

## CORRELAÇÃO EXISTENTE ENTRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE, O pH E A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO EXTRATO DE SATURAÇÃO DO SOLO

MICHAEL F. NUNES<sup>1</sup>, MATHEUS D. BRITTO<sup>2</sup>, DANIEL M. DE QUEIROZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFV, Viçosa, MG, michael.nunes@ufv.br

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, MG, matheusbrittod@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Ph.D. em Engenharia Agrícola e Biológica, Prof. Associado, DEA-UFV, Viçosa, MG, queiroz@ufv.br

Apresentado no  
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014  
14 a 17 de setembro de 2014 - São Pedro - SP, Brasil

**RESUMO:** O mapeamento de atributos do solo é uma importante ferramenta da agricultura de precisão. Entretanto, quando realizado utilizando técnicas tradicionais de determinação dos atributos, o processo é caro e demorado. A utilização de sensores é uma das formas de se viabilizar esse mapeamento. O objetivo do presente trabalho foi determinar a condutividade elétrica aparente do solo, a condutividade elétrica do extrato de saturação e o pH do solo utilizando três sensores de baixo custo. Uma área de 35 hectares utilizada para produção de eucalipto foi mapeada. As três variáveis apresentaram correlação de Pearson significativa. Essas variáveis apresentaram dependência espacial moderada. O mapa dos três atributos do solo foram obtidos. Os sensores utilizados apresentaram potencial para caracterização da variabilidade espacial do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Atributos do solo, Variabilidade espacial, Krigagem ordinária.

### CORRELATION AMONG SOIL ELECTRICAL APARENT CONDUCTIVITY AND SOIL pH AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SATURATION

**ABSTRACT:** Soil mapping is an important tool of precision agriculture. However, when performed using traditional techniques to determine the attributes, the process is expensive and time consuming. The use of sensors is one way to facilitate soil mapping. The objective of this study was to determine the apparent soil electrical conductivity, the electrical conductivity of the saturation extract and soil pH using three low-cost sensors. An area of 35 hectares used to produce eucalyptus was mapped. These three variables showed significant Pearson correlation among themselves. These variables showed moderate spatial dependence. Maps of the three soil properties were obtained. The used sensors showed to have potential for soil spatial variability determination.

**KEYWORDS:** Soil attributes, Spatial variability, Ordinary kriging

**INTRODUÇÃO:** Um dos pilares da agricultura de precisão é o tratamento das áreas agricultáveis de acordo com a necessidade local. Porém, para tal, seria necessário um grande número de amostras para estabelecer uma boa caracterização da distribuição e ocorrência de algum atributo físico ou químico do solo, aumentando excessivamente os custos. Isso torna o

processo muita das vezes inviável. Assim procura-se estabelecer uma forma de avaliar a variabilidade espacial das áreas de cultivo de forma indireta, ou seja, encontrar algum atributo facilmente mensurável para correlacioná-lo com outros atributos requeridos para a definição da dosagem do insumo a ser aplicado. A condutividade elétrica aparente do solo ( $CE_a$ ) tem ganhado ênfase como um importante atributo que se correlaciona com propriedades do solo de interesse agrônomo, além de poder ser mensurada com rapidez, alta resolução e baixo custo (SUDDUTH et al.,2005). Ela resulta da influência mútua de atributos do solo e está associada com as suas propriedades físico-químicas (MORAL et al.,2010). Em razão de sua correlação com atributos determinantes da produtividade, a  $CE_a$  vem sendo utilizada para estratificar o campo em zonas mais homogêneas para o manejo diferenciado. Além da condutividade elétrica aparente do solo, a condutividade elétrica do extrato de saturação e o pH do solo são parâmetros que podem ser determinados com rapidez e envolvem baixo custo de determinação. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a correlação entre a  $CE_a$  e a condutividade elétrica da solução do solo ( $CE_w$ ) e a correlação entre a  $CE_a$  e o pH do solo em uma área de silvicultura. Além disso, buscou-se utilizar métodos geoestatísticos para confecção de mapas das variáveis estudadas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi realizado em uma área pertencente à CENIBRA (Celulose Nipo-Brasileira S/A) localizada no município de Naque-MG. O talhão onde foram feitas as coletas de dados tem uma área de 35 ha e foi implantado em 2007, com eucalipto, cuja espécie era híbrida de *eucalyptus grandis* e *eucalyptus urophylla* e assim se encontrava até outubro de 2013, época que foram obtidos os dados. O solo predominante na área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo situado em relevo montanhoso. Foram coletados ao longo do talhão 150 amostras de  $CE_a$  a profundidade de 0 a 20 cm, com o auxílio do sensor portátil de  $CE_a$  LandMapper® ERM-02, marca *Landviser*. Em cada ponto coletado de  $CE_a$  também foram coletadas amostras de solo, sendo que, todas foram georreferenciadas com um GPS topográfico, marca *Magellan* e modelo Promark 3. Foram preparados em laboratório, extrato de saturação de todas as amostras de solo coletadas, e por meio de um condutivímetro EC 110 Meter® e um phgmetro pH 100 Meter®, ambos produzidos pela *FieldScout*, foram determinados respectivamente a  $CE_w$  e o pH de cada amostra.

