

## **CALIBRAÇÃO DA SONDA HIDROFARM PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA DO SOLO SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE**

W. R. S. Costa<sup>1</sup>, P. H. M. de S. Carvalho<sup>2</sup>, J. da S. e Silva<sup>3</sup>, T. da S. Felisberto<sup>4</sup>, S. O. P. de Queiroz<sup>5</sup>

**RESUMO:** O uso de sensores para o manejo da irrigação via solo, viabiliza a obtenção e aquisição de dados do conteúdo de água do solo, em diferentes locais, profundidades e intervalos de tempo, permitindo o monitoramento e estudo do movimento da água no solo, especialmente em áreas fertirrigadas. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência da elevação da salinidade do solo, sobre a exatidão das leituras de teor de água efetuadas através da sonda modelo HidroFarm, marca Falker. Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão, sendo ainda determinado o coeficiente de concordância e o índice de desempenho. Os resultados indicam que a sonda sofre considerável influência da condutividade elétrica do solo em níveis superiores a  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , passando a subestimar o valor real, no entanto, combinada com a curva de calibração, possui boa recomendação para realização do manejo da irrigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** FDR, condutividade elétrica, umidade no solo.

## **CALIBRATION OF THE HIDROFARM PROBE FOR DETERMINING THE VOLUME OF SOIL WATER UNDER DIFFERENT LEVELS OF SALINITY**

**ABSTRACT:** The use of sensors for soil irrigation management makes it possible to obtain and acquire soil water content data in different locations, depths and time intervals, allowing the monitoring and study of water movement in the soil, especially in fertigated areas. The objective of this task was to analyze the influence of the elevation of the salinity of the soil with the accuracy of the readings of water content made through the Falder model HidroFarm probe. The data was submitted to regression analysis, and the coefficient of agreement and performance index were determined. The results indicate that the probe suffers considerable

<sup>1</sup>Acadêmico de Engenharia Agrônoma, UNEB – Juazeiro - Bahia. Email: ralfw20@gmail.com

<sup>2</sup>Acadêmico de Engenharia Agrônoma, UNEB – Juazeiro - Bahia. Email: pedrocarvalho2008@hotmail.com

<sup>3</sup>Acadêmico de Engenharia Agrônoma, UNEB – Juazeiro - Bahia. Email: jamersonsilva28@gmail.com

<sup>4</sup>Graduado em Engenharia Agrônoma, UNEB – Juazeiro - Bahia, Coordenador de irrigação – AGROVALE. Email: thomazvilbe@hotmail.com

<sup>5</sup>Doutor, Pesquisador e Professor titular da Universidade do Estado da Bahia – UNEB – Juazeiro – Bahia. Email: sopqueiroz@gmail.com

influence of the electrical conductivity of the soil at levels higher than  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , underestimating the actual value, however, when combined with the calibration curve, it shows good recommendation for irrigation management.

**KEYWORDS:** FDR, electrical conductivity, soil moisture.

## INTRODUÇÃO

O manejo da irrigação é fundamental ao desenvolvimento de uma agricultura racional e sustentável, tendo em vista que o uso da água está diretamente relacionado à elevação de produtividade e qualidade dos cultivos agrícolas. O monitoramento do teor de água no solo surge como ferramenta de interesse ao manejo da irrigação, permitindo conhecer o armazenamento de água do solo e realizar o ajuste da lâmina de irrigação a aplicar, minimizando perdas por percolação de água e lixiviação de nutrientes, garantindo a sustentabilidade ambiental e econômica da agricultura irrigada.

O monitoramento do teor de água pode ser realizado por meio de sondas, em que se baseiam no princípio da reflectometria no domínio da frequência (FDR), também denominadas como sondas de capacitância, consistem em eletrodos ou placas metálicas, separadas por material isolante formando um capacitor, capazes de realizar medidas dielétricas do teor de água em um volume de solo, sendo a matriz solo-água-ar o meio dielétrico deste capacitor. A capacitância aumenta com o aumento do número de moléculas de água livre (PALTINEANU & STARR, 1997), constituindo-se em um método indireto de determinação da umidade do solo, havendo necessidade da obtenção de curvas de calibração específicas para cada solo, de modo a elevar a exatidão da estimativa do teor de água.

