









Calibração de sonda de baixo custo para monitorar umidade em substrato comercial

João Paulo Pereira Mendes ¹, Marco Antônio da Silva Verssiani ², Alisson Macendo Amaral  ³,
Maria Ângela Cruz Macêdo dos Santos  ^{4*}

¹ Graduando em Agronomia, Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Arinos, Brasil.

² Graduando em Agronomia, Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Arinos, Brasil.

³ Doutor, Professor do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Arinos, Brasil.

⁴ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil. (*Autor correspondente: angela_macedo.08@hotmail.com)

Histórico do Artigo: Submetido em: 06/11/2020 – Revisado em: 18/11/2020 – Aceito em: 29/11/2020

RESUMO

A umidade adequada é fundamental para o desenvolvimento inicial de mudas. Nesse trabalho, objetivou-se calibrar uma sonda de baixo custo como alternativa para monitorar a umidade em substrato comercial. A sonda usada é do tipo resistiva e foi conectada a um módulo conversor A/D, e estes, por sua vez, a um microcontrolador Arduino. Amostras de substrato comercial foram acondicionadas em recipientes de PVC com volumes e densidades médias de $662,68 \text{ cm}^3$ e $0,155 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. As amostras foram saturadas e depois submetidas à secagem em temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$, com sucessivas pesagens para determinação da umidade volumétrica. As umidades foram relacionadas com o sinal de saída das sondas por meio de regressão múltipla. Observou-se que a umidade máxima disponível no substrato foi de $0,56 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para um sinal de 128,09 bits e que este aumentou em resposta a redução do teor de umidade do substrato segundo modelo de terceira ordem e em intervalos distintos.

Palavras-Chaves: água disponível, resistividade, mudas

Low cost probe calibration to monitor moisture in commercial substrate

ABSTRACT

Adequate moisture is essential for the initial development of. In this work, the objective was to calibrate a low-cost probe as an alternative to monitor the moisture in commercial substrate. The probe used is of the resistive type and was connected to an A / D converter module, and these, in turn, to an Arduino microcontroller. Substrate samples were placed in PVC containers with average volumes and densities of 662.68 cm^3 and 0.155 g cm^{-3} , respectively. The samples were saturated and then subjected to drying at temperatures of $65 \text{ }^\circ\text{C}$, with successive weighings to determine the volumetric moisture. The moisture was related to the output signal from the probes by means of multiple regression. It was observed that the maximum available moisture in the substrate was $0.56 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ for a 128.09 bits signal and that it increased in response to the reduction of the moisture content of the substrate according to the third order model and at different moisture intervals

Keywords: available water, resistivity, seedlings

1. Introdução

A umidade adequada em substratos, dentre diversos fatores, é essencial para a emergência e o correto desenvolvimento de mudas, entretanto, o excesso ou déficit da irrigação por falta de critérios para seu manejo resulta em problemas morfológicos, fisiológicos e fitossanitários nos cultivos (Corrêa et. al., 2013; Silva et.

Mendes, J.P.P., Verssiani, M.A.S., Amaral, A.M., Santos, M.A.C.M. (2021). Calibração de sonda de baixo custo para monitorar umidade em substrato comercial. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.3, n.1, p.89-95.



Direitos do Autor. A Meio Ambiente (Brasil) utiliza a licença *Creative Commons* - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC.

al., 2019), sendo de interesse o conhecimento da umidade máxima, também chamada de umidade de capacidade de campo.

Métodos diretos de determinação de umidade, como o gravimétrico, são precisos em sua quantificação, entretanto, onerosos para monitoramento diário, desse modo, sensores de umidade como os resistivos e de baixo custo, são alternativas que fornecem leituras rápidas e seguras, desde que calibrados nas condições de utilização (Gomes et al., 2017). A utilização de sensores de baixo custo já foi evidenciada e incentivada como alternativa para o aumento da eficiência do uso da água doce em sistemas de produção (Abegaz et al., 2018).

Sensores de resistividade, capacitivos, Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR) são definidos como parte das técnicas modernas que empregam as propriedades elétricas do solo para determinação do teor de umidade, entretanto, também apresentam incertezas quanto a sua precisão e exatidão necessitando de calibrações específicas (Su et al., 2014).

