Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia
CONTECC'2018
Maceió - AL
21 a 24 de agosto de 2018

COMPARAÇÃO DE SENSORES RESISTIVOS COM DIFERENTES GEOMETRIAS DE ELETRODOS PARA UMIDADE DO SOLO

LUÍS GUILHERME RIBEIRO[1]; SERGIO LUIZ STEVAN JUNIOR [2];

[1]Mestrando em Computação Aplicada, UEPG, Ponta Grossa-PR, luisguicomp@gmail.com;
[2]Dr. em Engenharia Eletrônica, Prof. Adj. UTFPR, Ponta Grossa-PR, sstevanjr@gmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: Existem vários sensores que realizam a medida do teor de água no solo, entre eles os sensores resistivos mesmo sendo imprecisos (em torno de 10%) possuem diversas vantagens como: baixo custo, rápido tempo de resposta e insensibilidade a salinidade do solo. Na literatura a maioria dos sensores resistivos possuem um padrão na geometria de seus eletrodos. Além disso o material dos eletrodos é pouco explorado. Então neste trabalho é desenvolvido quatro sensores resistivos com diferentes geometrias de eletrodos, e realizado análises comparativas. Também é comparado três diferentes materiais na confecção dos eletrodos: aço, alumínio e cobre. O trabalho tem como objetivo realizar a comparação entre cinco sensores resistivos: um sensor comercial e quatro sensores desenvolvidos com diferentes geometrias e material. A comparação é realizada em termos de sensibilidade, precisão, repetibilidade e alcance. Nos resultados, o sensor com os eletrodos de aço obteve um maior alcance (76 mm). Em termos de precisão, os sensores de cobre obtiveram melhores precisões (8% e 9%), apesar de não haver diferenças significativas. E em termos de sensibilidade o sensor com eletrodos de alumínio obteve melhor resultado. Em relação a geometria dos eletrodos, quanto maior a área de contato melhor a precisão.
PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento, agricultura de precisão, irrigação.

COMPARISON OF RESISTIVE SENSORS WITH DIFFERENT GEOMETRIES OF ELECTRODES FOR SOIL MOISTURE

ABSTRACT: There are several sensors that perform the measurement of water content in the soil, among them resistive sensors, even being inaccurate (around 10%), have several advantages such as low cost, fast response time and soil salinity insensitivity. In the literature most resistive sensors have a pattern in the geometry of their electrodes. Moreover the material of electrodes still is little explored. So, in this work four resistive sensors with different electrode geometries were developed, and comparative analyzes were performed. Three different materials are also compared in the manufacture of electrodes: steel, aluminum and copper. The objective of this work is to compare five resistive sensors: a commercial sensor and four sensors developed with different geometries and material. The comparison is performed in terms of sensitivity, accuracy, repeatability and range. In the results, the sensor with the steel electrodes obtained a greater ranger (76 mm). In terms of accuracy, the copper sensors obtained better precision (8% and 9%), although there were no significant differences. And in terms of sensitivity the sensor with aluminum electrodes obtained better result. Regarding the geometry of the electrodes, the higher the contact area the better the accuracy.
KEYWORDS: Sensing, precision agriculture, irrigation.

INTRODUÇÃO

Na agricultura de precisão o principal motivo para monitorar a umidade do solo é para o controle de irrigação, pois quando realizada de maneira eficiente ajuda na economia de água, melhorando os rendimentos das plantas, reduz a dependência dos fertilizantes e melhora a qualidade das culturas (Hassan-Esfahani et al., 2014). Para realizar uma irrigação eficiente é necessário um sensoriamento de umidade do solo preciso, robusto e rápido (Reinert, 2006). Os sensores resistivos de umidade do solo

são altamente explorados na literatura, nos trabalhos de Singh et al., (2014), Gurav et al., (2015), Garg et al., (2016) e Bitella et al., (2014) são levantadas as principais vantagens e desvantagens do mesmo. As vantagens são: insensibilidade ao sal, rápido tempo de resposta, baixo custo, leituras podem ser lidas remotamente e medem o teor absoluto de água no solo. As desvantagens são: instabilidade na calibração, imprecisão nas medidas, sensível a temperatura do solo, oxidação dos eletrodos e curta vida útil. No trabalho de Gurav et al., (2015) é mostrado o funcionamento de um sensor resistivo, dois eletrodos são inseridos no solo e a tensão em todo o solo é medida, conforme o teor de umidade aumenta a condutividade efetiva do solo também aumenta.

