

## **CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE UMIDADE RESISTIVOS HL-69 PARA USO NO SISTEMA AUTOMÁTICO DE IRRIGAÇÃO ALIMENTADO POR ENERGIA SOLAR**

**VITÓRIA DE CARVALHO DOURADO<sup>1</sup>, GEAN MARCOS SOUZA FERREIRA<sup>2</sup>,  
RAFAEL CRUZ BORGES<sup>3</sup>, CARLOS HENRIQUE BEUTER<sup>4</sup>, MARCOS HENRIQUE  
DIAS SILVEIRA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFR, Rondonópolis/MT, vitoria.carvalho@aluno.ufr.edu.br

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFR, Rondonópolis-MT, gean.marcos@aluno.ufr.edu.br

<sup>3</sup> Engenheiro Eletricista, Prof. Doutor, UFR, Rondonópolis-MT, rafael@ufr.edu.br

<sup>4</sup> Engenheiro Eletricista, Prof. Doutor, UFR, Rondonópolis-MT, carlos.beuter@ufr.edu.br

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, UFR, Rondonópolis-MT, marcos.silveira@ufr.edu.br

Apresentado no  
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021  
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

**RESUMO:** Com a automação no sistema de irrigação alimentado por energia solar, torna-se possível obter uma irrigação sustentável, tanto na utilização da água, que será otimizada de acordo com a real necessidade da cultura, quanto no consumo de energia elétrica, pois toda energia necessária é proveniente das placas fotovoltaicas. Determinar o teor de água no solo é considerado uma ferramenta importante no manejo da irrigação, em destaque na agricultura de pequeno porte. Atualmente, existem diversos métodos para a determinação da umidade do solo, entre eles encontram-se os sensores de umidade, capazes de aferir leituras instantaneamente, todavia, faz-se necessário passar por calibrações para indicar o real valor de umidade. Assim, objetivou-se com este trabalho a calibração de 3 sensores de umidade resistivos HL-69, de baixo custo, em Latossolo vermelho para utilização no sistema automatizado utilizando Arduino. Após relacionar as leituras dos sensores com o teor de água no solo, determinado pelo método gravimétrico, foi constatado que os sensores resistivos apresentam curvas diferentes, necessitando de calibração individual.

**PALAVRAS-CHAVE:** Irrigação, Sensores de Umidade, Arduino.

### **CALIBRATION OF HL-69 RESISTIVE MOISTURE SENSORS FOR USE IN THE AUTOMATIC SOLAR POWERED IRRIGATION SYSTEM**

**ABSTRACT:** With the automation of the irrigation system powered by solar energy, it becomes possible to obtain sustainable irrigation, both in the use of water, which will be optimized according to the real need of the crop, and in the consumption of electricity, as all the necessary energy comes from photovoltaic plates. Determining the soil water content is considered an important tool in irrigation management, especially in small-scale agriculture. Currently, there are several methods for determining soil moisture, including moisture sensors, ability to measure readings instantly, however, it is necessary to go through calibrations to indicate the real moisture value. Thus, the aim of this work was to calibrate 3 low-cost HL-69 resistive moisture sensors in red oxisol for use in the automated system using Arduino. After

relating the sensor readings to the soil water content, determined by the gravimetric method, it was found that the resistive sensors have different curves, requiring individual calibration.

