



CORRELAÇÃO ENTRE pH E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DETERMINADOS POR UM SENSOR DE CONTATO DIRETO EM COMPARAÇÃO À ANÁLISE LABORATORIAL

Brenon Diennevan S. Barbosa¹, Gabriel Araújo e Silva Ferraz², Étore Francisco Reynaldo³, Luana Mendes Gonçalves⁴ & José Roberto Moreira Ribeiro Gonçalves⁵

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar os dados de pH e matéria orgânica (MO) do solo obtidos por um sensor de contato móvel (Veris SMP), e compara-los com os dados destes mesmos atributos químicos determinados por método tradicional (amostragem em malha e análise em laboratório), em duas propriedades agrícolas no estado do Paraná (A1, com 158 ha e A2, com 60 ha). Foi pré-determinada (após o procedimento de remoção de dados anormais) uma densidade amostral média de 8 pontos por hectare pelo sensor de contato móvel, e de 1 ponto por hectare para amostragem em malha nas duas áreas. Posteriormente estes dados foram submetidos a análises estatísticas descritivas e teste de correlação (Person 5%). Apesar de o uso sensores de contato móvel reduzir o tempo de amostragem e ganho em determinações de pH e MO do solo, quando comparados ao método tradicional, esta tecnologia carece de maiores estudos sobre seu uso correto em solos brasileiros. Os resultados obtidos de pH pelo sensor são superiores aos dados obtidos em laboratório, enquanto que os dados de MO o resultado foi oposto. Tanto para A1 e para A2 as correlações encontradas de pH e MO entre dados do sensor e amostragem tradicional foram baixas ($r < 0,5$).

PALAVRAS-CHAVE: sensor on-the-go; Veris SMP; agricultura de precisão

CORRELATION BETWEEN pH AND ORGANIC SOIL MATTERS DETERMINED BY A DIRECT CONTACT SENSOR IN COMPARISON WITH LABORATORY ANALYSIS

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate soil pH and organic matter (OM) data obtained by a mobile contact sensor (Veris SMP), and compare them with the data of these same chemical attributes determined by traditional method in mesh and laboratory analysis), in two farms in the state of Paraná (A1, with 158 ha and A2, with 60 ha). An average sample density of 8 points per hectare by the mobile contact sensor was determined (after the abnormal data removal procedure) and 1 point per hectare for mesh sampling in the two areas. Subsequently these data were submitted to descriptive statistical analysis and correlation test (Person 5%). Although the use of mobile contact sensors reduces the time of sampling and increase in pH and MO determinations of soil, when compared to the traditional method, this technology lacks further studies on its correct use in Brazilian soils. The results obtained from pH by the sensor are superior to the data obtained in the laboratory, whereas the data MO the result was opposite. For both A1 and A2, the correlations found between pH and MO between sensor data and traditional sampling were low ($r < 0.5$).

KEYWORDS: sensor on-the-go; Veris; soil mapping

1 INTRODUÇÃO

Na agricultura de precisão (AP), a utilização de tecnologias de informação aliadas a outras ferramentas tecnológicas, como uso de sensores de solo para amostragem de seus atributos físicos e químicos, permite o gerenciamento da área de cultivo em função destas propriedades de forma espacial e temporal (MARQUES et al., 2013).

No entanto a amostragem de solos de forma convencional, que atenda a uma malha amostral considerável para a prática da AP requer maior investimento, podendo ser inviável, tanto

economicamente como operacionalmente. Para que esta amostragem seja realizada de forma rápida, de baixo custo e que atenda às necessidades mínimas que se obtenha um resultado confiável da variabilidade dos atributos físicos, mecânicos e químicos do solo, resultando em uma demanda por sensores e técnicas mais precisas (ADAMCHUK, 2011).

Visando esta crescente demanda por sensores que possam amostrar os atributos do solo de forma mais rápida, Schirrmann et al, (2011) mostram que o sensor de contato móvel possui potencial para amostragem de valores de pH no solo em larga escala, conhecido como de Soil pH Manager (Veris Technologies, Salina, KS, USA) para amostragem de valores de pH no solo em larga escala. O processo de determinação de pH se dá por meio de eletrodos de antimônio não seletivos. Esta

¹ ² ³ ⁴ ⁵ E-mails: b.diennevan@outlook.com ; gabriel.ferraz@ufla.br ; etore.reynaldo@monsanto.com ; luanna_mendess@yahoo.com.br; joserobertoverde@gmail.com

mesma empresa também lançou no mercado um sensor óptico que por meio da refletância do solo produz um sinal de saída que está relacionado ao conteúdo de matéria orgânica do solo (LUND; MAXTON, 2011).

