

**Calibração do sensor capacitivo de umidade do solo EC-5 em resposta a granulometria do solo****Calibration of the EC-5 capacitive soil moisture sensor in response to soil granulometry**

DOI:10.34117/bjdv6n4-043

Recebimento dos originais: 02/03/2020

Aceitação para publicação: 02/04/2020

**Carolina Carvalho Rocha Sena**

Doutoranda em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás  
Instituição: Universidade Federal de Goiás  
Endereço: Av. Esperança, s/n. Campus Samambaia. Goiânia/Go  
E-mail: eng.carolinasena@gmail.com

**José Alves Junior**

Doutor em Irrigação e Drenagem pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP  
Instituição: Universidade Federal de Goiás  
Endereço: Av. Esperança, s/n. Campus Samambaia. Goiânia/Go  
E-mail: josealvesufg@yahoo.com.br

**Marcus Vinicius Honorato Domingos**

Mestrando em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás  
Instituição: Universidade Federal de Goiás  
Endereço: Av. Esperança, s/n. Campus Samambaia. Goiânia/Go  
E-mail: marcus-domingos@hotmail.com

**Elson de Jesus Antunes Junior**

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás  
Instituição: Centro Universitario de Anápolis – UniEvangélica  
Endereço: Av. Universitária Km 3,5 Cidade Universitária - Anápolis/GO  
E-mail: elson.j.jr@gmail.com

**Rafael Battisti**

Doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP  
Instituição: Universidade Federal de Goiás  
Endereço: Av. Esperança, s/n. Campus Samambaia. Goiânia/Go  
E-mail: r.battisti@hotmail.com

**Adão Wagner Pegô Evangelista**

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa  
Instituição: Universidade Federal de Goiás  
Endereço: Av. Esperança, s/n. Campus Samambaia. Goiânia/Go  
E-mail: awpego@bol.com.br

**Derblai Casaroli**

Doutor em Física do Ambiente Agrícola pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Av. Esperança, s/n. Campus Samambaia. Goiânia/Go

E-mail: derblaicasaroli@yahoo.com.br

**RESUMO**

A precisão dos sensores capacitivos utilizados na estimativa do teor de água no solo são dependentes das características do solo, necessitando de calibração para sua correção. O objetivo deste estudo foi calibrar o sensor capacitivo EC-5 para a estimativa do conteúdo de água no solo em relação a diferentes granulometria do solo do cerrado. Em condições de laboratório, comparou-se a variação da umidade dos solos Argila Arenosa, Franco Argilo Arenoso e Argila pelo sensor EC-5 e pelo método volumétrico. As amostras foram coletadas nas camadas de 0,00 a 0,10; 0,10 a 0,30 e 0,30 a 0,50 m em áreas de pivô central no cerrado goiano. O solo foi saturado e seco em estufa a 40°C até peso constante, esse procedimento foi repetido três vezes. Os índices estatísticos analisados mostraram que o sensor EC-5 pode ser utilizado para a determinação da umidade do solo sendo necessário a calibração do mesmo para cada tipo de solo. O solo Argila Arenosa obteve o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) maior que 0,95; para o solo Franco Argilo arenoso o  $r^2$  foi igual ou maior a 0,93 e para o solo de textura Argila o  $r^2$  foi superior a 0,81. Para a calibração do sensor EC-5 considerando o teor de argila a no solo é necessário utilizar da equação:  $\theta_{vol}=0,0758-0,0023*Arg\%-1,056* \theta_{EC-5}$ .

**Palavras-chave:** Manejo da irrigação; Conteúdo de água no solo; Física do solo**ABSTRACT**

The accuracy of the capacitive sensors used to estimate the water content in the soil depends on the soil resources, requiring calibration for its correction. The objective of this study was to calibrate the EC-5 capacitive sensor to estimate soil water content in relation to different cerrado soil granulometry. Under laboratory conditions, the moisture variation of the Sandy Clay, Franco Sandy Clay and Clay soils was compared by the EC-5 sensor and the volumetric method. Samples were collected in the layers from 0.00 to 0.10; 0.10 to 0.30 and 0.30 to 0.50 m in central pivot areas in the Cerrado of Goiás. The soil was saturated and oven dried at 40°C to constant weight, this procedure was repeated three times. The statistical indices analyzed showed that the EC-5 sensor can be used for soil moisture determination and its calibration is required for each soil type. The sandy clay soil had a coefficient of determination ( $r^2$ ) greater than 0.95; for Franco sandy clay soil  $r^2$  was equal to or greater than 0.93 and for clay textured soil  $r^2$  was greater than 0.81. To calibrate the EC-5 sensor considering the clay content in the soil it is necessary to use the equation:  $\theta_{vol}=0.0758-0.0023*Clay\%-1.056* \theta_{EC-5}$ .

