

# **Avaliação do comportamento do sinal de um sensor de condutividade elétrica aparente do solo sob diferentes condições climáticas.**

**Palavras-Chave:** [Agricultura de Precisão], [Mapeamento do solo]], [Sensoriamento proximal]

**Autores:**

**LEONARDO MACIEL MORETTI - UNICAMP**

**Prof. Dr. LUCAS RIOS DO AMARAL (orientador) - UNICAMP**

**Me. JOAQUIM PEDRO DE LIMA (co-orientador) - UNICAMP**

---

## **INTRODUÇÃO:**

Um dos sensores proximais do solo mais conhecidos na literatura é o sensor de indução eletromagnética (EMI)(DOOLITTLE; BREVIK, 2014). Esse tipo de sensor é equipado com uma bobina transmissora (Tx) e uma ou duas bobinas receptoras (Rx) posicionadas a uma distância fixa da Tx. Com isso, um campo magnético primário é induzido no solo, criando uma corrente elétrica que, por sua vez, gera um campo magnético secundário que é medido pelas Rx. Dessa maneira, por meio da equação descrita por McNeill (1980) é calculada a principal informação fornecida por esses sensores, a condutividade elétrica aparente do solo (CEa).

A CEa é a medida da capacidade do solo em conduzir corrente elétrica (RHOADES; CORWIN; LESCH, 1999). Dessa maneira, são fatores de influência na CEa a salinidade do solo, conteúdo de água, densidade, teor de argila, tipo de argila, capacidade de troca catiônica (CTC), matéria orgânica do solo (MO) e temperatura (LESCH; CORWIN; ROBINSON, 2005; ROBINSON et al., 2004). Para iniciar as leituras de CEa com sensores de EMI, é necessário realizar a calibração do sensor para que fatores externos não façam com que a leitura inicie de forma equivocada. No entanto, mesmo com as etapas de calibração, mapeamento de CEa realizados anteriormente pelo nosso grupo de pesquisa (GITAP) indicaram inconsistências nas leituras de CEa ao longo de um dia de coleta.

Uma das causas de inconsistências nas medidas de CEa provavelmente seja a variação das condições climáticas ao longo do dia de coleta, com destaque para a temperatura e umidade. É sabido, por meio de testes em laboratório e campo, que grandes amplitudes térmicas, principalmente na camada superficial do solo, são capazes de alterar os valores das leituras de CEa, fenômeno esse chamado de deriva (drift) (ROBINSON et al., 2004).

O presente trabalho foi proposto para estudar a influência da temperatura e umidade do solo no comportamento das medidas de CEa. Além disso, também foi testado se a metodologia proposta por Sudduth et al. (2001) de calibração do sensor de EMI a cada 1 hora minimiza os efeitos da deriva.

## **METODOLOGIA:**

As coletas de dados foram realizadas em dois locais, uma fazenda em Paulínia-SP e no campo experimental da FEAGRI dentro da Unicamp. Salvo duas datas ao final de outubro de 2020, todos os dados foram gerados na FEAGRI devido a questões operacionais da fazenda.

Com o objetivo de explorar diferentes condições climáticas, mais especificamente temperatura e umidade, as coletas foram realizadas com intervalos próximos a 30 dias, totalizando no final 4 baterias (outubro/20, dezembro/20, janeiro/21, fevereiro/21). Em julho de 2021 foi realizada mais uma bateria para verificar o funcionamento do sensor após manutenção realizada.

O sensor utilizado para obtenção dos dados de CEa foi o EM38-MK2® (Geonics, Mississauga, Ontário, Canadá), o qual funciona a partir do princípio de indução eletromagnética (EMI). Este sensor possui três bobinas dispostas paralelamente numa “barra” não condutora de 1 m de comprimento e espaçadas igualmente de 0,5m, portanto uma bobina em cada extremidade e uma no centro. Em uma das extremidades do equipamento está a bobina emissora (Tx) do campo magnético e as outras duas, uma mais ao centro do equipamento e a outra na extremidade oposta à TX, atuam como receptoras (Rx1 e Rx2, respectivamente) e, assim, mensuram CEa em duas profundidades de solo. O campo magnético primário gerado pela bobina transmissora induz uma corrente elétrica ou força eletromotriz no solo que, por sua vez, gera um campo magnético secundário, sendo então captado pelas bobinas receptoras (McNeill, 1980).