Inicialmente, foi realizada uma análise estatística descritiva dos dados calculando, dentre outros parâmetros, o coeficiente de correlação de Pearson entre a  $CE_a$  e as demais variáveis utilizando o programa de computador Statistica, produzido pela *StatSoft*.

Foram realizadas análises geoestatísticas com o auxílio do programa de computador Vesper, versão 1.6, desenvolvido pelo Precision Agriculture Laboratory da University of Sydney no intuito de detectar a existência de dependência espacial de cada atributo mensurado. Dessa forma, foram obtidos semivariogramas, em que a semivariância experimental é descrita segundo ISAACS e SRIVASTAVA (1989), em função da distância entre as amostras de acordo com a equação (1):

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [X(t) - X(t+h)]^2 \quad (1)$$

em que,

$y(h)$  – função semivariância;

$N(h)$  – número de amostras que estão a uma distancia  $h$  da amostra em questão;

$X(t)$  – valor assumido pela variável  $X$  na posição  $t$ ;

$X(t+h)$  – valor assumido pela variável  $X$  na posição  $t+h$ .

Ajustou-se um modelo teórico da semivariância com a distância  $h$ , obtendo-se os parâmetros efeito pepita ( $C_0$ ), o patamar ( $C+C_0$ ) e o alcance ( $A_0$ ). A dependência espacial foi analisada com base no índice de dependência espacial proposto por ZIMBACK (2001) estabelecido pela equação (2).

$$IDE = \frac{100 \cdot C}{C_0 + C} \quad (2)$$

em que,

IDE = índice de dependência espacial, em %.

A dependência espacial foi considerada fraca, quando o valor de IDE foi inferior a 25%, foi considerada moderada quando o valor de IDE foi maior que 25% e menor que 75%, e a dependência espacial foi considerada forte quando IDE foi maior que 75%.

Após as análises de dependência espacial, foram gerados mapas de cada variável,  $CE_a$ ,  $CE_w$  e pH, através do programa de computador Vesper, por meio da krigagem por blocos para interpolação dos pontos, utilizando o modelo matemático ajustado a partir do semivariograma.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os resultados da análise estatística descritiva dos atributos estão na Tabela 1. Tanto a condutividade elétrica do extrato de saturação quanto o pH apresentaram correlação significativa com a condutividade elétrica aparente do solo.

TABELA 1: Resultado da análise estatística descritiva dos atributos do solo.

Atributos	Média	Mínimo	Máximo	D.P.	C.V.	r
$CE_a$	2,777	0,179	7,817	1,830	80,486	-
$CE_w$	93,302	55,900	131,300	15,320	16,419	0,347*
pH	4,781	3,960	6,500	0,672	14,053	0,554*

$CE_a$  – condutividade elétrica aparente do solo;  $CE_w$  – Condutividade elétrica aparente do extrato de saturação; D.P. – Desvio Padrão; C.V. – Coeficiente de variação; r – Coeficiente de correlação de Pearson entre  $CE_a$  e cada atributo analisado; \*Valores significativos para o nível de significância de 1% pelo teste t para uma média.