**Key words:** Irrigation Management; Soil water content; Soil physics

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento e monitoramento do conteúdo de água no solo detém importante ferramenta para o fornecimento de informações destinadas a gestão da agricultura, como manejo da irrigação; estudos hidrológicos e calibração e validação de modelos de água no solo (PAYERO et al., 2017; PIZETTA et al., 2017). A determinação da umidade do solo pelo o método direto (método padrão) é considerado preciso e de baixo custo, entretanto é destrutivo e altamente trabalhoso, impossibilitando tomadas de decisões rápidas em campo (MATOS et al., 2017).

Em resposta a essas deficiências no monitoramento do solo o uso de sensores eletromagnéticos (método indireto) apresentam-se como uma alternativas viáveis, uma vez que estes podem fornecer e registrar valores atuais de conteúdo de água de forma não destrutiva e instantânea (GOMES et al., 2017; PIZETTA, 2017), levando a redução significativa do uso da água enquanto mantém ou aumenta os rendimentos da cultura (PEREIRA et al., 2018; GASCH et al., 2017).

Os sensores capacitivos fazem uso da Reflectometria do Domínio da Frequência (FDR) para a quantificação do conteúdo de água no solo, baseando-se na constante dielétrica da matriz do solo (MATOS et al., 2017; SOUZA et al., 2013), desse modo características específicas do solo, como temperatura, textura, salinidade, densidade do solo mineralogia; podem influenciar a precisão da leitura do sensores de umidade exigindo calibração do sensor que responda por condições específicas (GASCH et al., 2017; FARES et al., 2015).

Há estudos que mostram a importância da calibração de sensores de umidade e da confecção de curvas de calibração para cada tipo de solo, estrutura e profundidade, seja em condição de laboratório ou em campo (SOUZA et al., 2013; PARVIN e DÉGRE, 2015). E que essas calibrações possibilitaram o incremento da precisão do sensores na leitura do teor de água no solo (PEREIRA et al., 2018; PIZETTA, 2017; GOMES et al., 2017; GASCH et al., 2017; PAYERO et al., 2017).

Silva et al. (2012) realizaram a calibração de sonda de capacitância em um Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso, relataram que as calibrações padrão do fabricante não se mostraram adequadas para emprego em diferentes profundidades e locais diferentes locais e profundidades de amostragem. Souza et al. (2013) ao calibrarem sonda de FDR e TDR observaram que os valores apresentados pelos sensores podem subestimarem ou superestimarem, a umidade do solo quando comparados a umidade determinada pelo o método padrão. Antunes Junior et al. (2018) concluíram que após a calibração d sensor EC-5, este

apresenta alta acurácia na obtenção do conteúdo de água no solo para o Latossolo Vermelho distrófico.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi calibrar o sensor capacitivo EC-5 para a estimativa do conteúdo de água no solo em relação a diferentes granulometria do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia (Goiânia – GO). Os solos utilizados foram coletados em áreas cultivadas com tomate para processamento industrial irrigadas por pivô central nas regiões de Anápolis (16°26'17"S 48°50'17"O, 948 m), Corumbá de Goiás (15°56'46"S 48°51'03"O, 963 m) e Palmeiras de Goiás (16°41'45"S 49°53'04"O, 595 m) – Goiás.

As amostras de solo indeformadas foram coletadas utilizando anéis de Uhland com dimensões aproximadas de 4,82 cm de diâmetro e a 5,32 cm de altura, nas camadas de 0,0 a 0,10; 0,10 a 0,30 e 0,30 a 0,50 m. Nessas mesma camadas também foram retiradas amostras de solo deformadas para a construção dos corpo de prova utilizado para a calibração dos sensores em laboratório. A composição granulométrica, sua classificação de acordo com a Embrapa (2013), Tabela 1.