O sensor “EM38” foi posicionado em duas orientações para aquisição de dados de CEa, horizontal e vertical, possibilitando atingir as profundidades de 0,38 (RX1) e 0,75m (Rx2), quando na horizontal, e 0,75 e 1,5m, quando na vertical. Além das duas orientações também foram utilizadas duas forma de coleta de dados: a primeira é mais simples e visa simular o uso no campo, realizando uma única calibração no início do período de coleta de dados; a segunda foi proposta por Sudduth et al. (2001) e consiste na calibração do sensor “EM38” a cada uma hora com o propósito de ajustar o sinal do sensor periodicamente e, assim, evitar o fenômeno da deriva (drift).

Para avaliar a influência da temperatura e umidade do solo sem alterar a posição do equipamento, tampouco ter que desligá-lo, os dados foram coletados ininterruptamente ao longo de um dia, iniciando às 8h e terminando às 15h, numa frequência de coleta de 60 dados por minuto (1 Hz). Combinando as duas orientações do sensor e as duas metodologias, cada bateria de coleta demandou ao menos 4 dias seguidos de coleta, para que as condições climáticas fossem semelhantes entre os dias e os resultados pudessem ser comparados.

Para obter os dados de temperatura do solo foram utilizados quatro termopares em conjunto com um coletor de dados (FieldLogger - NOVUS) e, para os dados de umidade volumétrica do solo, foram utilizados quatro sensores de umidade em conjunto com um outro coletor de dados (Em5b - ICT International). A temperatura do sensor “EM38” foi adquirida com um termômetro digital tipo espeto (ITTE350 - Instrutemp), coletando dados no interior da capsula de alocação do sensor. Os termopares e sensores de umidade foram alocados em pares dentro de uma trincheira nas profundidades 0,1, 0,2, 0,4 e 0,75m. Os dados de umidade foram registrados numa frequência de 1 dado a cada 10 minutos, enquanto os dados de temperatura do solo foram numa frequência de 1 dado por minuto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Apesar de ser um fator que tem influência no valor de CEa do solo, a umidade volumétrica do solo não apresentou variações significativas ao longo do mesmo dia de coleta (maior variação foi de 3,94% ao longo de um dia inteiro), portanto não consideramos esta grandeza nas análises.

Os dados foram arranjados em gráficos, buscando demonstrar o comportamento da CEa e temperatura do solo ao longo do dia. Um padrão identificado que chamou bastante a atenção foi a expressiva diminuição da CEa com o passar do tempo para a bobina receptora de 0,5m (Rx1). Este padrão poderia indicar que a CEa do solo sofreria alguma influência da mudança de temperatura, seja do sensor como também do solo, pois em todos os dias houve aumento da temperatura com o passar do tempo. No entanto, verificou-se que este comportamento não dependia da orientação do sensor, ou seja, da profundidade do solo, uma vez que os dados de CEa para a bobina de 0,5m apresentam o mesmo padrão de diminuição quando obtidos na profundidade de 0,38m (orientação horizontal) ou na profundidade de 0,75m (orientação vertical). Comparando os resultados obtidos na profundidade de 0,75m para as duas bobinas (Figura 1 à esquerda), e em dois dias próximos (8 e 10 dezembro/20), se imaginava encontrar certa correspondência; entretanto os dados obtidos com a bobina de 1,0m (Rx2) mostraram-se muito mais constantes ao longo do tempo. O comportamento de diminuição dos valores não apresentou correlações com temperatura, mas sim com o passar do tempo e, assim, supomos que a Rx1 apresenta algum defeito. O equipamento foi enviado para manutenção de componentes eletrônicos em abril de 2021. Após seu retorno realizamos novo teste, mas o padrão se manteve. Assim, os resultados da Rx1 não foram utilizados na sequência das análises.