Singh et al., (2014) afirmam que os sensores resistivos possuem alta imprecisão, em torno de 10% de erro. Portanto, visando suprir algumas desvantagens dos sensores resistivos, neste trabalho são desenvolvidos sensores com diferentes geometrias de eletrodos e material. Afim de obter sensores resistivos mais precisos, robustos e com maior alcance. Sendo assim, objetiva-se com este trabalho comparar cinco sensores resistivos: um sensor comercial e quatro sensores desenvolvidos, a comparação é realizada em termos de sensibilidade, precisão, repetibilidade e alcance.

MATERIAL E MÉTODOS

Para medir a umidade do solo, é levado em consideração resistividade entre os eletrodos no solo ou a resistividade de um material que está em equilíbrio com o solo (Pariza et al., 2012). Então a escolha do material dos eletrodos afeta diretamente a umidade do solo, neste trabalho foram utilizados três diferentes materiais para os eletrodos: aço, alumínio e cobre. Na tabela 1, é mostrado a resistividade e condutividade dos materiais trabalhados.

Tabela 1: Material e suas características elétricas à 20 °C.
Fonte: (Villate, 2010).

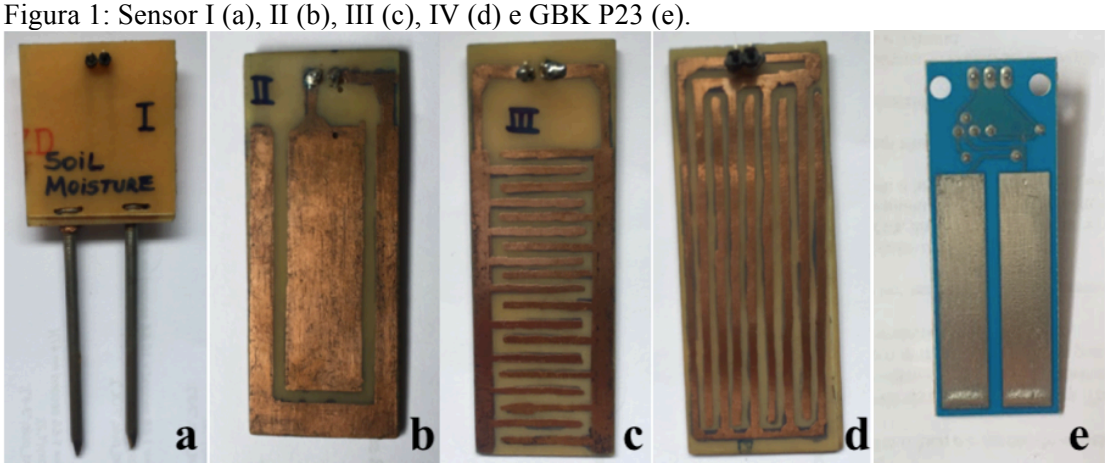
Material	**Resistividade (Ω.m)**	**Condutividade ($\Omega.m^{-1}$)**
Aço	20 x 10^{-8}	0.6 x 10^{7}
Alumínio	2,75 x 10^{-8}	3.8 x 10^{7}
Cobre	1,72 x 10^{-8}	6 x 10^{7}

Afim de avaliar o desempenho foram utilizados cinco sensores com diferentes geometrias de eletrodos e material, três sensores possuem eletrodos de cobre, um de aço e um de alumínio. O sensor que possui o eletrodo de alumínio (GBK P23) é um sensor comercial, constituído por duas sondas metálicas em apenas um lado de sua face (Figura 1e) (GBK Robotics, 2018). Os demais sensores foram desenvolvidos e nomeados como sensor I, sensor II, sensor III e sensor IV. O sensor I possui dois eletrodos de aço, e a geometrica dos eletrodos é circular (Figura 1a). Os sensores II, III e IV, ambos são constituídos por placa de fenolite com eletrodos de cobre nas duas faces, e seus eletrodos possuem diferentes geometrias (Figura 1b, c e d). A tabela 3 mostra as dimensões e carecterísticas dos sensores trabalhados.