Tabela 1. Composição granulométrica e classificação dos solos coletados.

Amostra	Camada (m)	Textura (%)			Classificação Textural
		Argila	Silte	Areia	
Anápolis	0,00 - 0,10	40	1	59	Argila Arenosa
	0,10 - 0,30	44	2	54	
	0,30 - 0,50	46	1	53	
Corumbá de Goiás	0,00 - 0,10	36	1	63	Franco Argilo Arenoso
	0,10 - 0,30	35	1	64	
	0,30 - 0,50	35	1	64	
Palmeiras de Goiás	0,00 - 0,10	61	14	25	Argila
	0,10 - 0,30	61	15	24	
	0,30 - 0,50	52	20	28	

A densidade do solo foi determinada utilizando o método do anel volumétrico conforme Embrapa (2017); o volume de poros totais (VPT) foi obtida a partir dos valores da densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp) (GOMES et al., 2017) e as umidade no ponto de

murcha permanente e ponto de capacidade de campo foi utilizando a câmara de pressão de Richards (RICHARDS & FIREMAN, 1943). As propriedades físicas do solo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades físicas do solo estudado: Densidade do Solo (DS);  $\theta_{pmp}$ : umidade referente ao ponto de murcha permanente (1500 kPa);  $\theta_{cc}$ : umidade referente à capacidade de campo (10 kPa) e Volume de poros totais (VPT).

Solo	Camada (m)	DS (Mg m <sup>3</sup> )	$\theta_{cc}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$\theta_{pmp}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	VPT (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
Argila Arenosa	0,00 - 0,10	1,554	0,223	0,144	0,413
	0,10 - 0,30	1,423	0,195	0,123	0,463
	0,30 - 0,50	1,315	0,195	0,118	1,315
Franco Argilo Arenoso	0,00 - 0,10	1,511	0,200	0,128	0,429
	0,10 - 0,30	1,344	0,198	0,100	0,492
	0,30 - 0,50	1,293	0,197	0,096	0,512
Argila	0,00 - 0,10	1,387	0,225	0,143	0,476
	0,10 - 0,30	1,280	0,212	0,141	0,516
	0,30 - 0,50	1,228	0,219	0,127	0,536

O sensor utilizado para obtenção do conteúdo volumétrico de água no solo foi do tipo capacitivo ECH2O EC-5, produzido pela Decagon. O corpo do sensor é constituído de uma placa de sílica com a parte sensível (sensor) composto por cobre, com 0,05 m de comprimento e revestimento em acrílico (Decagon Devices Inc., 2019). Para aquisição de dados, utilizou-se o logger Em-50, que possui 05 canais que permitem adquirir dados em formato bruto, valores em mV, ou valores de umidade volumétrica (m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>).

Após a coleta, os solos foram expostos ao ar para secagem natural e, posteriormente, peneirados em malha de 2 mm, para a remoção do material de maior granulometria. Após esse procedimento o solo foi seco em estufa a 105 °C por 24 h e colocado em recipientes cilíndricos de PVC com 14,5 cm de diâmetro e 6,05 cm de altura, totalizando um volume de 137,8 cm<sup>3</sup>. Para o preenchimento dos recipientes com a densidade do solo original, a cada 0,05 m de camada adicionada era efetuado uma leve compactação (ANTUNES JUNIOR et al., 2018).

A Figura 1 apresenta o esquema da instalação das sondas de TDR para avaliação da umidade do solo. Para possibilitar a drenagem da água o fundo dos recipiente foram revestidos com pano permeável.

Figura 1. Monitoramento do conteúdo de água do solo pelo método gravimétrico (A), do FDR (EC5) durante o período experimental.



Para o início da calibração o solo foi saturado por capilaridade e depois iniciou-se a secagem das amostras em estufa a 40 °C, em intervalos de 3 horas e espera de 1 hora (ANTUNES JUNIOR et al., 2018). As amostras de solo foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 g para determinação de sua massa antes e depois de serem submetidas à secagem. Após a secagem, determinou-se os valores de umidade volumétrica atual ( $\theta_a$ ) de acordo com a equação 1:

$$\theta_a = \frac{(M_{su} - M_{ss})}{M_{ss}} \times \rho_s$$

Em que:  $\theta_a$  é a umidade volumétrica atual ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $M_{su}$  - é a massa de solo úmida (kg);  $M_s$  - é a massa de solo seco (kg); e  $\rho_s$  - é a densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ).