Diversos são os autores que têm relatado sobre a necessidade da obtenção de curvas de calibração específicas para cada solo, permitindo elevar a exatidão das leituras obtidas através de sondas baseadas na FDR (LIMA al., 2012; GOMES et al., 2013; SOUZA et al., 2013) e a calibração em laboratório com amostras representativas da área de interesse pode viabilizar tal ajuste. Apesar de o equipamento dispor de uma calibração universal, o fabricante, bem como os resultados na literatura (FARES et al., 2004; GROVES e ROSE, 2004; SANTOS et al., 2006), ressaltam que calibrações locais podem melhorar a exatidão das leituras obtidas pelo equipamento, permitindo um melhor desempenho em campo.

A presença de sais promove o aumento da condutividade elétrica do solo, o que pode provocar interferência na determinação da umidade obtida por sensores baseados em metodologias eletromagnéticas (BARBOSA, 2011). A elevação na salinidade da solução do

solo pode ocorrer por processos naturais de salinização do solo, mas a adição de fertilizantes ao substrato de produção, por meio da técnica de fertirrigação, contribui decisivamente para flutuações da salinidade da solução do solo, durante o ciclo de produção de uma cultura, podendo afetar a estimativa da lâmina de reposição de água por irrigação, expondo as culturas ao estresse hídrico. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência da elevação da salinidade do solo sobre a exatidão das leituras de teor de água, efetuadas através de sonda baseada no princípio da reflectometria de microondas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica, Irrigação e Drenagem – HIDREN, do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – DTCS, da Universidade do Estado da Bahia - UNEB. Foram coletados dois solos com diferentes texturas em perímetros de irrigação, localizados no município de Juazeiro, BA. As amostras foram coletadas na camada arável do solo, na profundidade de 0 a 0,40 m, sendo posteriormente enviadas ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do DTCS, para caracterização física através de análise granulométrica e densidade do solo, conforme EMBRAPA (1997). A determinação da condutividade elétrica inicial do solo foi realizada através do método padrão do extrato de saturação, como preconizado por Richards (1954).

Para obtenção da curva de salinização, as amostras de solo inicialmente foram postas a secar ao ar e, então, acondicionadas em quarenta recipientes de plásticos com volume de 500 mL. Em seguida, os solos foram levados à saturação em soluções com salinidade crescente de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 dS m<sup>-1</sup>, repetidas três vezes. As amostras dos solos foram secas ao ar, quando, então, determinou-se a condutividade elétrica do solo pelo método padrão do extrato de saturação (RICHARDS, 1954). Adotou-se delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados, com cinco níveis de condutividade elétrica e cinco repetições.

Tais determinações foram realizadas antes do início do experimento, de modo a reproduzir, nos recipientes plásticos, condições semelhantes àquelas do solo em seu estado original.

Cada tipo de solo foi acondicionado em vasos plásticos com volume de 5 L, sob condições de densidade próxima àquelas do estado natural, determinada previamente pela retirada de anéis volumétricos para os solos em estudo, e devidamente identificados em sequência e taradas. Os recipientes foram divididos em lotes separados, com cinco amostras que foram levadas à saturação, em solução com salinidade determinada através da equação

gerada pela curva de salinização do solo para obtenção de salinidade do solo de 0, 1, 2, 3 e 4 dS m<sup>-1</sup>, utilizando Sulfato de Magnésio como fonte salina.

Após a saturação, os solos foram mantidos em condição ambiente de laboratório para realização das leituras de constante dielétrica, em intervalos de 24 horas. Após as leituras de constante dielétrica, foram realizadas as pesagens dos vasos para o monitoramento da umidade gravimétrica do solo (u) em cada recipiente. Essa, por sua vez, foi convertida à umidade volumétrica ( $\theta$ ) através da densidade do solo, sendo determinadas como descrito a seguir (EMBRAPA, 1997):

$$D_s = M_s / V_c \quad (1)$$

Em que:

D<sub>s</sub> - densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>);

M<sub>s</sub> - massa de solo seco (g);

V<sub>c</sub> - volume do anel volumétrico (cm<sup>3</sup>).

$$U = M_a / M_s \quad (2)$$

Em que:

U = umidade gravimétrica (g g<sup>-1</sup>);

M<sub>a</sub> - massa de água (g);

M<sub>s</sub> - massa de solo seco (g).

$$\theta = D_s \cdot U \quad (3)$$

Em que:

$\Theta$  = Umidade volumétrica (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>),

D<sub>s</sub> - densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>)

U - Umidade gravimétrica (g g<sup>-1</sup>).

Para obtenção dos dados de constante dielétrica em diferentes níveis de salinização do solo, foi utilizada a sonda HidorFarm (FDR), da marca Falker modelo HFM 2010, inserida verticalmente nos substratos salinizados, obtendo-se a umidade volumétrica para o solo avaliado, desta forma, foram construídas curvas de calibração, utilizando a reflectometria de microondas, gerando, também, equações de ajuste das leituras de umidade volumétrica do solo sob diferentes níveis de salinidade.

Com base nos resultados obtidos, foram ajustadas equações de regressão linear, onde a variável independente foi representada pelas leituras de Umidade Gravimétrica, e a variável dependente representada pelas leituras obtidas através da Sonda HidroFarm. Em seguida, foram

feitas análises comparativas usando o índice de correlação “r” (Tabela 1), exatidão “d” (WILLMOTT et al., 1985) e desempenho “c” (Tabela 1) sugeridos por Camargo & Sentelhas (1997), a partir das seguintes equações:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2][\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}}$$

Em que:

$x_1$  e  $y_2$ : valores medidos das variáveis x e y;

$\bar{x}$  e  $\bar{y}$ : médias dos valores medidos de x e y.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n [(|P_i - \bar{O}|) + (O_i - \bar{O})]^2}$$

Em que:

$P_i$  - valor estimado;

$O_i$  - valor observado;

$\bar{O}$  - média dos valores observados.

$c = r * d$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de umidade do solo obtidos com a sonda HydroFarm, é diretamente influenciado pela presença de sais no solo, quando comparados aqueles obtidos através do método gravimétrico, em Neossolo Flúvico de textura arenosa, sob condutividade Elétrica do Solo ( $CE_{es}$ ) em: 0,44, 1, 2, 3 e 4  $dS m^{-1}$ , estão apresentados nas figuras de 1 a 5. Observa-se que os resultados indicam uma relação linear entre as leituras obtidas através das duas metodologias, mesmo com a elevação da salinidade do solo. Nas Figuras 1 e 2 é possível observar que os valores de umidade do solo medidos pela sonda HydroFarm subestimam os valores de umidade do solo obtidos pelo método padrão, sob  $CE_{es}$  entre 0,44 a 3  $dS m^{-1}$ ; no entanto, na figura 5, é possível observar que o modelo se aproxima da reta tracejada que indica a relação 1:1 ou seja,  $x = y$ , quando se eleva a salinidade e umidade do solo.

Na figura 1 a 5, verifica-se que, sob níveis de CE do solo acima de 0,44  $dS m^{-1}$ , ocorre uma subestimativa da umidade do solo medida pela sonda HydroFarm, possivelmente em função da elevação da influência da parte imaginária da constante dielétrica, como resultado da dissipação do sinal emitido pela sonda.