Sensores de baixo custo, apesar de menos precisos quando comparados aos comerciais, possuem boa relação custo benefício para o monitoramento da umidade do solo, se tornado alternativa viável para pesquisas e como ferramenta mais acessível para o manejo da produção na agricultura de precisão (Kizito et al., 2008; Kojima et al., 2016; González-Teruel et al., 2019).

A principal vantagem desses sensores é o preço baixo dos componentes eletrônicos utilizados para sua confecção, o que reduz seu custo final sem afetar sua precisão (González-Teruel et al., 2019). Os custos são ainda mais reduzidos quando os sensores são associados a microcontroladores de baixo custo como o Arduino, trazendo como vantagem a automatização do monitoramento da umidade, tornando-os ferramentas eficazes para manejo em sistemas de irrigação (Ferrarezi et al., 2015).

Conforme Ratts et al. (2019) ao confeccionar e calibrar sensores de baixo custo para monitorar umidade no solo, os sensores desenvolvidos apresentaram boa precisão com custos em torno de R\$ 200 reais, ou seja, 96% menor do que os comerciais que custam até R\$ 6000 reais. Semelhantemente Kojima et al. (2016) tiveram um custo total de US\$ 200 para confecção de sensores com base na capacitância, um valor bem abaixo do mercado e uma boa precisão.

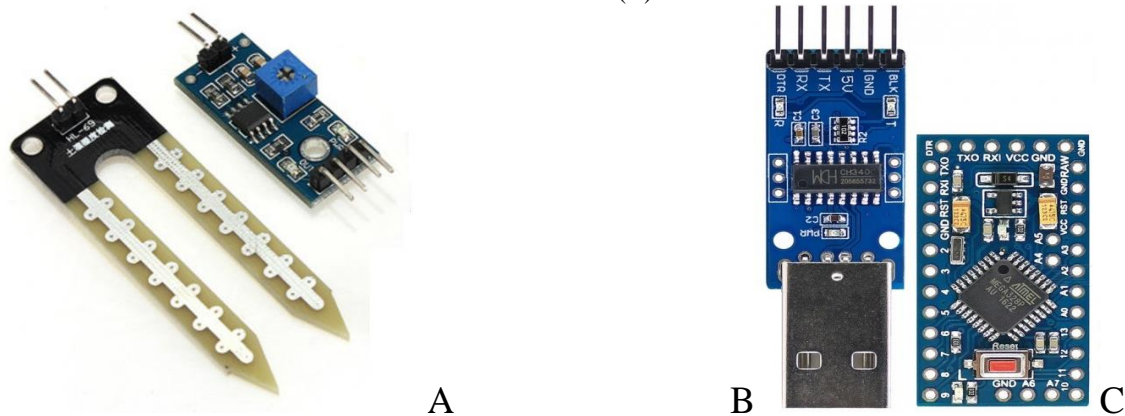
Portanto, objetivou-se determinar a curva de umidade em substrato comercial e associá-la ao sinal de saída de um sensor resistivo de baixo custo, como alternativa para o fácil monitoramento da água disponível na produção de mudas.

2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido no Laboratório de Solos do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Arinos (15° 55' 01" S, 46° 06' 20" W). O sensor utilizado foi o FC-28 (3.3 – 5V, saída analógica/digital – A/D) da fabricante Shenzhen Guangfasheng Technology Ltda., que consiste em hastes conectadas a um módulo de comunicação e conversor A/D (Figura 1A) e que funcionam como resistor variável que depende do teor de umidade. A comunicação entre as hastes e o módulo se deu por meio de 0,5 m de cabo manga 2 vias blindado e soldagem com estanho.

Para excitação e aquisição de sinal de saída, o sensor de umidade foi conectado a um microcontrolador Arduino Pro Mini (ATmega328P, 5V, 16MHz) e este, por sua vez, a um programador CH340G/conversor USB para TTL (5V) que fazia a comunicação entre os sensores e o computador (Figuras 1B e 1C). Todo o sistema foi excitado pela conexão USB/TTL entre o programador e computador, não necessitando de fonte externa. A programação e a aquisição do sinal de saída se deram por meio do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino.

Figura 1 – Conjunto de sonda resistiva e módulo conversor analógico/digital (A), programador (B) e microcontrolador (C).

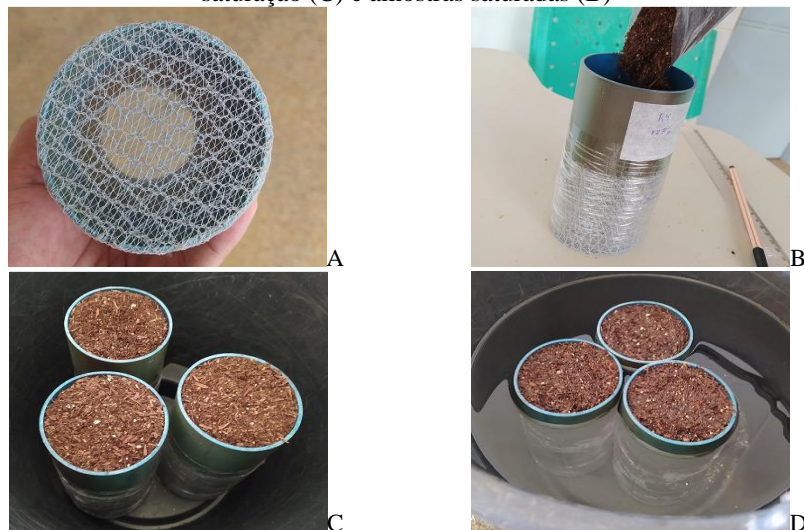


Fonte: Tarzan (2020), (Dealextrême, 2020). Modificada pelos autores.

Para a calibração, utilizou-se o substrato comercial Bioplant, previamente seco em estufa de ventilação forçada de ar a 105° C e acomodado em recipientes constituídos de tubo de PVC rígido com diâmetro de 75 mm e altura igual a 15 cm, correspondendo, em média a um volume de 662,68 cm³ e densidade de 0,155 g/cm³, em um total de 5 amostras. Os tubos foram revestidos em uma das extremidades por tela do tipo sombrite fixada com fita adesiva para que não houvesse perda do substrato e permitisse saturação/drenagem, com posterior acomodação do substrato (Figuras 2A e 2B).

As massas dos conjuntos (recipientes + solo seco) foram mensuradas em balança com resolução de 0,001g e, logo após, foram dispostas em baldes plásticos e saturadas com água destilada, por capilaridade, em um período de 24 horas para que houvesse preenchimento da fração porosa (Figuras 2C e 2D). Após período de saturação, as amostras foram dispostas sobre tela metálica e permaneceram até que cessassem a drenagem gravitacional excessiva (Figura 3A).

Figura 2 – Recipiente de PVC com telado de drenagem (A), acondicionamento do substrato (B), amostras para saturação (C) e amostras saturadas (D)



Fonte: Autores (2020).

Figura 3 – Drenagem das amostras (A); pesagem das amostras e coleta de sinal de sonda (B).

Fonte: Autores (2020).

Em seguida, as massas das amostras foram determinadas e estas submetidas à secagem em estufa à temperatura de 65 °C. Inicialmente, em condições de solo úmido, foram determinadas as umidades gravimétricas (U) (Equação 1) e mensurados os sinais de saída da sonda resistiva em intervalos horários e, posteriormente, com 2 leituras diárias até secamento total das amostras.

$$U = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{solo seco}}} \quad (1)$$

Em que:

U – Umidade gravimétrica (g de água/g de solo seco)

$m_{\text{água}}$ – massa da água (g)

$m_{\text{solo seco}}$ – massa de solo seco (g)

Posteriormente, determinou-se as umidades volumétricas (θ) pelo produto entre a umidade gravimétrica e a densidade individual de cada amostra (Equação 2).

$$\theta = \frac{\rho}{\rho_a} \quad (2)$$

Em que:

