



## ANÁLISE EXPERIMENTAL DA DURABILIDADE DE SENSORES DE UMIDADE DO SOLO UTILIZADOS COM ARDUINO

Luiz Ricardo de Oliveira Peres\*<sup>1</sup>, Otávio César Pinheiro de Souza<sup>1</sup> e Carlos Renato Borges dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NPEA - Instituto Federal do Triângulo Mineiro, *campus* Paracatu

**Resumo** - Projetos didáticos utilizando o Arduino são pulverizados no meio acadêmico. Todavia, as aplicações em protótipos que possam funcionar de uma forma contínua raramente são testados, tornando questionável as aplicações reais desses dispositivos. Visando o estudo de tais protótipos em funcionamento de forma contínua, este artigo averiguou a aplicabilidade de sensores de umidade do solo de forma contínua. Para isso, o circuito funcionou por sete dias consecutivos. Como resultados, mostrou-se uma corrosão dos sensores, razão pela qual foi desenvolvido um protótipo, utilizando impressão 3D, de sensor que possa substituir os sensores resistivos comerciais.

**Palavras-Chave**- Arduino. Capacitivo. Resistivo. Sensor. Solo. Umidade.

### EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE DURABILITY OF SOIL MOISTURE SENSORS USED BY ARDUINO

**Abstract** - Didactic projects using Arduino are pulverized in the academic environment. However, applications in prototypes that can work in a continuous way are rarely tested, making the real applications of these devices questionable. Aiming at the study of such prototypes in continuous operation, this article investigated the applicability of soil moisture sensors in a continuous way. For this, the circuit worked for seven consecutive days. As a result, corrosion of the sensors was shown, which is why a prototype was developed, using a 3D printer, of a sensor that can replace commercial resistive sensors.

**Keywords** - Arduino. Capacitive. Resistive. Humidity. Sensor.

### I. INTRODUÇÃO

Sistemas de irrigação residenciais devem envolver um baixo custo, confiabilidade e durabilidade, além de trazer conforto ao usuário, que não precisa se preocupar em ligar ou desligar o sistema ou ficar estressado em preocupar-se todo sobre a situação do sistema, principalmente esqueceu-se de desligar o sistema.

Visando essas características, uma das plataformas mais importantes para automatização é o Arduino.

O Arduino é uma família de dispositivos para prototipação de circuitos eletrônicos, utilizando a linguagem C++, e sua IDE pode ser utilizada para outras plataformas, tais como o ESP32 [1].

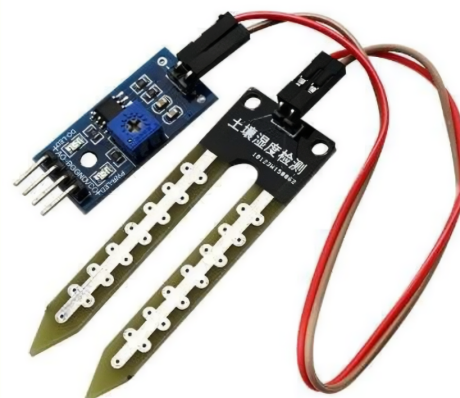
Muitos trabalhos utilizam plataformas de prototipação mais avançadas, como o ESP32. O ESP32 é uma plataforma micro-controlada, de 32 bits, dual core, em que pode ser programada por meio do Arduino IDE, sendo de custo mais acessível do que o Arduino, e com vantagens de processamento e de hardware, compatíveis aos recursos necessários a este projeto [2].

Quanto à internet, uma vez que a plataforma ESP32 é capaz de enviar dados por meio do protocolo MQTT, que foi desenvolvido especialmente para sistemas embarcados [2, 3].

Trabalhos como o de [4] utilizam o ESP8266 para a automatização de um sistema de irrigação utilizando a internet. Todavia, a maior preocupação foi na parte de desenvolvimento do banco de dados, havendo pouca apresentação sobre o hardware utilizado.

Outros trabalhos, tal como o de [5], utilizam técnicas computacionais avançadas para minimizar o uso de água de um sistema de irrigação em cultivos de subsistência, mas não preocupam, muito menos relatam a durabilidade dos sensores de baixo custo utilizados, como o mostrado na Figura 1.

Figura 1: Sensor resistivo de baixo custo.



O trabalho de [6] objetiva desenvolver e analisar o desempenho de sensores de umidade capacitivos de baixo custo. Dessa forma, são comparadas as variações de capacitância em função da umidade.