**KEYWORDS:** Irrigation, Humidity Sensors, Arduino.

**INTRODUÇÃO:** Na agricultura, a determinação da umidade do solo torna-se essencial em diversos momentos, visto que, o teor de água no solo é uma propriedade que interfere nas tomadas de decisão, durante os processos de mecanização agrícola, uma vez que a quantidade de água presente influencia na porosidade do solo e sua suscetibilidade à compactação, além disso, a determinação da quantidade de água no solo auxilia diretamente no manejo adequado da irrigação (BUSKE, et. al., 2014). Realizar a irrigação em seu cultivo de forma manual, sem o controle da umidade do solo, entre outros parâmetros, pode gerar uma inadequada utilização dos recursos naturais, ocasionando o desperdício de água (CUNHA; ROCHA, 2015). Os métodos de determinação da quantidade de água no solo podem ser divididos em duas categorias: métodos diretos e métodos indiretos. O método direto mais utilizado para determinar a umidade do solo é conhecido como método gravimétrico, tido como padrão, que visa remover a quantidade de água presente em determinada amostra. Embora sendo altamente preciso, a utilização deste método torna-se insuficiente para o manejo da irrigação, tendo em vista que este método só é capaz de fornecer a umidade do solo após 24h em estufa a 105°C, o que torna o processo trabalhoso não possibilitando repetições (OLIVEIRA, 2018). Já os métodos indiretos como exemplo: os tensiômetros, sensores de resistência, sondas de nêutrons etc., tomam por base as propriedades físicas do solo, tais como: pressão, resistência, capacitância e outras. De modo geral, para que os métodos indiretos sejam mais precisos torna-se necessário submetê-los a calibração, podendo utilizar por base o método padrão (OLIVEIRA, 2018). Assim, por mais que necessitem de calibração, são largamente utilizados em pesquisas e na agricultura, para o monitoramento da umidade do solo, uma vez que são capazes de fornecer a quantidade de água presente de forma mais rápida e prática, além de permitir a repetição, que ajuda a reduzir a margem de erros das leituras (COSTA; SANTOS; BASSOI, 2013). Entre os métodos indiretos que podem ser utilizados para o manejo da irrigação encontra-se os sensores resistivos, que se tornam uma ferramenta vantajosa, quando aplicados em sistemas de irrigação automatizado, em virtude de apresentarem baixo custo e resposta instantânea. No entanto, faz-se necessário que sejam calibrados corretamente para que possam realizar leituras reais e precisas acerca da umidade do solo (GAVA; SILVA; BAIÃO, 2016). De acordo com Mendes (2006) os sensores resistivos de umidade do solo fazem o uso de dois eletrodos responsáveis por realizar o monitoramento da variação da resistência elétrica no solo, sendo a umidade do solo inversamente proporcional a resistência elétrica, em outras palavras, quanto menor a quantidade de água presente no solo, maior é a resistência elétrica medida. Por via de regra, os sensores de umidade resistivos HL-69 são compostos por dois componentes principais, no qual um deles é uma sonda responsável por detectar a umidade do solo e o outro um módulo que realiza a comunicação com um microcontrolador através de uma saída analógica de tensão. Dessa forma, visando alcançar a sustentabilidade, está sendo desenvolvido a automação de um sistema de irrigação alimentado por energia solar, no qual uma das etapas de implementação do projeto consiste na calibração dos sensores de umidade. Em vista disso, o objetivo deste trabalho foi calibrar 3 sensores de umidade resistivos HL-69, controlados pelo microcontrolador Arduino, em Latossolo vermelho com 40% de argila, 40% de areia e 20% de silte, utilizando o método gravimétrico padrão.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Rondonópolis (UFR), no Laboratório de Eletrotécnica do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (ICAT). Os materiais utilizados durante o desenvolvimento do trabalho consistiram em: balança analítica de precisão, Arduino nano modelo ATmega 328P, 3 sensores

de umidade de solo resistivos HL69, fonte de energia, utilizada para alimentar os sensores, anéis volumétricos com aproximadamente 48,9 mm de diâmetro e 72 mm de altura e Latossolo vermelho com 40% de argila, 40% de areia e 20% de silte, conforme mostra a FIGURA 1. Com o auxílio dos anéis volumétricos, coletou-se amostras de solo indeformadas em condições naturais de campo na área experimental da Universidade (lat. -16.4649, long. -54.5811), as quais posteriormente foram identificadas e saturadas no laboratório. Após saturadas, as amostras permaneceram em repouso durante o período de 24 horas. Feito isto, adicionou-se os sensores de umidade de solo resistivo HL69 controlados pelo microcontrolador Arduino nano que recebeu um código (sketch) escrito na linguagem de programação baseada em C, responsável por realizar as leituras de umidade do solo. O sketch carregado no microcontrolador disponível no Apêndice possibilitou que os três sensores de umidade de solo resistivos realizassem leituras simultâneas em um intervalo de 2 segundos. Por dia, realizou-se 5 leituras, sendo estas as: 09:30, 11:30, 13:30, 15:30 e as 17:30, as quais foram iniciadas com 30 minutos de antecedência visando a estabilização dos sensores. Após estabilizado, aferiu-se as leituras analógicas realizadas pelos sensores, realizando a pesagem de cada amostra na balança analítica de precisão de precisão. O processo repetiu-se durante 3 dias, e no fim secou-se as amostras em estufa a 105°C no decorrer de 24h, para a determinação do teor de umidade em base de massa pelo método gravimétrico. Assim, realizou-se curvas de correlação entre as leituras analógicas dos sensores com os resultados de umidade obtidos pelo método padrão, a partir das equações de ajustes e coeficientes de determinação  $R^2$  obtidos a partir do software MatLab.

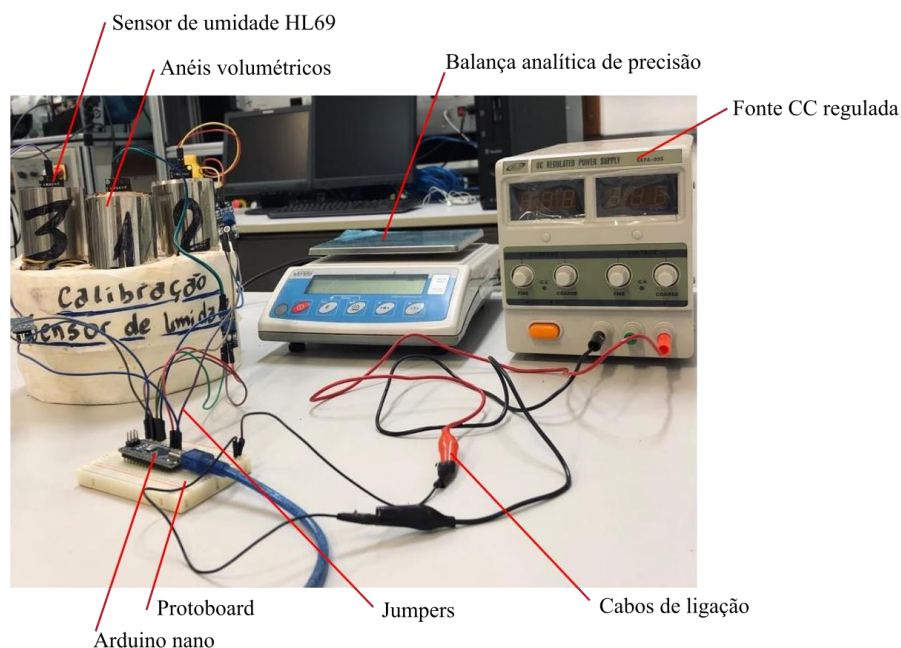


FIGURA 1. Montagem do circuito.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** De acordo com testes prévios realizados no laboratório, foi constatado que ao alimentar os sensores diretamente pelo microcontrolador Arduino ocorrem alterações moderadas nas leituras analógicas, assim, optou-se por alimentar os sensores separadamente. Desta forma, a alimentação do microcontrolador Arduino ocorreu a partir da porta USB do computador utilizado para carregar a programação e monitorar os dados obtidos e para os sensores resistivos HL69 utilizou-se uma fonte de energia CC (Corrente Contínua), a qual foi ajustada para fornecer tensão de 5V e corrente de 0,02 A. Realizou-se ainda um teste

prévio de estabilização dos sensores, verificando o momento em que as leituras aferidas passavam a apresentar um comportamento mais estável, assim, notou-se que as mesmas se estabilizavam a partir de 30 minutos. O tempo de estabilização das leituras não é fixo, podendo variar de acordo com as propriedades do solo e a forma que ele se encontra, fato este observado na literatura. No presente trabalho, o qual fez-se o uso de amostras de solo indeformadas a estabilização se deu após 30 minutos, contudo, no ensaio de calibração desenvolvido por Oliveira (2018), o qual utilizou amostras de solos deformadas, o tempo de estabilização das leituras analógicas ocorreu a partir dos 10 minutos. Assim, ao começar o processo de calibração dos sensores de umidade resistivos HL69 faz-se importante a realização do teste prévio de estabilização. Na programação do microcontrolador Arduino realizada no IDE (Integrated Development Environment) como mostra o Apêndice A, não se fez o uso de nenhuma constante de calibração no código programado. Assim, os sensores foram projetados simplesmente para realizarem as leituras analógicas simultaneamente, que foram exibidas no monitor serial do IDE com 2 segundos de intervalo entre cada uma. A utilização do Arduino em conjunto com os sensores de umidade resistivos HL69 possibilita a construção de um sistema de obtenção de dados de baixo custo, que ao ser comparado com outros microcontroladores e plataformas apresenta a grande vantagem de possuir hardware e software de código aberto e ainda ser de fácil manuseio (BANZI, 2012). Para encontrar a quantidade de água em base de massa presente nas amostras em cada leitura realizada, utilizou-se o método gravimétrico, realizando assim uma relação conforme mostra a equação:

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Em que,

U= Umidade do solo (base massa), porcentagem, [%]

$M_u$  = Massa de solo úmido, [g]

$M_s$ = Massa de solo Seco, [g]

Conforme expresso por Oliveira (2018), há uma relação entre a umidade presente no solo e a resistência elétrica medida pelo sensor, sendo tais propriedades inversamente proporcionais, assim, quanto maior a quantidade de água presente na amostra menor a resistência do solo e consequentemente menor é a leitura analógica aferida pelos sensores. De acordo com as leituras dos sensores expressas na TABELA 1, foi observado que os sensores apresentaram pontos fora do padrão esperado conforme mostra os destaques em amarelos. Em teoria, com o valor de umidade decrescendo ao longo do tempo, esperava-se que ocorresse uma crescente leitura analógica dos sensores (LEÃO, et. al., 2021). Entretanto, esse fato não foi constante entre os três sensores calibrados, visto que, os três sensores em determinado momento apresentaram leituras com valores inferiores ao esperado. Podendo essas variações nas leituras serem explicadas pela qualidade e precisão dos sensores e pela textura do solo e o percentual de argila presente em sua constituição, conforme sugere Pizetta et. al. (2017) em um ensaio de calibração de um sensor capacitivo desenvolvido para a mesma classe de solo utilizada no presente trabalho – Latossolo vermelho, em que também foi perceptível leituras fora do padrão.

TABELA 1. Relação Entre as umidades gravimétricas do solo e as leituras analógicas dos sensores.

Leitura	Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3	
	Leitura Analógica	Umidade do Solo	Leitura Analógica	Umidade do Solo	Leitura Analógica	Umidade do Solo
1°	489	33,85%	444	35,79%	443	34,46%
2°	509	32,65%	475	34,61%	422	33,14%
3°	517	30,71%	448	32,81%	494	31,15%
4°	519	29,65%	462	31,71%	489	29,99%
5°	652	19,35%	586	21,26%	591	19,41%
6°	659	18,68%	609	20,46%	602	18,69%
7°	633	17,57%	582	19,09%	570	17,52%
8°	642	16,66%	600	18,25%	582	16,62%
9°	710	16,02%	676	17,60%	650	15,97%
10°	950	10,57%	866	11,52%	858	10,56%