As estimativas obtidas pelo sensor EC-5 foram comparadas com o método padrão (gravimétrico), utilizando equação de regressão linear, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), estimativa do erro padrão (EEP), raiz do erro quadrático médio (REQM) e eficiência dos métodos (EF).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calibração de sensores para o monitoramento do conteúdo de água no solo é recomendado pelo fabricante, entretanto as diferentes propriedades do solo e suas peculiaridade tornam essa equação genérica insuficiente para o uso dos sensores com precisão. Assim, estudos relatam que a granulometria do solo está associado a valores da umidade real

do solo estimado pelo o sensor e a umidade real determinada pelo método padrão (PIZETTA et al, 2017; PARVIN et al., 2015; ANDRADE JUNIOR et al., 2007; SILVA et al., 2012).

Na Tabela 2 apresenta as equações de calibração de sensores FDR obtidos em outros estudos. Nota-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) das equações sugeridas pelos os autores são superiores a 0,90 demonstrando que o modelo de ajuste são capazes de melhorar o desempenho dos sensores estudados.

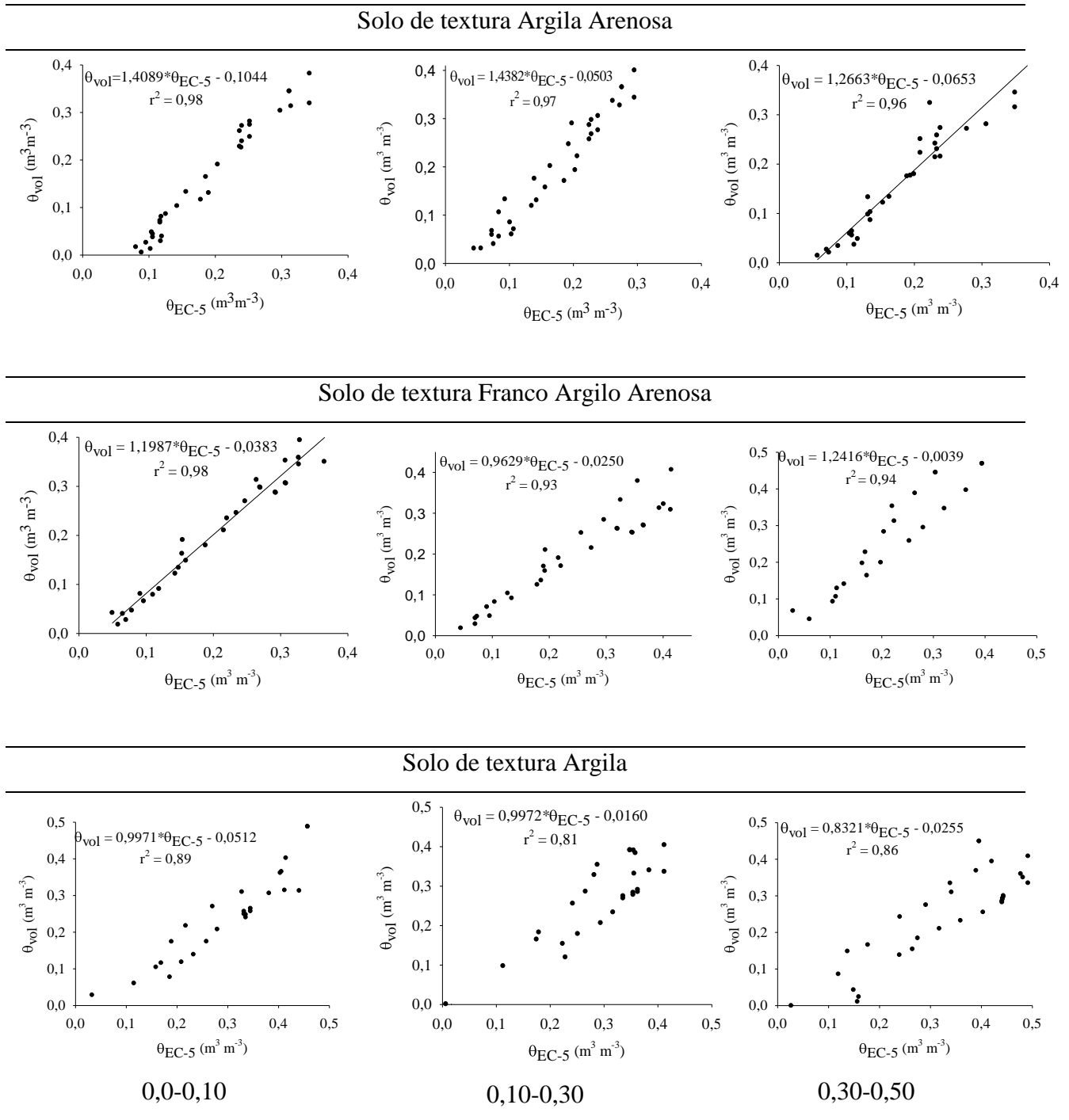
Tabela 2. Equações de calibração de sensores de FDR para o monitoramento de conteúdo de água no solo, obtidas em solos com diferentes granulometria.