A variabilidade do pH e MO no solo pode também ser estimada pelo sensor Veris 3100 de forma indireta através da amostragem direta no solo de condutividade elétrica (CORASSA et al., 2016; SANA; BRANDÃO; HOLZSCHUH, 2014). Resultados mostram que a forte correlação observada entre a CE e pH e MO, com certo grau de confiabilidade representa a distribuição espacial destes atributos, e dentre outros físicos e químicos em determinada área, proporcionando ao produtor redução nos custos de produção (CORASSA et al., 2016; MOLIN; RABELLO, 2011). Conforme descrito acima é notável o uso de sensores de contato móvel para determinação de atributos do solo

No Brasil, a discussão deste tema ainda é crescente e carece de maiores pesquisas para avaliar a eficácia destes sensores de contato móvel em nossos solos, visando melhor calibração e confiabilidade nos dados gerados.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a correlação dos valores de pH e Matéria Orgânica (MO) obtidos por sensores de contato móvel (Veris SMP®) e por métodos tradicionais em solos da região centro-sul do estado do Paraná

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado em duas áreas (A1 e A2) no estado do Paraná, nas cidades de Guarapuava, Cantagalo (FIGURA 1, com coordenadas geográficas 25° 32' 66" S, 51° 34' 65" W para A1 e 25° 16' 45" S, 52° 6' 01" W para A2.

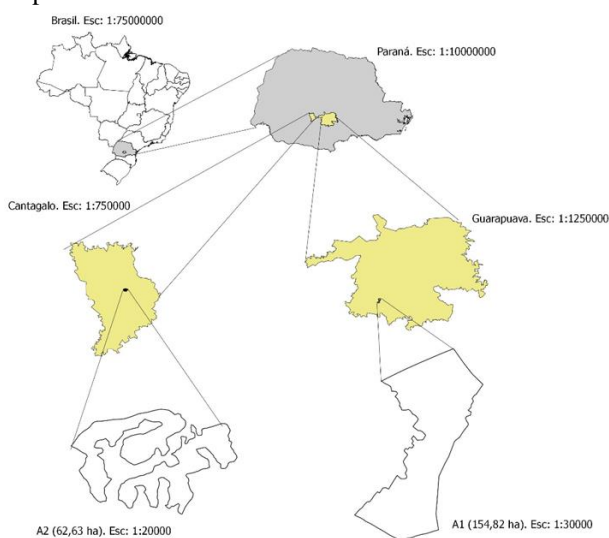


Figura 1 – Localização e área das áreas de estudo

Fonte: Do autor

Os solos das áreas em estudo, segundo Fontoura et al. (2015), caracterizam-se como latossolo bruno aluminoso

câmbico, com horizonte A proeminente, relevo suave ondulado e substrato basalto, com classe textural variando de argilosa a muito argilosa. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (Cfa), o clima dos municípios de Guarapuava e Cantagalo é caracterizado como subtropical úmido.

As áreas em estudo são utilizadas para plantio de culturas (soja, milho, trigo, cevada e aveia), sendo plantadas em sistema de rotação de culturas há 16 anos, sendo feitas duas semeaduras por ano.

2.2 AMOSTRAGEM DE PH E MO PELO MÉTODO TRADICIONAL

De acordo com Cherubin et al. (2015) ainda não há relatos de uma definição de uma metodologia para a recomendação de malha amostral para solo da região sul do Brasil, no entanto estes autores sugerem uma malha mínima de 1 a 3 pontos por hectare, considerando fatores econômicos e práticos deste tipo de amostragem.

Neste estudo foi determinada uma malha amostral de 1 ponto por hectare após a demarcação dos perímetros das áreas em estudo. As amostras de solo foram retiradas através de um trado do tipo calador a uma profundidade de 0 – 20 cm, onde estas foram compostas por cerca de 10 a 15 subamostras retiradas a um raio de 3m, totalizando uma quantidade de 158 amostras para A1 (FIGURA 2 (a)) e de 65 amostras para A2 (FIGURA 2 (b)). Estas amostras e subamostras foram homogeneizadas, gerando uma amostra para cada ponto em cada talhão. Posteriormente enviadas a um laboratório para análises das propriedades químicas do solo, pH em CaCl₂ e MO, obtendo assim um valor médio por ponto.