θ : umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

ρ : densidade do solo (g cm^{-3})

ρ_a : densidade da água (g cm^{-3})

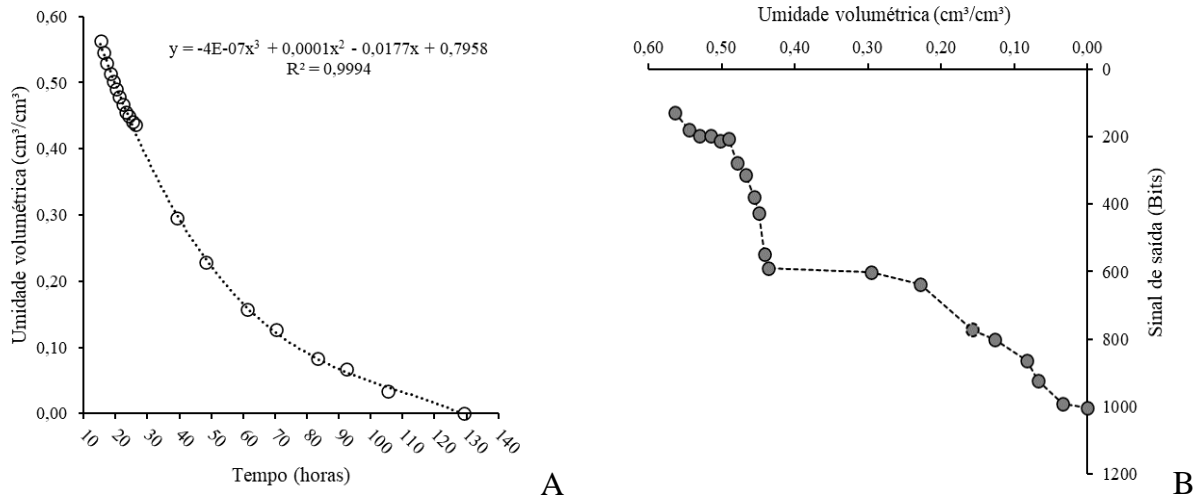
Para análise dos resultados, foram geradas curvas de umidade volumétrica em função do tempo e do sinal de saída em função da umidade volumétrica, bem como as equações de ajuste por regressão múltipla e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

3. Resultados e Discussão

Estabeleceram-se relações entre a curva de umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em função do tempo (horas)

(Figura 4A) e do sinal de saída (bits) (Figura 4B).

Figura 4 – Umidade volumétrica em função do tempo de secagem (A) e sinal de saída da sonda em relação à umidade volumétrica (B).