Referência	Granulometria da Equação (%)			Equação	$R^2$
	Areia	Silte	Argila		
	86	9	5	$\theta_r = 1,39099 * \theta_s - 2,8068$	0,98
Payero et al. (2017)	55	5	40	$\theta_r = 0,90766 * \theta_s + 1,6212$	0,95
	68	8	24	$\theta_r = 1,07310 * \theta_s - 2,4992$	0,99
Pereira et al. (2018)	31	23	46	$\theta_r = 0,834 * \theta_s + 0,2235$	0,97
Souza et al. (2013)	18	29	53	$\theta_r = 1,31 * \theta_s$	0,91
	55	18	27	$\theta_r = 1,18 * \theta_s$	0,91
Araújo Primo et al. (2015)	68,4	25,3	6,4	$\theta_r = 0,4453 * \theta_s + 2,9403$	0,92
Matos et al. (2017)		Neossolo		$\theta_r = 1,76628 * \theta_s + 0,1756$	0,94

$\theta_r$  = Umidade real;  $\theta_s$  = Umidade descrita pelo o sensor.

As leituras de umidade do solo ( $m^3m^{-3}$ ) do sensor EC-5 sob os diferente solos e profundidades estão apresentados na Figura 2. Observou-se que para todas as diferentes tipos de solos estudados o sensores apresentaram uma resposta linear à variação da umidade do solo. Esses resultados atestam que os sensores respondem bem a alterações no conteúdo de água no solo comparado com as umidade volumétrica de cada amostra de solo. A relação linear foi observada também por Payero et al. (2017) quando avaliaram o EC-5 em quatro classes principais de textura do solo comumente encontradas na Carolina do Sul. Pizzeta et al. (2017) ao calibrarem um sensor capacitivo-FDR equações lineares foram a que mais ajustaram no três tipos de solos estudados (Argissolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Distroférico e Nitossolo Vermelho Eutrófico).

Figura 2. Gráfico de dispersão do conteúdo de água no solo obtido pela aplicação da equação generalizada do fabricante e calibração específica, nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,30; 0,30-0,50 m para o solo Argila Arenosa, Franco Argilo Arenosa e Argila. Sendo  $\theta_{vol}$ , o conteúdo de água real no solo (método volumétrico) e  $\theta_{EC-5}$  o conteúdo de água no solo indicado pelo sensor EC-5.



O modelo linear ajustado para o solo de textura Argila Arenosa obteve coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,97 para a camada de 0,00-0,10 m e 0,95; 0,93 para a camada de 0,10-0,30 e 0,30-0,50 m, respectivamente. Para o solo de textura Franco Argilo Arenoso os  $r^2$  para



as camadas subsequentes estudadas foram de 0,97; 0,87 e 0,89. Coeficientes de determinação próximos a um representam que a reta obtida ajusta-se, satisfatoriamente, ao conjunto de dados. Aumentando a precisão e exatidão da estimativa da umidade do solo após a calibração de sensores (PAYERO et al., 2017; PARVIN e DEGRÉ, 2016).