Na tabela 1 estão apresentados os índices de desempenho, coeficiente de concordância, coeficiente de correlação, coeficiente de determinação e as respectivas equações de calibração da sonda HidroFarm, sob diferentes níveis de  $CE_{es}$  do solo, podendo-se observar que os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) se mantiveram acima de 0,90 até  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ , indicando uma baixa variabilidade dos resultados obtidos pela sonda com a elevação da salinidade. Porém, sob  $CE_{es}$  em  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , característica de solos salinos, verifica-se a influência da salinidade sobre as leituras pela sonda, reduzindo a confiabilidade dos valores de umidade obtidos. Os valores de coeficientes de concordância (d) evidenciam que, com elevação da  $CE_{es}$  do solo nas leituras da sonda, a relação média entre a linha de tendência linear gerada entre os dados da sonda HidroFarm e os obtidos pelo método gravimétrico tendem a se distanciar da reta 1:1. Os coeficientes de correlação (r) se mantiveram acima ao valor mínimo de 0,84 sugerido por Draper e Smith (1981) e Veiga e Sáfadi (1999) para ajustes de tais curvas, sendo superiores àqueles relatados por Gomes et al. (2013). Os índices de desempenho do equipamento foram superiores a 0,61, demonstrando um desempenho mediano, nos níveis de salinidade de até  $2 \text{ dS m}^{-1}$ . Todavia, sob níveis entre 3 e  $4 \text{ dS m}^{-1}$  apresentaram valores inferiores, indicando que as leituras do instrumento sofrem interferência em sua exatidão, comprometendo o seu desempenho. Verifica-se que a utilização da sonda HidroFarm no manejo da irrigação é promissora sob níveis de condutividade elétrica inferiores a  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , estado em que devem prevalecer nos solos sob fertirrigação ao longo do ciclo produtivo das culturas, de acordo com as condições experimentais aos quais a sonda foi submetida.

## CONCLUSÃO

Para as condições experimentais, é possível concluir que a elevação na condutividade elétrica do solo interfere na exatidão das leituras da sonda, especialmente sob níveis superiores a  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , resultando em subestimativa dos valores de umidade.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, M. A. G. Calibração e uso de sensores FDR para determinação da umidade e salinidade em dois tipos de solos. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2011.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, n.1, p. 89-97, 1997.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. John Wiley, 1981. 232 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análise e solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

FALKER. HidroFarm – Medidor eletrônico de umidade do solo. Disponível em <<http://www.falker.com.br/Produto.php?id=28>>. Acesso em: 13 de abr. de 2013.

GOMES, E. P. et al. Avaliação do medidor eletrônico de umidade do solo “HidroFarm” em LATOSSOLO VERMELHO Distroférico. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.7, n°. 1, p. 85 - 90, 2013.

LIMA, J. E. F. W; SILVA, E. M.; SANTOS, R. M; KOIDE S. Avaliação do Desempenho de Sonda de Capacitância no Monitoramento da Umidade de Latossolos do Cerrado em Condições de Campo. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 1, p. 23-32, 2012.

PALTINEANU, I. C.; STARR, J. L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 61, n.6, p.1576-1585, 1997.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.de.; CATARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAWS, W. J.; AHUJA, L. R.; BRAKENSIEK, D. L.; SHIRMOHAMMADI, A. (1992) Infiltration and soil water movement. In: MAIDMENT, D.R. (Ed.) *Handbook of hydrology*. New York: McGraw Hill, p.5.1-5.51.

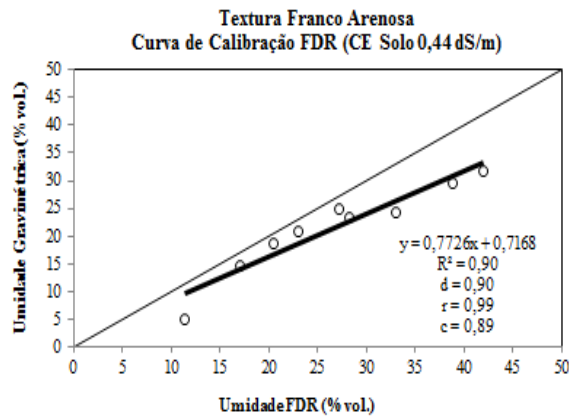
SOUZA, L. F. ET AL. Calibração de Sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. *Irriga, Botucatu*, v. 18, n. 4, p. 597-606, outubro-dezembro, 2013.