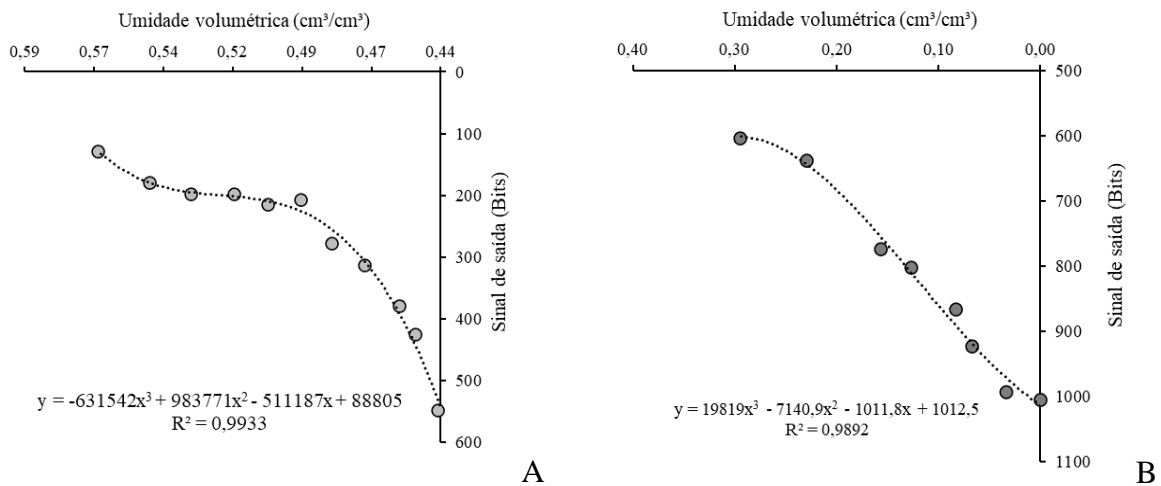


Na primeira, observa-se que a umidade reduziu com o tempo de secagem, sendo expressa por um modelo de terceira ordem com excelente ajuste ($R^2 - 0,9994$) e máxima umidade volumétrica de $0,564 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Já na segunda, observou-se um aumento do sinal da sonda decorrente da diminuição da resistência elétrica (redução do teor de água no substrato). Para esta, não houve ajuste de um modelo matemático que explicasse os dados observados devido a pequena variação de sinal ocorrida entre as umidades de $0,44$ a $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Em função disto, foram ajustadas curvas em faixas distintas, correspondentes a $0,56 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (máxima umidade disponível) e $0,44 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; e entre $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e o substrato totalmente seco.

A figura 5 mostra que o sinal da sonda variou entre 128,09 a 588,80 bits para o primeiro intervalo de umidade (A) e de 602,40 a 1004,00 bits para o segundo (B). Em ambas as curvas, o sinal da sonda variou em relação à redução do teor de umidade no substrato segundo modelo de terceira ordem, com excelentes R^2 de, respectivamente 0,9933 e 0,9892.

Figura 5 – Sinal de saída da sonda resistiva em função em função da umidade volumétrica.



Pelos ajustes observados, pode-se utilizar a sonda FC-28 nas condições do experimento para manejar as irrigações em substrato comercial elevando a umidade do substrato até que o sinal de saída retorne variações próximas a 128 bits.

As sondas apresentaram comportamento condizente com o esperado conforme literatura citada, no qual o aumento da saturação representa diminuição da resistência elétrica do solo e essa relação se expressa adequadamente através do estabelecimento dos gráficos de calibração (Sreedeeep et al., 2004; Su et al., 2014).

Ao avaliar a incerteza na calibração de sensor de umidade resistivo, Lu e Chen (2007) observaram que equações lineares apresentam uma incerteza significativamente maior do que o ajuste obtido por modelos polinomiais, os quais oferecem melhor desempenho preditivo, e portanto, o uso de uma equação inadequada apresenta uma variação agregada cuja é a principal fonte de incerteza do ajuste nas calibrações.

Bhadani e Vashisht (2019) em seu projeto de desenvolvimento de um sistema para monitorar condições ambientais, demonstrou que o monitoramento da umidade no solo realizado com sondas FC – 28 associadas ao Arduino, apresenta resultados precisos quando comparados com sensores mais caros, cuja confiabilidade depende do operador, e são deste modo, passíveis de serem utilizados para determinação da umidade para automação da irrigação.

Ao calibrarem dois modelos comerciais de sensores resistivos (YL69 e YL100) em quatro tipos diferentes de solos, Alda et al. (2020) obtiveram ajuste médio com R^2 de 0,87. Para os autores apesar de não limitantes, os erros humanos, experimentais e da escolha de equações lineares para calibração foram desvantagens para a qualidade do ajuste obtido, entretanto, cada sensor apresenta uma resposta melhor ou pior em diferentes classes texturais de solo, e portanto, a calibração em laboratório é essencial para conhecer a precisão do sensor e uma pré-condição para eficiência na programação da irrigação com base na umidade do solo.

4. Conclusão

A umidade máxima disponível no substrato Bioplant foi de 0,56 cm³ cm⁻³ para um sinal de 128,09 bits, considerando uma densidade média de 0,155 g cm³.

O sinal de saída da sonda resistiva aumentou em resposta à redução do teor de umidade do substrato segundo modelo de terceira ordem e em intervalos distintos.

5. Referências

Abegaz, B. W.; Datta, T.; Mahajan, S. M. (2018). sensor technologies for the energy-water nexus – a review. **Applied Energy**, 210(15), 451-466.