Os  $r^2$  do solo de textura Argila não se mostraram elevados quanto aos demais solos analisados, obtendo valores de 0,81; 0,65 e 0,74 para as camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,30 e 0,30-0,50. Esse fato expressa que 19%, 35% e 26% do conteúdo de água do solo observado não são explicadas pela variação do conteúdo de água do solo obtida pelo sensor na profundidade de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm, respectivamente. Resultados semelhantes para o desempenho de sensor capacitivo foram relatados por Pizzeta et al. (2017). Esses autores relataram coeficientes de determinação de 0,70, 0,72 e 0,48 relativos ao solo Argissolo, Latossolo e Nitossolo. Ramos et al. (2014) calibrando uma sonda de capacitância em um Neossolo Quartzarênico Órtico eutrício obtiveram coeficiente de determinação igual a 0,70.

A justificativa do baixo desempenho do sensor a esse solo se deve, supostamente, ao fato da alto teor de argila presente no solo. Solos com alto teor de argila possui mais água armazenada alterando a constante dielétrica do solo que em contato com partículas coloidais do solo (argila e matéria orgânica) (PIZZETA et al., 2017; PARVIN & DEGRÉ, 2016; BÖHME et al., 2013). Valores divergentes entre a umidade do solo obtido nas calibrações locais comparados com os valores de umidade do solo estimados pela adoção da equação recomendada pelo fabricante do sensor pode estar associado à granulometria e à estrutura do solo (ARAÚJO FILHO et al., 2015; FARES et al., 2015; SOUZA et al., 2013).

A variabilidade da granulometria, da densidade e da mineralogia ao longo do perfil do solo proporciona respostas diferentes da umidade do solo ao sensor, além da pequena área de contato do sensor. Esse fato revela a necessidade da calibração de sensores em variação do solo quanto as suas condições específicas que altera a capacidade de armazenar água em profundidade (ANTUNES JUNIOR et al., 2018; GOMES et al., 2017).

Na Tabela 3, são apresentados os valores dos índices estatísticos entre a umidade volumétrica atual e a observada para as diferentes tipos de textura de solo e profundidade. Esses índices demonstra confiabilidade dos métodos utilizados na determinação do teor de umidade do solo para as diferentes textura do solo e camadas de profundidade. Assim como observado por Silva et al. (2012) e Souza et al. (2013).

Tabela 3. Índices estatísticos entre a umidade volumétrica e a umidade observada pelo o sensor EC-5 (calibração de fabricação) para as diferentes textura de solo e profundidade

Solo	Prof.	EQM <sup>(1)</sup>	EMA <sup>(2)</sup>	r <sup>(3)</sup>	d <sup>(4)</sup>
Argila Arenoso	0,00 - 0,10	0,002	0,040	0,98	0,94
	0,10 - 0,30	0,002	0,041	0,97	0,93
	0,30 - 0,50	0,002	0,034	0,97	0,96
Franco Argilo Arenoso	0,00 - 0,10	0,001	0,024	0,99	0,98
	0,10 - 0,30	0,003	0,047	0,94	0,95
	0,30 - 0,50	0,005	0,052	0,94	0,92
Argila	0,00 - 0,10	0,005	0,064	0,90	0,89
	0,10 - 0,30	0,005	0,059	0,80	0,88
	0,30 -	0,011	0,08	0,	0,
	0,50		9	86	84

<sup>(1)</sup>Erro quadrático médio; <sup>(2)</sup>Erro médio absoluto; <sup>(3)</sup>Coefficiente de correlação; <sup>(4)</sup>Índice de concordância

O erro quadrático médio (EQM) para o solo Argila Arenoso em todas as camadas analisadas teve valor igual a 0,002. Para o solo Franco Argilo Arenoso o menor valor de EQM foi na camada de 0,00-0,10 m com valor de 0,001. O menor EQM foi analisado para a camada de 0,30-0,50 do solo Argila com valor de 0,011. Para este parâmetro estatístico quanto menor o valor menor é o erro e melhor é o ajuste para a estimativa da umidade do solo usando o sensor. O erro médio absoluto (EMA) para as amostras analisadas variou entre 0,024 para o solo Franco Argilo Arenoso (0,00 - 0,10m) e 0,089 para o solo Argila (0,30 - 0,50m).