\*luiz.peres@estudante.iftm.edu.br

A Figura 2 mostra um sensor capacitivo de baixo custo largamente comercializado e que também foi utilizado neste trabalho.

Figura 2: Sensor capacitivo.



O estudo desenvolvido por [7] compara o sensor mostrado na Figura 1 ao da Figura 2, percebendo que o sensor capacitivo apresenta maior durabilidade.

Da mesma forma, o trabalho de [8] apresenta uma comparação entre os dois sensores já destacados, apresentando o problema da corrosão ocorrida no sensor resistivo.

Uma vez que relatos diversos indicam que a durabilidade do sensor mostrado na Figura 1 é baixa, foi acrescentada à pesquisa a utilização do sensor resistivo resistente, mostrado na Figura 3.

Figura 3: Sensor resistivo resistente.



## II. MATERIAL E MÉTODOS

Os principais materiais de estudo são apresentados na Figura 1, Figura 2 e Figura 3. Para processamento dos dados, utilizou-se o Arduino Mega 2560, display gráfico Nokia, memórias EEPROM 24C256, protoboard e componentes secundários, tais como botões, LEDs e fios, como mostrado na Figura 4.

A Figura 5 mostra como foram colocados os sensores, em potes com terra, em que foram acrescentadas quantidades iguais de água, medindo-se a umidade a cada 10 minutos, necessitando-se de uma quantidade de bytes mostrados na equação 1.

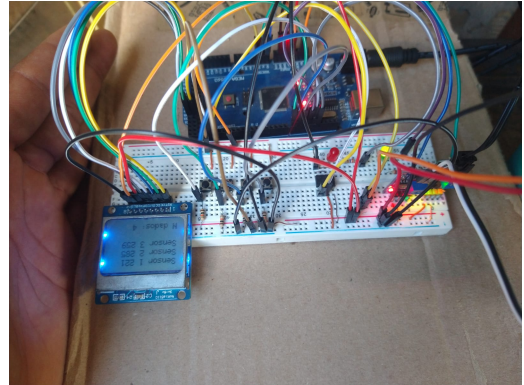
$$N_{Bytes} = N_{var} \cdot N_{sensores} \cdot N_{amostras} + I \quad (1)$$

onde:

- $N_{var}$  - Número de bytes de uma variável (2)
- $N_{sensores}$  - Número de sensores (3)
- $I$  - Índice de organização da memória (5)

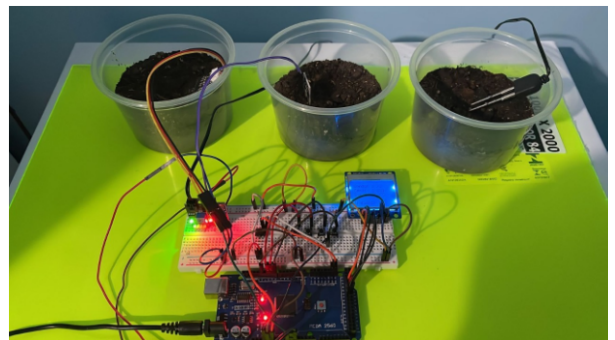
No final de quase 7 dias, foram registradas 4818 amostras, totalizando, portanto, segundo a equação 1, foram utilizados da EEPROM 28.913 bytes.

Figura 4: Circuito eletrônico do experimento.



Segundo [9], os fatores que afetam a retenção de água são: textura e tipo de argila, matéria orgânica e estrutura do solo. Dessa forma, utilizou-se o mesmo tipo de solo no experimento. Na Figura 5, utilizou-se a mesma quantidade de terra em cada pote, a fim de que não haja interferência nas medições. Para a medição da umidade, foi acrescentada mesma quantidade de água após a primeira medição, realizada inicialmente com solo seco. Parte-se do pressuposto de que os potes contêm a mesma quantidade de terra e de água durante todo o experimento, mesmo com pequenas perdas por evaporação.

Figura 5: Experimento realizado.