Tabela 3: Sensores e suas características.

	Sensor I	**Sensor II**	**Sensor III**	**Sensor IV**	**Sensor GBK**
Material dos eletrodos	Aço	Cobre	Cobre	Cobre	Aluminio
Tamanho do sensor	100x35mm	67x27mm	80x28mm	67x27mm	53x20mm
Tamanho dos eletrodos	55mm ∅4mm	20x2mm	44x8mm	55x1,5mm	35x8mm
Distância entre os eletrodos	15mm	4mm	3mm	2mm	2mm
Área de contato dos eletrodos	440 mm^2	2200 mm^2	2184 mm^2	1485mm^2	560 mm^2

Figura 1: Sensor I (a), II (b), III (c), IV (d) e GBK P23 (e).



Na amplificação de sinal dos sensores desenvolvidos foi utilizado um módulo comercial denominado como *YL-38*, responsável por fornecer o sinal analógico. Este módulo é alimentado com 5Vdc, fornecendo uma tensão de saída de 0 a 4.2V e corrente de 35mA.

Para realizar a calibração dos sensores foi utilizado um copo de água, e então é mergulhado toda a área dos eletrodos para cada sensor e analisado o valor analógico (varia entre 0 a 1023), o valor marcado considera-se uma umidade de 100%. Ao realizar a calibração percebe-se que certa linearidade do sinal analógico gerado pelos sensores.

EXPERIMENTOS

Afim de medir a sensibilidade, precisão, repetibilidade e alcance. Foram realizados três experimentos, utilizando o microcontrolador *ATmega328* para aquisição dos dados. Para análise estatística foi utilizado o *software R*. Os experimentos serão mostrados a seguir.

Experimento 1: Alcance

Alcance é a região entre os limites máximo e mínimo nos quais a quantidade medida, recebida ou transmitida pode variar (Braga et al., 2010). Para obter a faixa dos sensores é realizado o seguinte experimento: os sensores foram colocados dentro de uma amostra de solo, então é adicionado 50 ml de água a uma distância, e verificado se existe alguma variação, se existe (mesmo que mínima) esta é o máximo alcance de operação do sensor.

Experimento 2: Repetibilidade e Precisão

Repetibilidade é a medida da capacidade de um instrumento repetir a mesma saída (medida) para um dado valor, quando a mesma entrada é aplicada varias vezes (Braga et al., 2010). Para realizar esta análise foi realizado o seguinte experimento: foram capturados 50 vezes o resultado da medida no mesmo lugar para cada sensor, utilizado a seguinte definição (1) matemática:

$$Rp = \frac{(máx - min) * 100}{Fundo\ Escala} \qquad (1)$$

Onde ***máx*** é valor máximo de variação, ***min*** é menor valor de variação e ***Fundo Escala*** é o valor máximo absoluto de medida (100%).

De acordo com Braga et al., (2010) a precisão é a medida da consistência do sensor e indica a sua repetibilidade, isto é qual a capacidade do sensor em indicar o mesmo valor, estando nas mesmas condições de operação, em um dado período de tempo. Em geral, os instrumentos são especificados em termos de sua exatidão (acurácia) e não da sua precisão. Buscando verificar possíveis diferenças entre a precisão dos sensores, foi executado o teste estatístico de *Friedman* considerando um α de 0,05, sendo que para aferir em quais pareamentos a diferença existiu um teste de *post-hoc* se fez necessário.