Os valores do coeficiente de correlação (r) mostraram que houve uma tendência diminuir a precisão da calibração com o aumento a profundidade estudada. O menor coeficiente correlação analisado foi para o solo de textura Argila na camada de 0,10-0,30 m. O solo Argilo Arenoso e Franco Argilo Arenoso para a camada de 0,00-0,10 m tiveram r igual a 0,98 e 0,9; para as camadas subsequentes os valores de r foram igual a 0,97 e 0,94 para os dois solos.

O índice de concordância (d) para os três textura de solo apresentaram valores superiores a 0,83; mostrando que o ajuste da equação teve acurácia para as profundidades analisadas. O solo de textura Argila Arenoso apresentou melhor índice para a camada de 0,30-0,50 m (d=0,96). Tanto o solo Franco Argilo Arenoso quanto o Argila a camada superior (0,00-0,10 m) apresentaram a melhor acurácia para a calibração, com valores de 0,98 e 0,89, nessa ordem.

Na tabela 4 estão apresentados os dados de significância do modelo de regressão para as três textura de solo referente ao sensor capacitivo EC5.

Tabela 4. Análise de variância Resumo da análise de variância das variáveis expressa pelo quadrado médio da umidade volumétrica estimada ( $m^3m^{-3}$ )

Fator de Variação	GL <sup>(1)</sup>	SQ <sup>(2)</sup>	QM <sup>(3)</sup>	F	F de significação
Regressão	2	3,427	1,713	561,36	$9,86 \cdot 10^{-97}$
Resíduo	269	0,821	0,003		
Total	271	4,248			

<sup>(1)</sup>Grau de liberdade; <sup>(2)</sup>Soma dos quadrados <sup>(3)</sup>Quadrado médio

Na tabela 5 verifica-se que a interação teor de argila versus umidade volumétrica real observada apresentou diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para a umidade do solo estimada pelo o sensor EC-5. A umidade volumétrica real do solo pode ser estimada após a calibração específica do sensor EC-5 para cada teor de argila no solo. Sendo a equação de ajuste:

$$\theta_{vol} = 0,0758 - 0,0023 * Arg_{\%} - 1,056 * \theta_{EC-5}$$

Em que:  $\theta_v$  é a umidade volumétrica real do solo ( $m^3m^{-3}$ );  $Arg_{\%}$  é o teor de argila presente no solo;  $\theta_{EC-5}$  é a umidade descrita pelo o sensor EC-5 ( $m^3m^{-3}$ ).

Tabela 5. Teste de significância do modelo linear (de primeiro grau) referente ao sensor capacitivo EC5 para o solo Argila Arenosa, Franco Argilo Arenoso e Argila.

Fonte de Variação	Coefficientes	Erro padrão	Valor -P
Interseção	0,0758	0,0146	$4,02 \cdot 10^{-7}$
Teor de Argila	-0,0023	0,00033	$2,58 \cdot 10^{-11}$
Umidade Volumétrica	-1,056	0,03211	$3,05 \cdot 10^{-96}$

Estudo mostram que a estimativa da umidade do solo com sensores capacitivos tem relação significativa com o teor argila no solo, podendo causar imprecisões na medição do teor de umidade do solo com sensores baseados em capacitância no campo (PAYERO et al., 2017; PARVIN e DEGRÉ, 2016). Alto teor de argila e minerologia podem influenciar as propriedades dielétricas e de condução de um solo, resultando em super e subestimação do teor de água (GASCH et al., 2017).

A equação de ajuste para a calibração do sensor de capacitância EC-5 levando em conta o teor de argila do solo nos proporciona um melhor uso do sensor para o uso no manejo da irrigação, mostrando com precisão o ponto de disparo para iniciar a irrigação. Payero et al. (2017) relatam que a influência da textura do solo em resposta a sensor de umidade do solo

pode ser uma combinação de diferenças intrínsecas na constante dielétrica das partícula do solo como a salinidade do solo, teor de matéria orgânica solo e densidade do solo.