VEIGA, R.D; SÁFADI, T. *Análise de regressão e séries temporais*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. 57p.

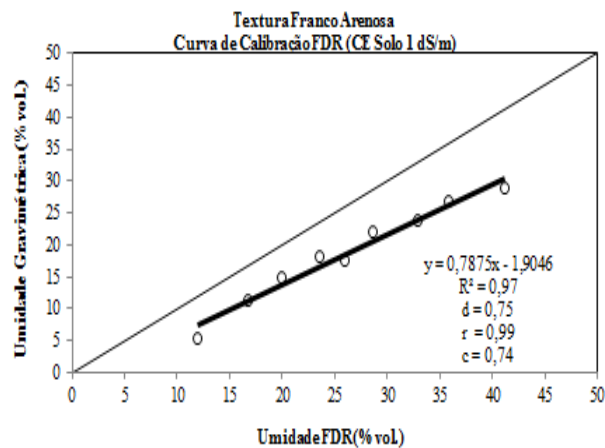
WILLMOTT, C.J., ACKLESON, S.G., DAVIS, R.E. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

**Tabela 1.** O coeficiente de correlação de Pearson (r) e critérios de avaliação do desempenho da Sonda HidroFarm na estimativa da umidade do solo

Coeficiente de Correlação	Correlação	Índice de Desempenho (c)	Desempenho
$r = 1$	Perfeita positiva	$> 0,85$	Ótimo
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva	$0,76 - 0,85$	Muito Bom
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva	$0,66 - 0,75$	Bom
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva	$0,61 - 0,65$	Mediano
$0 < r < 0,1$	Ínfima positiva	$0,51 - 0,60$	Ruim
$r = 0$	Nula	$0,41 - 0,50$	Muito Ruim
		$< 0,40$	Péssimo

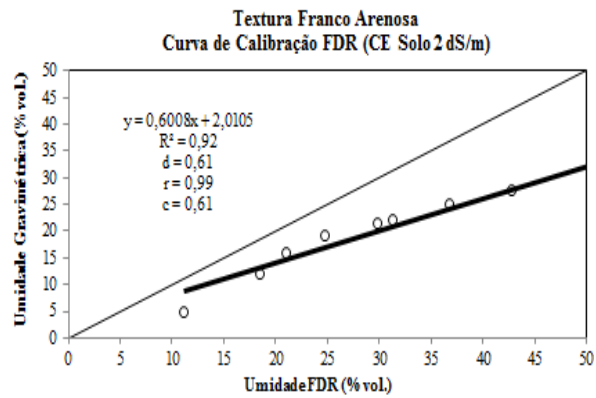


**Figura 1.** Análise de regressão para valores de umidade obtidos através de gravimetria e da FDR, saturado em solução com condutividade elétrica em  $0,44 \text{ dS/m}^{-1}$  a  $25^\circ \text{C}$ , em solo de textura arenosa.

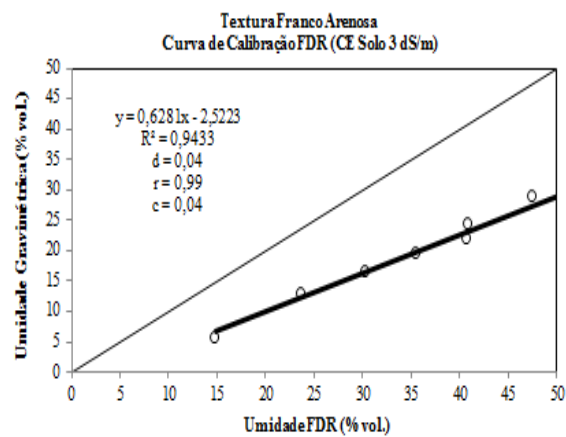


**Figura 2.** Análise de regressão para valores de umidade obtidos através de gravimetria e da FDR, saturado em solução com condutividade elétrica em  $1,0 \text{ dS/m}$  a  $25^\circ \text{C}$ , em solo de textura arenosa.

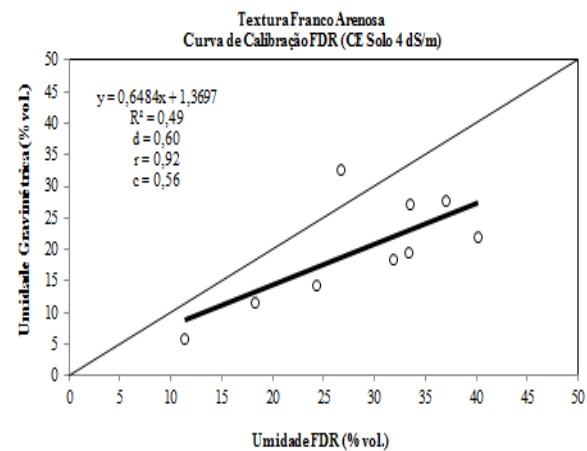




**Figura 3.** Análise de regressão para valores de umidade obtidos através de gravimetria e da FDR, saturado em solução com condutividade elétrica em 2,0 dS/m a 25° C, em solo de textura arenosa.



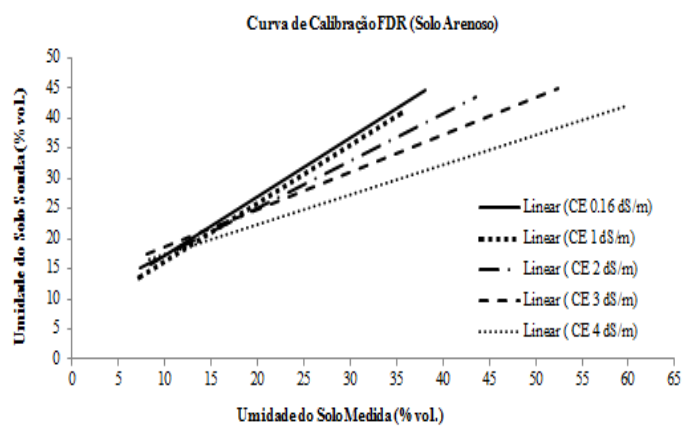
**Figura 4.** Análise de regressão para valores de umidade obtidos através de gravimetria e da FDR, saturado em solução com condutividade elétrica em 3,0 dS/m a 25° C, em solo de textura arenosa.



**Figura 5.** Análise de regressão para valores de umidade obtidos através de gravimetria e da FDR, saturado em solução com condutividade elétrica em 4,0 dS/m a 25° C, em solo de textura arenosa.

**Tabela 2.** Índice de Desempenho (c), Coeficientes de concordância (d), Coeficiente de correlação (r), Coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e Equação de Calibração da sonda HydroFarm em diferentes níveis de Condutividade Elétrica do Solo

Condutividade Elétrica do Solo	Textura do Solo	Equação	R <sup>2</sup>	d	r	c
0,44 dS/m	Arenosa	$y = 0,7726x + 0,7168$	0,9	0,9	0,99	0,89
1 dS/m	Arenosa	$y = 0,7875x - 1,9046$	0,97	0,75	0,99	0,74
2 dS/m	Arenosa	$y = 0,6008x + 2,0105$	0,92	0,61	0,99	0,61
3 dS/m	Arenosa	$y = 0,6281x - 2,5223$	0,94	0,04	0,99	0,04
4 dS/m	Arenosa	$y = 0,6484x + 1,3697$	0,49	0,6	0,92	0,56



**Figura 6.** Influência da Condutividade Elétrica (CE) do Solo no desempenho da sonda HydroFarm na estimativa da Umidade do Solo.