## III. RESULTADOS

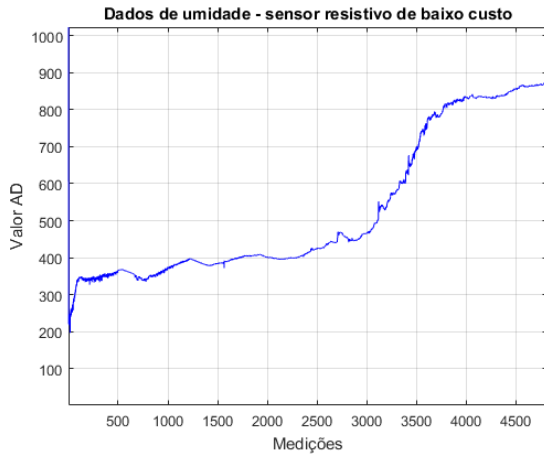
Esta seção é dividida em três partes. A primeira consiste em mostrar os gráficos de medição dos sensores. A segunda parte consiste em mostrar o estado físico dos sensores após sete dias de experimento de forma contínua. Por fim, a terceira parte consiste na confecção de um sensor resistivo resistente, uma vez que o valor de venda da versão comercial desse sensor atualmente encontra-se inviável.

### A. Dados do experimento

O experimento durou 7 dias consecutivos, com dados sendo armazenados por uma pilha de quatro memórias EEPROM 24C256, com 32 kB cada. Foram realizadas 4818 medições, com 3 sensores, e cada medida usando 2 bytes (variáveis do tipo *int*).

A Figura 6 mostra os resultados da medição de 7 dias do sensor de umidade resistivo de baixo custo.

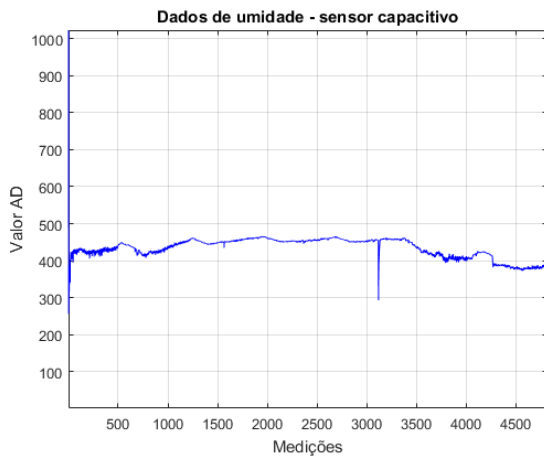
Figura 6: Curva de umidade do sensor de umidade resistivo de baixo custo.



No gráfico mostrado na Figura 1, pode-se verificar uma tendência de elevação do valor lido. Por volta da medição de número 3000 houve um substancial aumento do valor lido.

A Figura 7 mostra os resultados da medição de 7 dias do sensor de umidade capacitivo. No gráfico apresentado, percebe-se uma tendência de medição de valores constantes até em torno da medição de número 3000, onde houve uma variação repentina. Esse dado discrepante parece ser um erro de leitura, entretanto, as leituras lidas após esse fenômeno indicam uma certa instabilidade do sensor, já que o gráfico apresenta mais variações do que nas medições anteriores. Além disso, a partir do ruído, houve uma tendência de queda do valor lido.

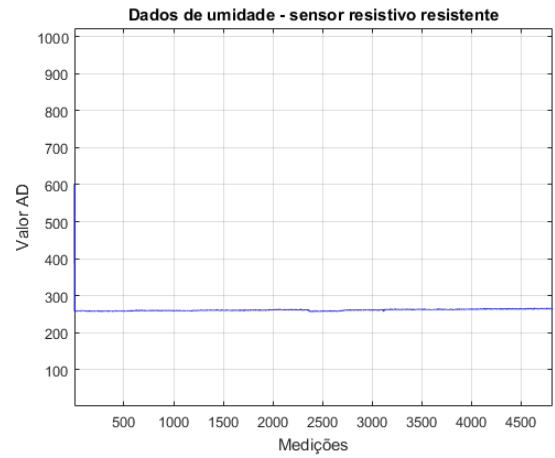
Figura 7: Curva de umidade do sensor de umidade capacitivo.



A Figura 8 mostra os resultados da medição de 7 dias do sensor de umidade resistivo resistente. De todas as medições

dos outros sensores, este foi o que apresentou a menor variação, indicando maior estabilidade ao longo do tempo.

Figura 8: Curva de umidade do sensor de umidade resistivo resistente.



Analisando-se os estatisticamente os dados, a Tabela 1 apresenta os resultados da média, desvio padrão e coeficiente de variação, mostrados, respectivamente, pela equação 2, equação 3 e pela equação 4.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^N x_i}{N} \quad (2)$$

$$s = \frac{\sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \quad (3)$$

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} \quad (4)$$

Tabela 1: Parâmetros estatísticos das medições

	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
$\bar{x}$	526,37	433,97	261,30
$s$	169,58	22,11	5,62
$cv$	32 %	5 %	2 %

Segundo a Tabela 1, o sensor resistivo resistente foi o que apresentou a menor variação ao longo do tempo.

