



## Análise da condutividade elétrica aparente e de atributos químicos de um Latossolo Amarelo, em Lucas do Rio Verde (MT)

Fabiana Morbi Fernandes<sup>(1)</sup>; José Roberto Portugal<sup>(2)</sup>; Daniel Noe Coaguila Nuñez<sup>(2)</sup>; Lenon Henrique Lovera<sup>(1)</sup>; Rafael Montanari<sup>(3)</sup>.

<sup>(1)</sup>Mestrandos em agronomia, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS); Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho (FEIS/UNESP); Passeio Monção 226, Ilha Solteira, SP, 15385-000; <fabianamorbi90@gmail.com> <lenon\_lovera@hotmail.com>; <sup>(2)</sup> Doutorandos em agronomia, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS); Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho (FEIS/UNESP); Passeio Monção 226, Ilha Solteira, SP, 15385-000; <jrp\_agro@yahoo.com> <tuheraldo@gmail.com>; <sup>(3)</sup> Professor/DEFERS; FEIS/UNESP; 15385-000, Ilha Solteira, SP. <montanari@agr.feis.unesp.br>

### RESUMO

Os solos brasileiros apresentam grande variabilidade química natural e com isso a condutividade elétrica aparente (CEa) pode auxiliar na interpretação das variações de produtividade das culturas. Assim sendo, em um talhão da fazenda José Eduardo, localizada em Lucas do Rio Verde-MT, no ano de 2012, foram estudadas a correlação linear entre a condutividade elétrica e atributos químicos do solo, caracterizando a variabilidade espacial dessas variáveis, obtendo assim zonas específicas de manejo para um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. Para tanto, foi instalada a malha geoestatística (50 ha), com 473 pontos amostrais, avaliando os seguintes atributos: condutividade elétrica (CE) com 2 kHz, 7 kHz e 15 kHz utilizando o aparelho Profiler EMP-400 e capacidade de troca catiônica (CTC) e teor de matéria orgânica (MO), na profundidade de 0,00-0,20m. Foi realizada a análise descritiva clássica e de dependência espacial, para cada atributo analisado. Dentre os atributos do solo a CTC foi a que apresentou maior correlação com a CEa com correlação inversa com 15 kHz.

**Termos de indexação:** agricultura de precisão, dependência espacial, Profiler EMP-400.

### INTRODUÇÃO

A uniformidade de manejo do solo ignora as variações naturais e induzidas em suas propriedades, e pode resultar em zonas com excesso e outras com falta de tratamentos, fazendo com que aumentem os problemas econômicos e ambientais associados a essa aplicação falha de insumos no solo. Sabe-se que os níveis elevados de produtividade agrícola estão associados ao uso intenso de insumos. Contrapondo a este fato, é eminente a necessidade de se encontrar meios alternativos que possibilitem minimizar o uso de insumos e por extensão os custos de produção e o impacto ambiental, além de incrementar a

produtividade das culturas. Esta necessidade fez impulsionar a agricultura de precisão, no controle homogêneo ao espacialmente variável. O uso da condutividade elétrica do solo têm apontado seu potencial para a mensuração da capacidade de troca catiônica, profundidade de camada de impedimento, teor de matéria orgânica, teor de sais da solução do solo, dentre outros, para auxiliar na compreensão dos fatores que influenciam a produtividade (Oliveira, 2003; Castro, 2004).

O objetivo do trabalho foi o de estudar a correlação entre a condutividade elétrica e os atributos químicos do solo, bem como caracterizar a variabilidade espacial dessas, visando obter zonas específicas de manejo em um LATOSSOLO AMARELO Distrófico.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Fazenda José Eduardo, no município de Lucas do Rio Verde- MT. O tipo climático é o tropical de Savana, com duas estações bem definidas, temperatura média anual de 25°C, precipitação média anual de 2.333 mm e altitude média de 400 metros, em um LATOSSOLO AMARELO. Os dados foram coletados em 2012 e foi desenvolvido e utilizado um croqui georreferenciado com 473 pontos distribuídos aleatoriamente, em um talhão de 50 ha, cultivado em plantio direto por 10 anos com soja no verão e milho no inverno. Os atributos determinados foram de condutividade elétrica do solo (CE): 2 Khz, 7 Khz e 15 Khz. No entorno de cada ponto amostrado foram coletadas amostras para análises da fertilidade na profundidade de 0,00-0,20m sendo: teor de matéria orgânica (MO) e capacidade de troca de cátions (CTC), realizados no laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP segundo (Raij et al.,2001). Para a análise da CE foi utilizado o aparelho Profiler EMP-400 (Geophysical Survey Systems, 2006) com método da condutividade elétrica sem contato direto com o solo. Realizou-se a análise descritiva clássica, por meio de software estatístico SAS



(Schlotzhaver; Littel, 1997). A relação entre os atributos foi verificada pela matriz de correlação, bem como por ajustes de modelos de regressão linear. Para testar a hipótese de normalidade, foi utilizada a estatística de Shapiro & Wilk adotando-se o nível de significância de 5%. Montou-se matriz de correlação, para avaliar as correlações lineares entre as combinações de atributos e bem como ajustou-se modelos de regressão linear para os pares com correlações significativas. Isoladamente para cada atributo, foi analisada sua dependência espacial, pelo cálculo do semivariograma simples, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, pelo uso do pacote Gamma Design Software (GS+, 2004). Para interpretação proposta, utilizou-se o critério de (Dalchiavon & Carvalho, 2012). Trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, foram obtidos, por meio da interpolação, os mapas de krigagem para análise da dependência e da interdependência espacial entre os atributos. Os componentes geoestatísticos determinados foram o semivariogramas simples e a krigagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, tem-se os valores das medidas descritivas dos atributos envolvidos neste estudo. Nota-se valores negativos de condutividade elétrica do solo nas frequências 2 Khz, 7 Khz e 15 Khz. As medidas de CE nas três frequências consideradas apresentaram leve assimetria a direita, com as médias pouco maiores que a medianas, o que indica uma concentração de valores abaixo da média. As distribuições de frequência foram do tipo indeterminada - podendo ser herança do preparo inicial do solo, a análise de normalidade foi realizada por meio do teste de Shapiro e Wilk. De acordo com Cressie (1991), a normalidade não é uma exigência da Geoestatística, como neste trabalho, para os valores de CE nas três frequências, as médias foram próximas da mediana e apresentaram leve assimetria a direita, não houve prejuízo nas análises posteriores, com relação a esse atributo. Para avaliar a variabilidade dos dados de CE, foi utilizado o coeficiente de variação. Landim (2003), relata que o coeficiente de variação (CV) fornece uma medida relativa da precisão do experimento, sendo bastante útil na dispersão dos dados. Segundo Pimentel Gomes (2000), nos experimentos de campo, se o coeficiente de variação for inferior a 10%, o coeficiente é classificado como baixo, o experimento tem alta precisão; de 10 a 15% são considerados médios e de boa precisão; de 20 a 30% alto, com baixa precisão e acima de 30% muito alto. O inconveniente desta classificação é o fato de não se considerar a cultura, a variável em estudo, a

heterogeneidade do solo, etc. Nos atributos de condutividade elétrica, apenas para a CE (7 Khz e 15 Khz), se considerarmos o módulo de tal coeficiente, apresentou um alto valor, sendo que para as outras frequências houve pequena dispersão. Considerando os atributos químicos, a CTC apresentou assimetria negativa, sendo que a mediana foi  $6,93 \text{ mmolc dm}^{-3}$  e coeficiente de variação considerado baixo, segundo Pimentel Gomes (2000), com 7,44%. De acordo com estudos de Lima et al. (2010) o atributo CTC apresentou média igual a  $5,64 \text{ mmolc dm}^{-3}$ , coeficiente de variação 13,6%, o que indica valores próximos dos encontrados neste trabalho para CTC. A variável MO apresentou leve assimetria a direita, coeficiente de variação considerado baixo (4,46%), segundo Pimentel Gomes (2000), distribuição de frequência indefinida e mediana igual  $3,28 \text{ g dm}^{-3}$ . As correlações entre os atributos pesquisados, bem como a significância do teste de correlação estão apresentados na tabela 2. As correlações entre as medidas de CE 2 Khz, 7 Khz e 15 Khz foram significativas ao nível de 1% de probabilidade, sendo positivas, variando entre 0,38 e 0,91. Isso mostrou um comportamento semelhante com respeito às medidas de CE nas três diferentes frequências. A matriz de correlação permite observar o comportamento da troca catiônica em relação aos à matéria orgânica e a condutividade elétrica. A CTC variou de maneira que na intensidade da corrente elétrica de 7Khz, apresentou o maior valor de significância a 1% (-0,38), sendo este negativo, apresentando uma relação diretamente proporcional. Esta também apresentou correlação de 0,48 a nível de significância de 1% com a matéria orgânica. Observamos de acordo com a tabela 3, que dentre os parâmetros geoestatísticos, exceto a condutividade elétrica a 7Khz e 15Khz que apresentaram efeito pepita puro, todos os outros apresentaram dependência espacial, sendo o atributo químico que apresentou maior dependência espacial a MO (ADE = 99,0%),  $r^2$  próximo de 1 (0,994), soma de quadrado de resíduo aproximadamente zero ( $SQR = 1,54 \cdot 10^{-3}$ ) e modelo esférico, cujo alcance foi de 1154 m. Ajustes com parâmetros similares ocorreram para o semivariograma do atributo CTC, (ADE = 95%),  $r^2$  próximo de 1 (0,972) e modelo gaussiano, cujo alcance foi de 478m, apenas fazendo uma exceção para a soma de quadrado de resíduos para CTC, a qual não apresentou magnitude tão próxima de zero quanto aos demais ( $SQR = 0,9 \cdot 10^4$ ). De acordo com o critério de Cambardella et al. (1994), CTC e MO indicam forte dependência espacial. O mapa de krigagem da CE na frequência 2Khz (figura 1a) para a área estudada evidenciam que há um certo padrão apontam menores valores de condutividade elétrica



na região sudeste, sendo que nas demais regiões observou-se maiores concentrações de CE, com destaque para uma pequena área na região Sul. A medida da CE é muito importante para avaliação de solos, Anderson Cook et al. (2002), classificaram solos com precisão de 90% quando combinados dados de condutividade elétrica. As menores concentrações CTC (figura 1b) estão, mais precisamente, nas regiões leste, se estendendo nas direções sudeste e nordeste; fato que vai de encontro aos valores de correlações positivas e significativas encontrados para estes atributos, já discutidos anteriormente. Com relação a MO, observa-se no mapa de krigagem (Figura 1c), valores menores deste atributo na parte superior do mapa, com pequena extensão para parte sudeste.

### CONCLUSÕES

A CTC foi o atributo do solo com maior correlação com a CEa, e dentre as frequências estudadas a maior correlação inversa foi com 15 kHz.

Na região central dos mapas observou-se correlação espacial entre a frequência de 2 kHz e a CTC e MO do solo.

### REFERÊNCIAS

ANDERSON COOK, C. M.; ALLEY, M. M.; ROYGARD, J. K. F.; KHOSLA, R.; NOBLE, R. B.; DOOLITTLE, J. A. Differentiating soil types using electromagnetic conductivity and crop yield map. *Soil Science Society of America Journal*, v. 66, p. 1562- 1570, 2002.  
CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.58, n.5, p. 1501 -11, 1994.  
CASTRO, C.N. Definição de unidades de gerenciamento

do solo por meio da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas. 2004. 131f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.  
CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley, 1991.  
DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M. & MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.3, p.453-461, 2012.  
GEOPHYSICAL SURVEY SYSTEMS. Profiler EMP-400. The world leader in subsurface Imaging, 2006, 85p.  
GS+: *Geostatistics for environmental sciences*. 7. ed. Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 159p.  
LANDIM, P.M.B. *Análise estatística de dados geológicos*. 2. ed. São Paulo. UNESP, 253 p, 2003.  
LIMA, C.G.R.et al. Atributos físico-químicos de um latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, n.1, p.163-173, 2010.  
OLIVEIRA, F.D. Mapeamento dos teores de óleo e proteína de grãos de soja e análise de sua correlação com atributos do solo. 2003. 115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.  
Oliveira, C. Caracterização geofísica do Solo para uso em agricultura de precisão. 2006. 139f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (Geofísica Aplicada). Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2006. Disponível em: <[http://www.iag.usp.br/pos/sites/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_Claudia%20de%20Oliveira\\_%202006.pdf](http://www.iag.usp.br/pos/sites/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Claudia%20de%20Oliveira_%202006.pdf)>. Acesso m: 11 mai. 2015.  
PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 14.ed. Piracicaba: Degaspari, 2000, 477 p.  
RAIJ, B.V.; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Instituto Agronômico Campinas, 2001. 285p.  
SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTEL, R. C. *SAS system for elementary statistical analysis*. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.