Adla, S.; Rai, N. K.; Karumanchi, S. H.; Tripathi, S.; Disse, M.; Pande, S. (2020). Laboratory calibration and performance evaluation of low-cost capacitive and very low-cost resistive soil moisture sensors. **Sensors (Basel)**, v. 20(2), 363.

Bhadani, P.; Vashisht, V. (2019, July). Soil moisture, temperature and humidity measurement using arduino. **2019 9th international conference on cloud computing, data science & engineering (confluence)**. Noida, India, 567-571.

Corrêa, V. B.; Pezzopane, J. E. M.; Xavier, T. M. T.; Toledo, J. V.; Schwider, Y. S. (2013). Determinação da umidade para o desenvolvimento de mudas de eucalipto sob diferentes regimes térmicos. **Enciclopédia Biosfera**, 9(16), 711-722.

Dealextrême. Smart Tech & Life Fashion. (2020). **Placa Pro Mini ATmega328P 5V / 16MHz aprimorada + CH340G USB para Módulo Programador TTL para Arduino**. Disponível em: <<https://www.dx.com/p/improved-pro-mini-atmega328p-5v-16mhz-board-ch340g-usb-to-ttl-programmer-module-for-arduino-2065550.html#.X2zeLmhKjIU>>.

Ferrarezi, R. S., Dove, S. K., Van Iersel, M. W. (2015). An automated system for monitoring soil moisture and controlling irrigation using low-cost open-source microcontrollers. HortTechnology, 25(1),110-118.

González-Teruel, J. D., Torres-Sánchez, R., Blaya-Ros, P. J., Toledo-Moreo, A. B., Jiménez-Buendía, M.; Soto-Valles, F. (2019) Design and calibration of a low-cost SDI-12 soil moisture sensor. *Sensors*, 19(3), 491,

Gomes, f. H. F.; Cunha, f. N.; Lopes Filho, L.; Vidal, V. M.; Soares, f. A. L. S.; Teixeira, M. B. (2017). Calibração de um sensor de umidade do solo de baixo custo. **Revista Brasileira De Agricultura Irrigada**, 11(4), 1509-1516.

Kizito, F., Campbell, C. S., Campbell, G. S., Cobos, D. R., Teare, B. L., Carter, B., & Hopmans, J. W. (2008) Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor. **Journal of Hydrology**, 352(3-4), 367-378.

Kojima, Y.; Shigeta, R.; Miyamoto, N.; Shirahama, Y.; Nishioka, K.; Mizoguchi, M.; Kawahara, Y. (2016). Low-cost soil moisture profile probe using thin-film capacitors and a capacitive touch sensor. *Sensors*, 16(8), 1292.

Lu, T.; Chen, C. (2007). Uncertainty evaluation of humidity sensors calibrated by saturated salt solutions. **Measurement**, 40(6), 591-599.

Ratts, L., Landskron, G. R., Meus, L. D., Soilo, A. V., Alberto, C. M., Beutler, A. N. (2019). Desenvolvimento e calibração de sensores de baixo custo para a medição da umidade do solo. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 10(2).

Silva, G. O. S.; Aguiar, B. A. C.; Terra, D. C. V.; Sousa, R. M.; Fonseca, E. F.; Souza, P. B. (2019). Umidade do substrato e desempenho da emergência da espécie *anadenanthera peregrina* (L) speg. **Magistra**, v. 30, 336-341.

Sreedeeep, S.; Reshma, A. C.; Singh, D. N. (2004). Measuring soil electrical resistivity using a resistivity box and a resistivity probe. *Geotechnical Testing Journal*, 27(4), 411-415.

Su, S. L.; Singh, D. N.; Baghini, M. S. (2014). A critical review of soil moisture measurement. **Measurement**, v. 54. 92-105.

Tarzan. (2020). Soluções em eletrônica. **Shield Arduino | Sensor De Umidade De Solo Fc28**. Disponível em: <<https://www.tarzancomponentes.com.br/MLB-854377778-shield-arduino-sensor-de-umidade-de-solo-fc28-JM>>.