### B. Estado dos sensores após o experimento

Após sete dias de experimento, foi verificado o estado de cada sensor. Na Figura 9, tem-se a imagem do sensor resistivo de baixo custo. Nota-se uma perceptível oxidação em uma das pontas de prova, o que condiz com a elevação do valor lido, mostrado na Figura 6, uma vez que a oxidação reduz a superfície de contato do sensor com o solo.

Figura 9: Oxidação do sensor resistivo de baixo custo.



Na Figura 10 é mostrado o sensor capacitivo, que apresentou esbranquiçamento na superfície.

Figura 10: Oxidação do sensor capacitivo.



A Figura 11 mostra o sensor resistivo resistente. Apesar de menor oxidação, se comparado ao sensor resistivo de baixo custo, houve também oxidação em uma das hastes.

Figura 11: Oxidação do sensor resistivo resistente.

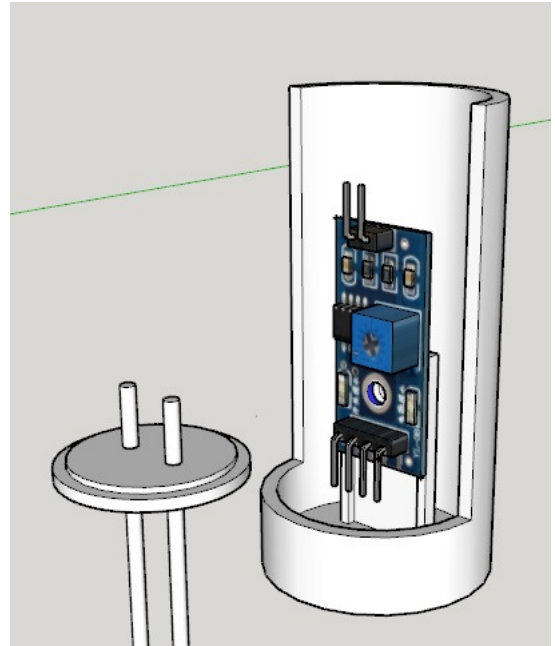


### C. Confeção de um sensor resistivo resistente

A impressão em 3D do sensor resistivo resistente foi proposta, uma vez que foi constatado experimentalmente que o circuito amplificador do sensor resistivo de baixo custo é o mesmo do sensor resistivo resistente. Dessa forma, a proposta inicial foi recuperar parte do investimento com os sensores. Para isso, utilizou-se o mesmo circuito amplificador do sensor de baixo custo. Quanto às hastes, e encontrar hastes de inox

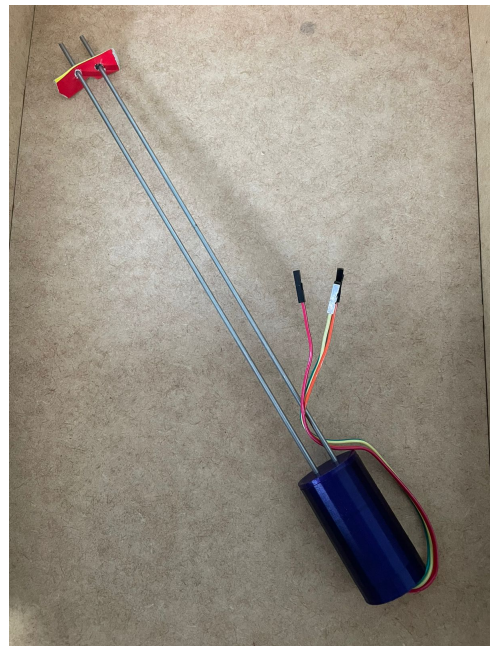
para solda TIG 316L, metálicas. A Figura 12 mostra o modelo em 3D do sensor.

Figura 12: Impressão 3D.



A Figura 13 mostra o sensor finalizado, com as hastes inox, circuito amplificador e impressão 3D.

Figura 13: Sensor com partes impressas em impressora 3D.