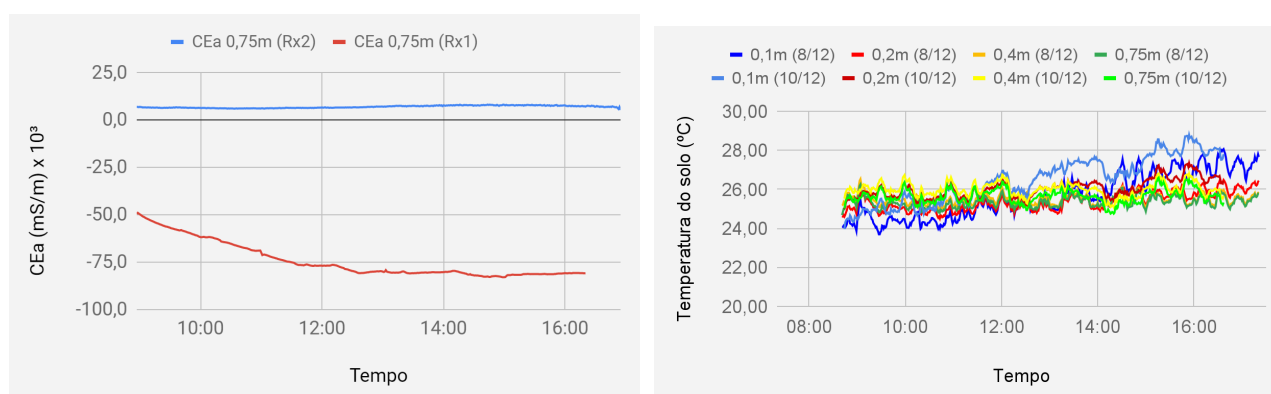


Figura 1: Comparativo entre o comportamento constante dos dados obtidos com Rx2 e a expressiva diminuição dos dados obtidos com Rx1, sob as mesmas condições climáticas (esquerda); temperatura do solo ao longo do dia de coleta nas diferentes profundidades avaliadas (direita).

A temperatura do solo apresentou leves variações ao longo dos períodos de coleta, tendo aumentando em média entre 5 e 6°C nas 4 profundidades avaliadas (Figura 1 à direita), mas relacionando por meio de gráficos a variação das temperaturas do solo e o comportamento da CEa não foi possível descrever se haveria alguma relação de causa e efeito. Assim, utilizamos a correlação de Pearson entre a CEa e as temperaturas nas 4 profundidades. A partir da correlação (Tabela 1) verificamos que a variação da temperatura nas camadas mais superficiais, 0,1m e 0,2m, são as que apresentam maiores correlações com as variações de CEa (colunas mais “verdes” de acordo com a legenda de cores). No entanto, não é possível afirmar com certeza qual o impacto direto da variação da temperatura na CEa, pois houve aumento da temperatura no

solo em todos os dias, mas obtivemos altos valores de correlação, tanto negativas quanto positivas.

Tabela 1: Correlações entre as leituras de CEa (bobina Rx2) realizadas nas duas orientações com a temperatura do solo nas diferentes profundidades de instalação dos termopares. Valores mais próximos à  $\pm 1$  apresentam coloração verde mais escura, e os mais próximos a zero apresentam coloração mais clara.

Orientação do EM38	Profundidade da CEa	Data	CEa x Tsoil 0,1m	CEa x Tsoil 0,2m	CEa x Tsoil 0,4m	CEa x Tsoil 0,75m
Horizontal	0,75m	8/12	0,716	0,545	0,175	0,336
		9/12	0,527	0,238	0,082	0,207
		16/12	-0,736	-0,361	-0,095	-0,210
		23/1	-0,536	-0,047	0,093	-0,111
		24/1	0,164	0,206	0,162	0,379
		26/2	0,872	-0,724	-0,798	-0,702
		28/2	-0,110	-0,367	-0,382	-0,342
Vertical	1,5m	10/12	0,580	0,470	0,221	0,292
		11/12	-0,695	-0,480	-0,082	-0,083
		18/12	0,269	-0,270	-0,405	-0,164
		25/1	0,914	0,648	0,322	0,440
		26/1	-0,176	-0,262	-0,329	-0,355
		1/3	0,931	0,495	0,247	0,337
		2/3	0,495	0,540	0,400	0,497

Ao verificar os valores de CEa obtidos com a metodologia de calibração de hora em hora percebe-se que na maioria das vezes os gráficos apresentam descontinuidades ou “saltos” exatamente no momento em que ocorre a recalibração (Figura 2 à direita). Esperávamos correções mais suaves em um espaço de tempo tão curto entre as calibrações. Esses grandes “saltos” causariam comportamentos indesejados no mapeamento de áreas agrícolas. Dessa forma, esse procedimento não resolve o problema de oscilação do sinal de CEa coletado pelo EM38 ao longo do dia, portanto, assumimos que não é uma alternativa confiável para minimizar a deriva e nem para aquisição de dados por um longo período, logo, não deve ser indicada na utilização do “EM38”.