Experimento 3: Sensibilidade

De acordo com a definição de Braga et al., (2010) a sensibilidade mede o grau de variação da saída com variações de entrada. Para realizar esta comparação foi realizado o seguinte experimento: foram colocados os cinco sensores ao mesmo tempo para medir a umidade de uma amostra de solo, em certos períodos de tempo foram adicionados 50 ml de água na proximidade dos sensores, então os sensores que obtiverem maior variação em menos tempo possui maior sensibilidade. Para a análise estatística considerou-se apenas as amostras com maior variação (quando houve adição de água), também foi aplicado o teste estatístico de *Friedman* considerando um α de 0,05 e o *post-hoc* para aferir os pareamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 2. Resultado experimento 1 (alcance).

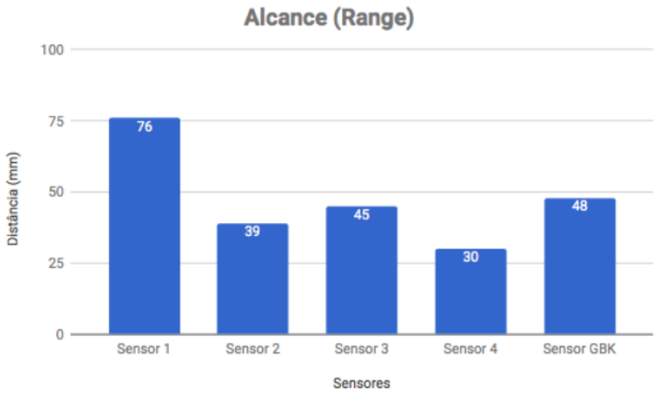


Figura 3. Resultado experimento 2 (repetibilidade e precisão).

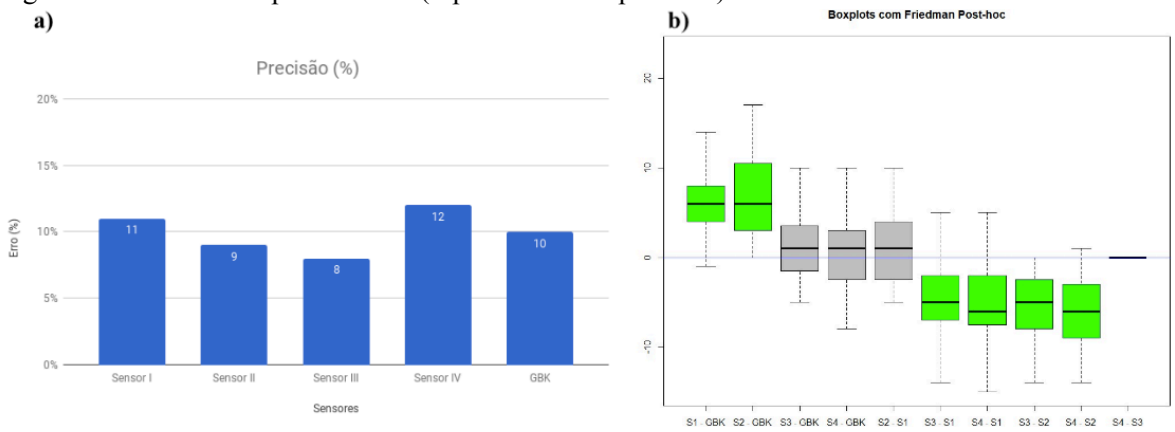
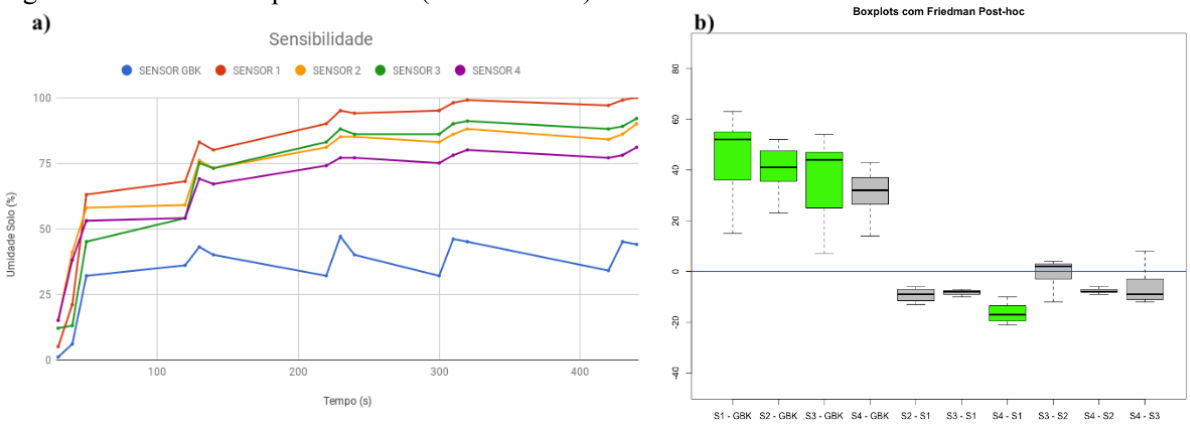