**Quadro 1:** Análise descritiva inicial da condutividade elétrica aparente e de atributos químicos de um Latossolo Amarelo, em Lucas do Rio Verde (MT)

Atributo <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas									Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Pr<w	DF	
			Mínimo	Máximo		Varição (%)	Curtose	Assimetria			
	CE 2 Hz(dS m <sup>-1</sup> )	-778,83	-789,88	-902,45	-550,66	57,94	-7,44	0,662	0,778	10 <sup>-4</sup>	IN
CE 7 Hz(dS m <sup>-1</sup> )	-143,25	-180,59	-274,40	170,69	105,49	-73,64	-0,205	0,938	10 <sup>-4</sup>	IN	
CE 15 Hz(dS m <sup>-1</sup> )	-236,15	-301,13	-351,66	124,62	126,29	-53,48	-0,075	1,140	10 <sup>-4</sup>	IN	
CTC (mmol <sub>c</sub> m <sup>-3</sup> )	6,90	6,93	6,33	7,81	57,94	-7,44	0,662	-0,17	10 <sup>-4</sup>	IN	
MO (g dm <sup>-3</sup> )	3,29	3,28	2,99	3,72	14,70	4,46	-0,252	0,227	0,0042	IN	

<sup>(a)</sup> CE = condutividade elétrica; CTC e MO são respectivamente a matéria orgânica e capacidade de troca de cátions, coletados nas camadas do solo; <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência do tipo IN= indeterminada.

**Quadro 2:** Matriz de correlação da condutividade elétrica e de atributos químicos de um Latossolo Amarelo, em Lucas do Rio Verde (MT).

Atributo <sup>(a)</sup>	Coeficientes de correlação <sup>(b)</sup>				
	2 Hz	7 Hz	15 Hz	CTC	MO
7 Hz	<b>0,44**</b>	-	-	-	-
15 Hz	<b>0,38**</b>	<b>0,91**</b>	-	-	-
CTC	<b>-0,40**</b>	<b>-0,38**</b>	<b>-0,49**</b>	-	-
MO	<b>-0,47**</b>	0,03	0,01	<b>0,48**</b>	-

<sup>(a)</sup> CE = condutividade elétrica; CTC e MO são respectivamente a matéria orgânica e capacidade de troca de cátions, coletados nas camadas do solo; <sup>(b)</sup> \* significativo a 5%; \*\* significativo a 1%

**Quadro 3:** Parâmetros dos semivariogramas da condutividade elétrica aparente e de atributos químicos de um Latossolo Amarelo, em Lucas do Rio Verde (MT).

Atributos <sup>(a)</sup>	Parâmetros do ajuste										
	Modelo <sup>(b)</sup>	Parâmetros do ajuste						Validação cruzada			
		C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	A <sub>0</sub> (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>	Validação cruzada			
								%	a	b	r
<b>Semivariogramas</b>											
CE 2 Hz(dS m <sup>-1</sup> )	EXP	1,58.10 <sup>3</sup>	3,94.10 <sup>3</sup>	1653	0,96	1,19.10 <sup>5</sup>	60,0	8,12.10 <sup>3</sup>	1,10.10 <sup>3</sup>	0,66	
CE 7 Hz(dS m <sup>-1</sup> )	EPP	2,31.10 <sup>3</sup>	2,31.10 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	
CE 15 Hz(dS m <sup>-1</sup> )	EPP	7,0.10 <sup>3</sup>	7,0.10 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	
CTC (mmol <sub>c</sub> m <sup>-3</sup> )	GAU	2,80.10 <sup>1</sup>	5,74.10 <sup>3</sup>	478	0,97	0,9.10 <sup>4</sup>	95,0	0,44.10 <sup>1</sup>	1,06.10 <sup>3</sup>	0,99	
MO (g dm <sup>-3</sup> )	ESF	1,00.10 <sup>0</sup>	3,62.10 <sup>3</sup>	1154	0,99	1,54.10 <sup>-3</sup>	99,0	2,98.10 <sup>0</sup>	1,09.10 <sup>0</sup>	0,99	

<sup>(a)</sup> CE = condutividade elétrica; CTC e MO são respectivamente a matéria orgânica e capacidade de troca de cátions, coletados nas camadas do solo. <sup>(b)</sup> GAU = gaussiano, EXP = exponencial, ESF= esférico, EPP = efeito pepita puro; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial.

**Figura 1:** Mapas de krigagem da condutividade elétrica aparente e de atributos químicos de um Latossolo Amarelo, em Lucas do Rio Verde (MT).