Após realizar as leituras, gerou-se o gráfico da curva característica dos sensores, relacionando a leitura analógica individual dos sensores com o percentual de umidade em base de massa encontrado pelo método gravimétrico, resultando assim em curvas características diferentes para cada sensor, conforme mostra a FIGURA 2. Assim, na curva característica desenvolvida cada valor analógico lido pelo sensor foi relacionado com um percentual de umidade em base massa que posteriormente pode ser convertido para percentual de umidade em base volume, multiplicando o percentual de umidade em base massa pela densidade do solo, conforme realizado no trabalho desenvolvido por Gava, Silva e Baio (2016). Para a utilização dos sensores de umidade em campo, relacionar a leitura analógica com o percentual de umidade em base volume torna-se uma solução mais vantajosa na hora da calibração do que relacionar com a umidade em base massa, visto que, a determinação do percentual de umidade gravimétrica não é capaz de indicar o volume de água armazenado e disponível para as plantas, já a umidade volumétrica possibilita o conhecimento acerca do volume de água onde as plantas estarão explorando em determinado volume de solo (BUSKE, 2013).

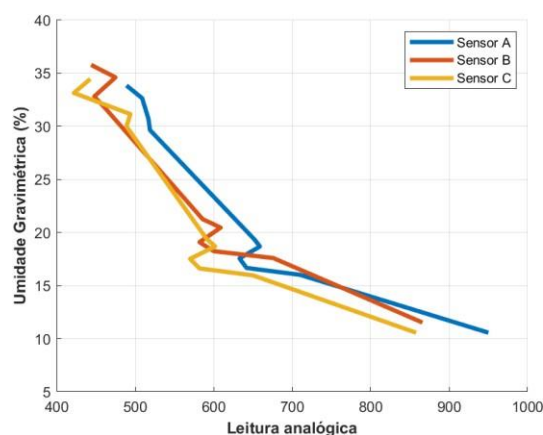


FIGURA 2. Curva característica dos sensores de umidade resistivos HL69.

Gerou-se gráficos de dispersão no software MatLab, buscando encontrar uma linha e equação de tendência que melhor se adaptasse ao comportamento dos sensores, sendo capaz de descrevê-los. Sabe-se que o coeficiente de determinação  $R^2$  consiste basicamente em um indicador que mede a qualidade do ajuste de uma linha de regressão, o mesmo varia entre 0 e 1, assim, quanto maior o  $R^2$  mais explicativo é o modelo, e melhor adaptado a amostra (MARTINS, 2018). Deste

modo, foi gerado linha e equação de tendência linear, logarítmica, exponencial e de potência, encontrando os respectivos coeficientes de determinação conforme mostra a TABELA 2.

TABELA 2. Coeficientes de determinação para os modelos: Linear, logarítmico, exponencial e de potência.

		Modelo			
		Linear $y = a + b.x$	Potência $y = a.x^b$	Exponencial $y = a.e^{bx}$	Logarítmica $y = a + b.ln(x)$
Sensor A	a	0.56397	31996.0607	1.1242	26.914
	b	0.00053865	-1.8567	0.0026593	-0.38388
	R <sup>2</sup>	0.79815	0.95654	0.90327	0.87792
Sensor B	a	0.58902	11679.1537	1.1118	26.622
	b	0.00060181	-1.7117	0.0029527	-0.38199
	R <sup>2</sup>	0.83699	0.9514	0.91984	0.9007
Sensor C	a	0.57351	22771.3333	1.1454	26.596
	b	0.00060688	-1.8307	0.0029527	-0.38446
	R <sup>2</sup>	0.79425	0.91251	0.88611	0.86435

