEL UFU. Uberlândia, 740, p.(1,5), Dezembro, 2022.
- [2] C. R. B. SANTOS, **Fundamentos de projetos eletrônicos envolvendo o ESP32 e ESP32 LoRa - Utilizando o Arduino IDE**. Editora Ciência Moderna, 2021.
- [3] HENRIQUES, Luiz Felipe Araújo et al. **Implementação e monitoramento de um sistema de irrigação automatizado em IoT utilizando módulo ESP32 em plantio caseiro**. 2021.
- [4] SANTOS, Lorena Beatriz. **Sistema automatizado para controle de umidade e temperatura em cultura de morangos aplicados aos pequenos produtores**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Ensino Unificado de Brasília. 2014.
- [5] SILVA, Murilo et al. **ANÁLISE DA HIDRODINÂMICA COM SENSORES CAPACITIVO E RESISTIVO DE ARDUINO EM SOLO DO CERRADO**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal Goiano. 2021.
- [6] B. G. S. ALVES. **Análise da durabilidade e eficiência de sensores resistivos de umidade do solo em plataforma Arduino**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense. 2020.
- [7] GALVÃO JUNIOR, Joffrey Peyrac de Albuquerque. **Pomodoro: sistema de monitoramento e controle de umidade do solo para o cultivo de tomate em estufa**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- [8] SILVA, Maria Laiane do Nascimento. **Influência do tamanho da amostra na determinação da curva de retenção da água no solo**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [9] FONTANA, *Mars Guy et al. Corrosion engineering*. McGraw-hill, 2018.