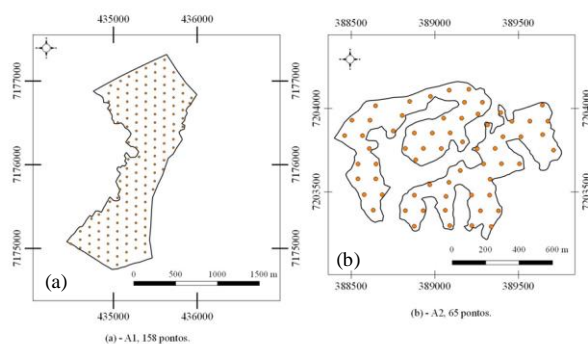


Figura 2 - Malha amostral de pH e MO determinada pelo tradicional. (a) A1, (b) A2.

2.3 Amostragem de pH e MO pelo sensor de contato móvel

2.3.1 Determinação do pH no solo

Para a determinação dos valores de pH no solo utilizou-se um sensor de contato móvel, da marca Veris (Veris Technologies, Salina, KS, EUA), modelo Veris SMP® (FIGURA 3). O equipamento apresenta largura de 2,35 m, comprimento de 2,44 m e altura de 0,89 m e, além de

requerer uma potência de 15 kW a 20 kW para ser tracionado.



Figura 3 - Equipamento utilizado Veris SMP® para sensoriamento remoto do pH e matéria orgânica do solo; a – medição matéria orgânica; b – condutividade elétrica; c – pH.

Para determinação do pH o equipamento retira amostras de solo a uma profundidade média de 0,15 m, onde estas amostras são analisadas por eletrodos que posteriormente são lavados a cada amostragem com água destilada, armazenada em um reservatório na parte superior do equipamento.

A calibração deste sensor ocorreu de acordo com o protocolo do fabricante do equipamento em cada talhão amostrado. A velocidade de deslocamento média nas áreas foi igual a 9 km/h, em linhas igualmente espaçadas a 30 metros, gerando uma malha amostral de 1329 pontos na A1 e de 560 pontos em A2. (FIGURA 4 (a) e (b)) O equipamento possui um sistema coletor de dados próprio, nos quais são armazenados em um datalogger com intervalo mínimo de gravação de 1 segundo. O equipamento possui um receptor GPS acoplado para georreferenciamento dos pontos amostrados. O trator utilizado para tração do equipamento também estava equipado com um receptor GNSS para auxiliar o condutor a manter o alinhamento nas faixas e paralelismo entre elas.

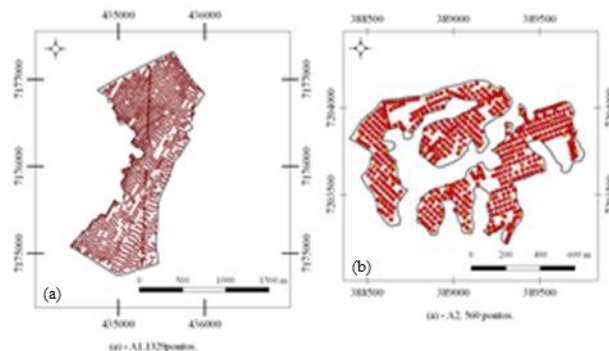


Figura 4 - Malha amostral de pH e MO determinada pelo sensor de contato móvel (Veris SMP®). (a) A1, (b) A2

2. 3. 2 Determinação da matéria orgânica (MO) no solo

A determinação de matéria orgânica no solo foi realizada pelo sensor Veris SMP®, A matéria orgânica (MO) do solo é mapeada utilizando um sensor ótico (OpticMapper) de solo desenvolvido pela Veris. Este sensor realiza leituras de refletância das regiões do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR) do espectro eletromagnético, convertendo o valor da refletância do solo em valores de teor de MO, onde as amostras são coletadas a uma profundidade de 0,15 m (FIGURAS 2 e 4.)

2. 3. 4 Análise estatísticas dos dados de pH e MO

Após obter os valores provenientes dos sensores e pelo método convencional (laboratório), estes dados foram submetidos a análises de estatísticas descritivas, correlação de Pearson a 5% de probabilidade, e por um teste de médias (teste t) por meio do software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise estatística descritiva dos dados coletados de pH e MO determinados por dois métodos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados de pH e MO.

Atributo	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV%	Teste t
A1						
pH Veris	6,16	5,22	7,21	0,47	8%	-5,53*
pH Análise	5,61	5,1	6,3	0,25	4%	
MO Veris	3,40	2,45	4,55	0,59	17%	-6,25*
MO Análise	4,63	3,70	5,60	0,51	11%	
A2						
pH Veris	6,29	5,64	6,93	0,45	7%	-6,23*
pH Análise	5,19	4,80	5,60	0,22	4%	
MO Veris	2,06	1,85	2,31	0,16	8%	-8,85*
MO Análise	4,22	2,80	5,40	0,66	16%	

* Significativo a um nível de significância de 5%. CV%, coeficiente de variação

Os dados descritos na Tabela 1 remetem a interpretação de que os dados de pH obtidos pelo sensor de contato móvel (pH Veris) foram superiores aos valores encontrados pelo método tradicional de determinação de pH (pH Análise) nas duas áreas em estudo. Para os valores de MO determinados pelo sensor (MO Veris), em média estes valores foram inferiores aos valores obtidos em laboratório (MO Análise) para A1 e A2.

Os valores de pH e MO determinados pelos dois métodos de amostragem apresentaram um CV menor do que 35%, indicando que a série de dados coletados tende a ser homogênea, segundo classificação de Vanni (1998).

Os valores médios de pH Veris e MO análise mostram que houve uma diferença significativa entre os valores pH análise e MO análise para A1 e A2. Este resultado pode estar associado a densidade de pontos amostrados pelo sensor e pelo método tradicional, sendo o método do sensor ter uma maior densidade amostral, o que o torna mais sensível a variação de valores de pH e MO.

Na Tabela 2 estão descritos o resultado da análise estatística de correlação de Person ($\alpha=5\%$).

Tabela 2 - Matriz de correlação entre pH e MO, obtidos pelo Sensor de contato móvel e método convencional (Análise).

		pH Análise	pH sensor
A1	pH Análise	1	
	pH sensor	0.17	1
	MO Sensor		MO Análise
	MO Análise	-0.14	1
		pH Análise	pH sensor
A2	pH Análise	1	
	pH sensor	-0.21	1
	MO Sensor		MO Análise
	MO Análise	-0.58	1

Os valores descritos na Tabela 2 mostram que há uma baixa correlação nos valores de pH e MO obtidos pelo sensor e pelo método tradicional nas áreas A1 e A2.

Os resultados da análise descritiva (Tabela 1) e os dados de correlação (Tabela 2) indicam a necessidade de maiores estudos sobre a correlação dos dados obtidos pelo sensor de contato móvel. Schirrmann et al. (2011), avaliando a eficácia dos valores de pH gerados pelo sensor de contato móvel Veris pH Manager TM em relação a dados de laboratório, para as condições de solo da Alemanha, observaram resultados contrários a esta pesquisa, encontrando uma boa correlação entre valores obtidos pelo sensor de contato e valores obtidos em laboratório. Estes autores explicam, entretanto, que o resultado obtido pode estar associado a algumas precauções que devem ser tomadas no momento de análise como: i) número de amostras para análise em laboratório, ii) correta calibração do equipamento, iii) cobertura vegetal no momento da passada do sensor, iv) tempo de coleta.

Já Marques et al. (2013) encontraram resultados similares aos obtidos neste estudo, encontrando baixa correlação de valores de pH registrados pelo sensor

Veris 3100 e por método convencional, em solos de Portugal. Estes autores atribuem a baixa correlação encontrada a densidade da malha amostral de pontos, ressaltando ser inadequado a comparação entre malhas de baixa (amostragem convencional) e de alta amostragem (Veris 3100), onde a amostragem convencional é pouco sensível a variação do pH em uma área quando comparado a malha de elevada densidade amostral.

Observa-se também que o sensor de contato móvel foi mais sensível a variação nos valores de pH na A1 e A2 (Tabela 1), apresentando baixo coeficiente de variação (CV) em relação aos resultados obtidos em laboratório. Lund e Maxton (2011) explicam que tal comportamento é devido ao número de amostragens tradicionais serem menores do que o número de amostras realizadas pelo sensor Veris, e também pela relação deste equipamento com a textura de cada solo.

Faz se necessário obter um grau de confiança dos dados obtidos pelo sensor, pois um erro na predição de valores de atributos do solo pode subestimar ou superestimar a quantidade de insumos a ser aplicado na área, reduzindo os efeitos benéficos da prática de AP, fato este

confirmado por Schirrmann et al. (2011), que relatam um estudo de caso que um erro na predição de valores em torno de 0,1 unidade de pH, quando este for usado para a aplicação de insumos como na calagem, pode resultar, segundo recomendação para solos da Alemanha, em um erro em cerca de 400 kg. ha⁻¹ de CaO.

Em concordância com os resultados obtidos por Schirrmann et al. (2011) e Kweon e Maxton, (2013) e Brandão et al. (2011), tanto para os sensores de pH e MO faz-se necessária uma melhor calibração destes sensores para diferentes tipos de solo, com intuito de reduzir erros sistemáticos, e assim produzir mapas de variabilidade de pH e MO mais consistentes e sensíveis a variabilidades destes atributos no solo do que mapas gerados em função de valores de laboratório.

Os resultados obtidos neste estudo (Tabelas 1 e 2) apontam para a necessidade de maiores estudos sobre a utilização deste equipamento para os diversos tipos de solos do Brasil, além de melhores metodologias para a correta calibração antes de cada operação. Foi observado também que se deve ter cautela com o processamento dos dados obtidos pelo sensor, evitando que erros operacionais possam prejudicar a predição de valores, confecção de mapas temáticos e recomendação de uso de insumos.

4 CONCLUSÕES

A utilização de sensores de contato móvel é de grande valia na redução de custos com amostragens de solos e seus atributos, e delimitação de zonas de manejo. Faz-se necessário um maior estudo sobre a calibração do equipamento para cada tipo de solo, para que os resultados obtidos pelos sensores de contato móvel de pH e MO possam atingir um grau mínimo de confiabilidade em relação os dados.

5 AGRADECIMENTOS

A Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) - PR, a Universidade Federal de Lavras (UFLA), PET SISU/MEC, CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMCHUK, V. On-the-go soil sensors — are we there yet? In: GLOBAL WORKSHOP ON PROXIMAL SOIL SENSING, 2, 2011, Montreal. **Anais**. Montreal: McGill University, 2011. p. 160-163.

BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; FERREIRA, G. B. Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no Cerrado de Goiás. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 162-167.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de Fósforo e Potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 2, p. 168-177, fev. 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000200009.

CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; TABALDI, F. M.; SCHWALBERT, R. A.; REIMCHE, G. B.; DALLA NORA, D.; ALBA, P. J.; HORBE, T. A. N. Espacialização em alta resolução de atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1306-1316, 2016.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I.; MORAES, R. P. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. 1. ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015.

KWEON, G.; MAXTON, C. Soil organic matter sensing with an on-the-go optical sensor. **Biosystems Engineering**, Amsterdã, v. 115, n. 1, p. 66-81, 2013.

LUND, E. D.; MAXTON, C. R. Proximal sensing of soil organic matter using the Veris® OpticMapper™. In: GLOBAL WORKSHOP ON PROXIMAL SOIL SENSING, 2., 2011, Montreal. **Anais**. Montreal: McGill University, 2011. p. 15-19.

MARQUES, J. R.; TERRÓN, J. M.; BLANCO, J.; PEREZ, F.; GALEA, F.; MARAL, F. J.; ALEXANDRE, C.; SERRANO, J.; SILAVA, L. L. Comparison of soil pH measurement in a non tilled vineyard: conventional laboratory values vs. 3100 Veris soil pH sensor readings. In: GLOBAL WORKSHOP ON PROXIMAL SOIL SENSING, 3., 2013, Postdam. **Anais**. Postdam: Leibniz-Institute for Agricultural Engineering, 2013. p. 101-105.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011.

SANA, R. S.; BRANDÃO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 10, p. 994-1002, 2014.

SCHIRRMANN, M.; GEBBERS, R.; KRAMER, E. SEIDEL, J. Soil pH mapping with an on-the-go sensor. *Sensors*, Basel, v. 11, n. 1, p. 573-598, 2011.

VANNI, S. M. **Modelos de regressão**: estatística aplicada. 1. ed. São Paulo: Legmar Informática, 1998. 177 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.