Em vista disso, constatou-se que de todas as linhas e equações de tendência geradas conforme mostra a FIGURA 3, a que melhor se adaptou aos dados foi a de potência, devido apresentar o maior coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) em todas as amostras. Entretanto, no ensaio de calibração desenvolvido por Gomes (2017) o qual também fez o uso de sensores resistivos HL69 em Latossolo Vermelho a relação entre a leitura analógica do sensor e a umidade do solo se ajustou a um modelo linear com R<sup>2</sup> acima de 0,97, já em outros estudos desenvolvidos por Oliveira (2018) o modelo que se adaptou ao comportamento dos sensores resistivos HL69 foi o exponencial, sendo as leituras analógicas capazes de descrever 99,34% do modelo em questão. Assim, é possível observar, que para um mesmo modelo de sensor ocorrem comportamentos diferentes, podendo variar de acordo com o tipo e textura do solo, assim, é imprescindível que se realizem calibrações individuais para todos os sensores, nas condições em que eles serão utilizados. (GAVA; SILVA; BAILO, 2016; OLIVEIRA, 2018; LEÃO, et. al., 2021; GOMES, 2017).

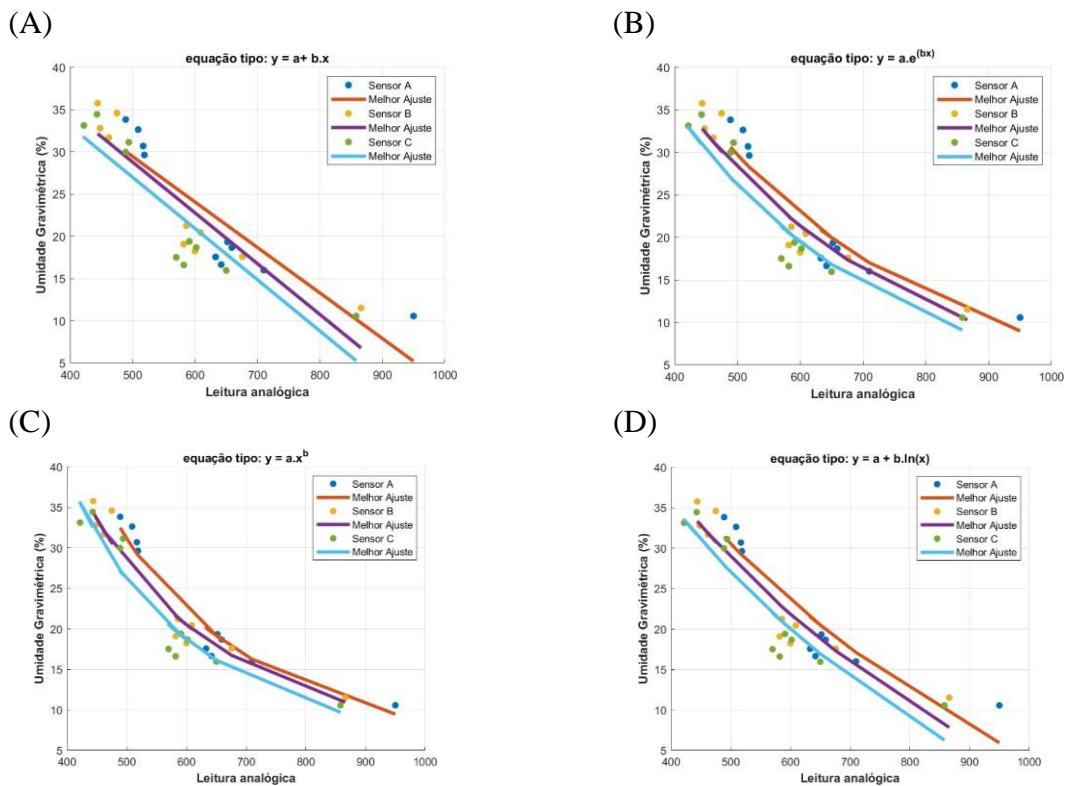


FIGURA 3. Relação entre as leituras analógicas dos sensores e as umidades gravimétricas do solo com as curvas e equações de tendências do modelo linear (A), exponencial (B), potência (C) e logarítmica (D).