Figura 4. Resultado experimento 3 (sensibilidade).



Em termos de alcance o sensor I obteve o melhor resultado com 76 mm (Figura 2), seguido do GBK (48 mm) e sensor III (45 mm), isto pode ser explicado pelo material e geometria dos eletrodos do sensor I.

Em termos de repetibilidade e precisão, o sensor III demonstrou ser mais preciso com 8%, e o sensor IV apresentou um erro de 4% superior ao caso anterior (Figura 3a). Isso se justifica pela geometria dos eletrodos, onde aqueles que possuem maiores áreas de contato com o solo tendem a ser mais precisos. A aplicação do teste estatístico demonstrou que o sensor III quando comparado com o I e II obteve diferenças significativas (Figura 3b).

Em termos de sensibilidade o GBK P23 demonstrou melhor desempenho (Figura 4a), por meio da análise estatística é demonstrado diferenças significativas do GBK P23 em relação ao sensor I, II e III (Figura 4b).

CONCLUSÃO

Este trabalho obteve resultados da comparação de sensores com diferentes características, isso contribui para o desenvolvimento de novos sensores de umidade do solo, otimizados em termos de alcance, precisão, repetibilidade e sensibilidade. Foi demonstrado que em termos de precisão o sensor III (cobre) foi melhor, em termos de alcance o sensor I (alumínio) obteve melhor resultado, e em termos de sensibilidade o sensor GBK P23 (alumínio) demonstrou ser superior.

REFERÊNCIAS

Bitella, G; Rossi, R; Bochichhio, R; Perniola, M; Amato, M. A novel low-cost open- hardware platform for monitoring soil water content and multiple soil-air-vegetation parameters. Sensors. 14:19639-19659. DOI: 10.3390/s141019639. 2014.

Braga et al. Instrumentação Industrial. DAAE / CEFET-Minas Gerais. 2010.

Garg et al. Application Of Soil Moisture Sensors In Agriculture: A Review. Proceedings of International Conference on Hydraulics, Water Resources and Coastal Engineering, CWPRS Pune, India. 2016.

Gava et al. Calibração De Sensor Eletrônico De Umidade Em Diferentes Texturas De Solo. Brazilian Journal of Biosystems Engineering v. 10(2): 154-162, 2016.

GBK Robotics. P23 – Módulo Sensor de Umidade. Disponível em <https://goo.gl/gY5eSe> acessado 11 de abril de 2018.

Gurav et al. A wireless multi-sensor system for soil moisture measurement. Conference Paper. 2015.

Hassan-Esfahani et al. Topsoil Moisture Estimation For Precision Agriculture Using Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery. Utah Water Research Laboratory, Utah State University, 8200 Old Main Hill, Logan, UT, USA, 2014.

Pariza, D; Ashi, Q; Ruchi, B; Syed, A. A Review of the Methods Available for Estimating Soil Moisture and its Implications for Water Resource Management. Journal of Hydrology, v. 458-459, p. 110 - 117. 2012.

Reinert, D. J; Reinert, J. M. Propriedades física do solo. Universidade Estadual de Santa Maria, 2006.

Singh. D, N. Baghini. E, S. Susha Lekshmi S.U. A critical review of soil moisture measurement. Measurement, 2014.

Villate, J.E. Eletricidade e Magnetismo. Creative Commons Atribuição-Partilha ISBN 978-972-99396-2-4. Porto. 2013.