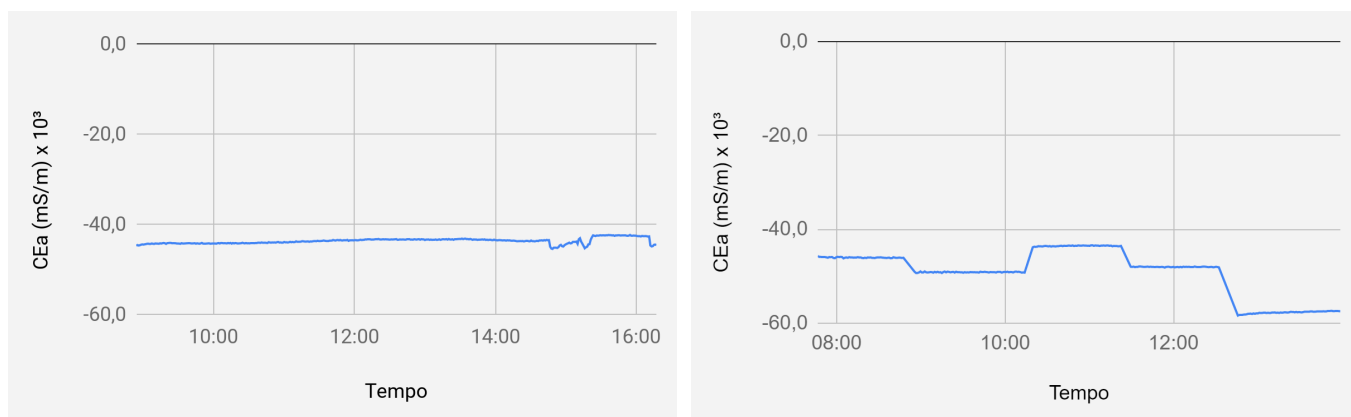


Figura 2: Comparação entre dados obtidos de forma contínua, com calibração apenas no início do dia (esquerda) e sensor recalibrado de hora em hora (direita). Os dados foram coletados em dias seguidos (10 e 11 de dezembro/20) sob as mesmas condições climáticas.

## CONCLUSÕES:

Não é recomendado realizar a metodologia que prevê várias calibrações do EM38 ao longo do dia, pois o objetivo de amenizar a deriva não é satisfeito e os dados apresentam grandes variações repentinamente.

Há influência da temperatura do solo nas medidas de CEa. Porém, parece haver mais algum fator que influencia nas leituras, já que observamos altas correlações, mas que ora são positivas, ora negativas.

Para as condições estáticas em que o trabalho foi realizado, a umidade não foi um fator significativo nas variações de CEa, visto que sua variação foi praticamente insignificante.

---

## BIBLIOGRAFIA

DOOLITTLE, J. A.; BREVIK, E. C. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. *Geoderma*, v. 223–225, n. 1, p. 33–45, 2014.

LESCH, S. M.; CORWIN, D. L.; ROBINSON, D. A. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 46, n. 1- 3, p. 351–378, 2005.

MCNEILL, J. D. Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Technical note TN. Ontario, Canada: [s.n.], 1980. 15 p. Disponível em: <<http://www.geonics.com/pdfs/technicalnotes/tn6.pdf>>.

RHOADES, J. D.; CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. *Geophysical Monograph Series*, v. 108, p. 197–215, 1999.

ROBINSON, D. A. et al. Minimizing drift in electrical conductivity measurements in high temperature environments using the EM-38. *Soil Science Society of America Journal*, v. 68, n. 2, p. 339–345, 2004.

SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; KITCHEN, N. R. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 31, n. 3, p. 239–264, 2001.