**CONCLUSÕES:** A calibração dos sensores de umidade resistivos, torna-se um processo necessário quando se deseja realizar sua aplicação na irrigação. A partir do teste realizado, foi possível relacionar as leituras analógicas aferidas pelos sensores com quantidade de água presente no solo em base de massa, tornando uma ferramenta importantíssima, para o controle de irrigação automatizado. Os sensores resistivos apresentaram curvas diferentes, logo, faz-se necessário a calibração individual de cada um deles e o modelo de potência mostrou-se mais aderente aos dados coletados.

#### APÊNDICE: Código de Calibração Arduino Nano

Código utilizado para calibração através dos sensores de umidade de solo resistivo HL69.

```
// CALIBRAÇÃO DE SENSORES DE UNIDADE DE SOLO RESISTIVOS HL 69
#define sensor_1 40
#define sensor_2 41
#define sensor_3 A2
float tempo
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  void loop()
  tempo = (millis()/1000);
  Serial.print("Tempo: " + String(tempo)+" 3"); //Realiza a contagem de tempo
  Serial.print("sensor 1 :");
  Serial.print(analogRead(sensor_1)); //Realiza a leitura analógica do sensor
  Serial.print("sensor 2 :");
  Serial.print(analogRead(sensor_2)); //Realiza a leitura analógica do sensor
  Serial.print("sensor 3 :");
```

```
Serial.println(analogRead(sensor_3)); //Realiza a leitura analógica do sensor
delay (2000); //Intervalo de tempo entre as leituras
```

QUADRO 1. Código utilizado no microcontrolador Arduino nano.

## REFERÊNCIAS:

BANZI, M. **Primeiros passos com o Arduino**. São Paulo: Novatec, 2012.

BUSKE, T. C. **Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos**. 2013. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2013.

BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. de V. A. **Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento**. Irriga, v. 19, n.2, p.315-324, 2014.

COSTA, B. R. S; SANTOS, L. M.; BASSOI, L. H. **Calibração do sensor de capacitância IRRIGAP® para a medida da umidade em solo do Semiárido**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42., 2013, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBEA, 2013.

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: 2448-0452.

GAVA, R.; SILVA, E. E. da; BAIIO, F. H. R. **Calibração de sensor eletrônico de umidade em diferentes texturas de solo**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 10, n. 2, p. 154-162, 2016.

GOMES, F. H.F., CUNHA, F. N., LOPES FILHO, L. C., VIDAL, V. M., SOARES, F. A. L., TEIXEIRA, M. B. **Calibração de um sensor de umidade do solo de baixo custo**. Revista brasileira de agricultura irrigada, v. 11, n. 4, p. 1509, 2017.

LEÃO, D. V. F., FILHO, G. S. T., FREITAS, D. L. A., OLIVEIRA, C. W., MATIAS, S. S. R., BARROS, B. A. A. **Avaliação e calibração de sensores de monitoramento da umidade superficial do solo**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 3, p. 26294-26305, 2021.

MARTINS, E. G. M. **Coefficiente de determinação**. Revista Ciência Elementar, v. 6, n. 01, 2018.

MENDES, P. C. de S. **Caracterização de um sensor para medição de umidade do solo com termo-resistor a temperatura constante**. 2006. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

OLIVEIRA, C. L. de. **Calibração de sensores de umidade do solo de baixo custo**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.

PIZETTA, S. C., RODRIGUES, R. R., PEREIRA, G. M., PACHECO, F. E. D., VIOLA, M. R., LIMA, L. A. **Calibração de um sensor capacitivo para estimativa da umidade em três classes de solos**. Irriga, v. 22, n. 3, p. 458-468, 2017.