#### 4 CONCLUSÃO

As equações de calibração personalizadas para cada tipo e camada de solo devem ser preferidas, principalmente, em condições de campo heterogêneos, pois melhoraram a capacidade de medição dos sensores em comparação com suas correspondentes equações padrão.

A equação  $\theta_{vol}=0,0758-0,0023*Arg\%-1,056* \theta_{EC-5}$ , pode ser utilizada para calibrar o sensor de umidade capacitivo EC-5 levando em consideração o teor de argila no solo.

#### REFÊRENCIA

ANDRADE JUNIOR, A.S.; SILVA, C.R.; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, n.4, p.303-307, 2007.

ANTUNES JÚNIOR, E.J.; ALVES JUNIOR, J.; CASAROLI, D. **Calibração do sensor capacitivo ec-5 em um Latossolo em função da densidade do solo.** *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 26, n. 01, p.80-88, 2018.

ARAÚJO PRIMO, J.T.; SILVA, T.G.F.; SILVA, S.M.S.; MOURA, M.S.B.; LUCIANA SANDRA BASTOS DE SOUZA. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. *Revista Ceres*, v. 62, n.1, p. 020-029, 2015.

BOHME, B.; MATHIAS BECKER, M.; DIEKKRÜGER, B. Calibrating a FDR sensor for soil moisture monitoring in a wetland in Central Kenya. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 66, p. 101-111, 2013.

Decagon Devices. *EC-5 soil moisture sensor*. Decagon Devices. Disponível: [http://manuals.decagon.com/Manuals/13876\\_EC-5\\_Web.pdf](http://manuals.decagon.com/Manuals/13876_EC-5_Web.pdf). Acesso:13 nov. 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 2017. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.

FARES, A.; SAFEEQ, M.; AWAL, R.; FARES, S.; DOGAN, A. Temperature and probe-to-probe variability effects on the performance of capacitance soil moisture sensors in an Oxisol. *Vadose Zone Journal*, v.3, p.1-40, 2015.

GASCH, C.K.; BROWN, D.J.; BROOKS, E.S.; YOUREK, M.; POGGIO, M.; COBOS, D.R.; CAMPBELL, C.S. A pragmatic, automated approach for retroactive calibration of soil moisture sensors using a two-step, soil-specific correction. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 137, p. 29–40, 2017.

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, nº.4, p. 1509 - 1516, 2017.

MATOS, R.M.; DANTAS NETO, J.; LIMA, A.S.; SILVA, P.F.; BORGES, V.E.; SOBRINHO, T.G. Teor de umidade por diferentes métodos em Neossolo do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, nº.4, p. 1588 - 1597, 2017.

PARVIN, N.; DEGRÉ, A. Soil-specific calibration of capacitance sensors considering clay content and bulk density. *Soil Research*, v. 54, n. 1, p.111-119 2016.

PAYERO, J.O.; QIAO, X.; KHALILIAN, A.; MIRZAKHANI-NAFCHI, A.; DAVIS, R. Evaluating the Effect of Soil Texture on the Response of Three Types of Sensors Used to Monitor Soil Water Status. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 9, p. 566-577, 2017.

PEREIRA, Y.M.; MIRANDA, R.F.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A.W.P. Calibração do sensor ECH2O, modelo EC-5 para Latossolo vermelho distrófico. *Global Science Technology*, v.11, n.03, p.68-76, set/dez. 2018.

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.

RAMOS, F.T.; PIVETTA, F.; MATOS, V. A.T.; SEIXAS, G.B.; CAMPELO JÚNIOR, J.H. Acurácia e calibração de uma sonda de capacitância em um Neossolo Quartzarênico cultivado com caju. *Bionscience Journal*, v. 30, n. 6, p. 1631-1641, 2014.

RICHARDS, L.A.; FIREMAN, M. Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. *Soil Science*, v.56, p. 395-404, 1943.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G.C.; SERAFIM, M.E.; SILVA JÚNIOR, J.J.; COLOMBO, A.; LIMA, J.M. Acurácia e calibração de sonda de capacitância em Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 2, p. 277-286, 2012.

SOUZA, C.F.; PIRES, R.C.M.; MIRANDA, D.B.; VARALLO, A.C.T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo, *Irriga*, v. 18, n. 4, p. 597-606, 2013.