## IV. CONCLUSÕES

Analisando-se a Figura 6, Figura 7 e Figura 8, pode-se notar que o resistivo resistente (Figura 8) apresenta um comportamento constante, indicando que não houve variação da umidade durante todo o experimento. Por outro lado, o sensor capacitivo (Figura 7) apresentou variações significativas, além de ter uma medição com elevado ruído. Em contrapartida, o

sensor resistivo de baixo custo apresentou grandes variações, com uma forte tendência de aumento, o que caracterizaria falsamente a diminuição da umidade do solo, fato este que não condiz com os resultados apresentados pelos outros sensores.

Entretanto, ao analisar os danos aos sensores após decorridas as medições, pode ser verificada a degradação das pontas de prova, principalmente a do sensor resistivo de baixo custo. Uma característica comum aos dois sensores resistivos pode ser notada: para cada sensor, uma haste foi protegida, ao passo que a outra foi corroída. Essa característica é comum em elementos de prova que trabalhem em corrente contínua. Este problema será posteriormente analisado utilizando o ESP32, mais adequado para projetos de maior durabilidade. Além disso, supõe-se que o modo *sleep* possa evitar a corrosão dos sensores, uma vez que os sensores serão desenergizados.

Dentre os três sensores analisados, o que apresentou ser o mais interessante para continuar os estudos foi o sensor resistivo resistente. Entretanto, seu custo atualmente é muito alto, incentivando a confecção do mesmo sensor em impressora 3D, como visto na Figura 13, cujo projeto é mostrado na Figura 12.

Outro ponto que merece ser destacado é sobre a profundidade das hastes dos sensores. O sensor resistivo de baixo custo pode ser enterrado até 4,6 cm; o sensor capacitivo pode ser enterrado até 6,6 cm de profundidade e; o sensor resistivo resistente pode ser enterrado até 9 cm. Entretanto, as hastes do protótipo proposto neste projeto pode ser de até 75 cm, uma vez que , podendo ser cortada de acordo com o interesse do pesquisador. Neste projeto, utilizou-se 26 cm.

Foi constatado que os circuitos amplificadores do sensor resistivo de baixo custo e o do sensor resistivo resistente são semelhantes. Dessa forma, em projeto futuro pode-se mapear o circuito para confecção da placa ou, utilizar o sensor projetado e mostrado na Figura 12 e o amplificador do sensor de baixo custo.

Por fim, o estudo apresentado analisou três sensores largamente utilizados em projetos didáticos. Percebeu-se que possuem problemas quando utilizados por tempo prolongado. Novos estudos serão realizados para tentar diminuir a oxidação do sensor resistivo por meio da placa ESP32, utilizando o modo *sleep*, pois aparentemente as corrosões dos sensores resistivos ocorreram por estarem ligados o tempo todo, permitindo a corrosão galvânica.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. R. B. SANTOS, **Fundamentos de projetos eletrônicos envolvendo o Arduino - Teoria digital**. Editora Ciência Moderna, 2021.
- [2] C. R. B. SANTOS, **Fundamentos de projetos eletrônicos envolvendo o ESP32 e ESP32 LoRa - Utilizando o Arduino IDE**. Editora Ciência Moderna, 2021.
- [3] CAMERON, Neil. *Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices*. 2021.
- [4] R. A. REZENDE NETO, *Sistema de irrigação automatizado por setores com uso de IoT. XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA*. 2020.
- [5] J. S. SOUZA, J. M. ABE, N. A. Lima, A. A. G. Martinez, F. A. BERNARDINI, V. P. SOUZA, L. S. SAKAMOTO. *O Uso do Arduino para Controlar um Sistema de Irrigação Baseado em Lógica ET*. Revista FSA, Teresina, v. 18, n 7, art 13, p. 199-216. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.12819/2021.18.7.13>. Acessado em 12 de setembro de 2022.
- [6] A. C. D. SANTOS, I. S. SANTANA, M. H. B. G. OLIVEIRA, L. C. S. JUNIOR, A. H. C. NASCIMENTO. *Confecção de sensores capacitivos de umidade a baixo custo. V WINOTEC*. Sobral - CE. 2018.
- [7] M. M. SILVA. **Análise da hidrodinâmica com sensores capacitivo e resistivo de arduino em solo do cerrado**. Instituto Federal Goiano - Campus Ceres – GO. 2021. Orientador: Dr. Antônio Evami C. Sousa. Coorientador: Dr. Roriz Luciano Machado.
- [8] 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.
- [9] M. M. FERREIRA; M. M. S. DIAS JÚNIOR; M. G. B. F. MESQUITA; E. A. B. F. ALVES. **Física do solo**. Editora UFLA. 2003.