Na Tabela 2 são apresentados os modelos teóricos de semivariância para a condutividade elétrica aparente do solo ( $CE_a$ ), condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_w$ ) e pH do solo. Todas as variáveis apresentaram moderada dependência espacial. Na Figura 1 são apresentados os mapas para essas três variáveis. Na Tabela 3 são apresentados o coeficiente de correlação entre os três mapas obtidos.

TABELA 2: Parâmetros dos modelos teóricos de semivariância dos atributos mensurados.

Atributos	Modelo	$C_0$	$C_0+C$	$A_0$ (m)	IDE
$CE_a$	Exponencial	1,59	3,85	103,6	58,7%
$CE_w$	Exponencial	182,9	256,6	65,9	28,8%
pH	Exponencial	0,15	0,51	298,3	72,3%

$CE_a$  – condutividade elétrica aparente do solo;  $CE_w$  – Condutividade elétrica aparente do extrato de saturação; IDE - Índice de dependência espacial;  $C_0$  – efeito pepita;  $C_0+C$  – patamar;  $A_0$  – alcance.

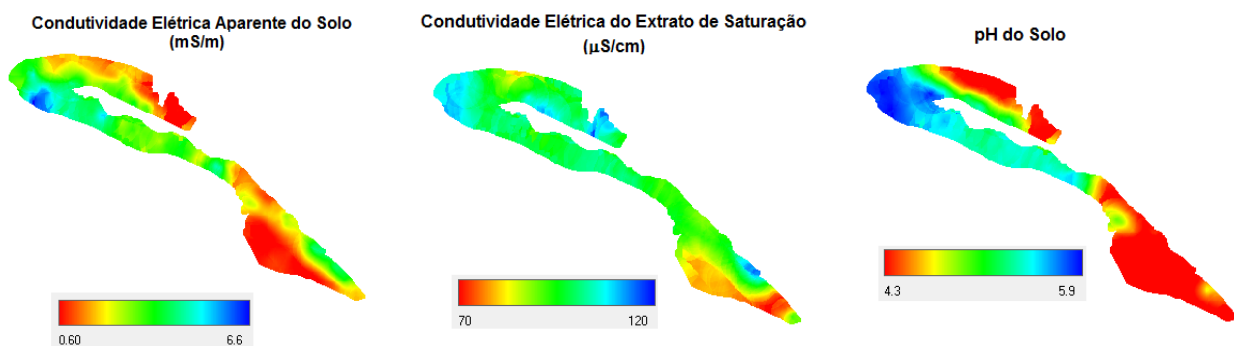


FIGURA 1. Mapas de  $CE_a$ ,  $CE_w$  e pH interpolados por meio da krigagem por blocos.

TABELA 3: Correlação entre os mapas de Condutividade elétrica aparente do solo ( $CE_a$ ), condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_w$ ) e pH do solo.

Atributos	$CE_a$	$CE_w$	pH
$CE_a$	1		
$CE_w$	0,54	1	
pH	0,82	0,61	1

### CONCLUSÕES

Os atributos condutividade elétrica aparente do solo, condutividade elétrica do extrato de saturação e pH do solo apresentaram correlação significativa entre si. As três variáveis apresentaram dependência espacial moderada. Essas três variáveis apresentam potencial para caracterização da variabilidade espacial dos solos.

### AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio dado para a realização dessa pesquisa.

### REFERÊNCIAS:

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, NY, 1989.

MORAL, F. J.; TERRÓN, J. M.; SILVA, J. R. M. D. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. Soil and Tillage Research, v. 106, n. 2, p. 335-343, 2010.

SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; WIEBOLD, W. J.; BATCHELOR, W. D.; BOLLERO, G.A; BULLOCK, D. G.; CLAY, D. E.; PALM, H. L.; PIERCE, F. J.; SCHULER, R. T.; THELEN, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. Computers and Electronics in Agriculture, v. 46, n. 1-3, p. 263-283, 2005.

ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. 114 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista.