

Variabilidade espacial de propriedades do solo em pastagem manejada intensivamente em São Carlos, SP

Alberto C. de Campos Bernardi^{1,3*}, Giovana Maranhão Bettiol¹, Ricardo Y. Inamasu^{2,3}, Ladislau Rabello²

¹ Embrapa Pecuária Sudeste, CP 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

² Embrapa Instrumentação Agropecuária São Carlos

³ Bolsista do CNPq

*e-mail: alberto@cnpqse.embrapa.br

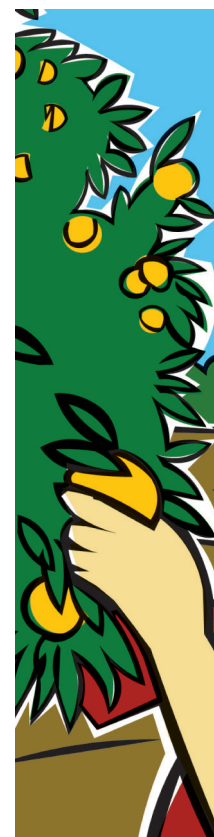
Resumo: O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é útil para o uso racional dos insumos, como na aplicação a taxa variável de calcário e fertilizante. O objetivo deste trabalho foi o mapear a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e elaborar mapas de necessidade de aplicação de insumos de forma localizada em área de pasto rotacionado manejado intensivamente. O estudo foi conduzido em área de 8 ha de pastagem de capim-mombaça irrigada e manejada no sistema intensivo rotacionado com 48 piquetes em São Carlos (SP). A amostragem de solo foi realizada com 6 subamostras em cada piquete. Os valores de P, K, CTC, saturação por bases foram determinados por métodos tradicionais de análise de solo nas amostras georreferenciadas coletadas a 0-0,2 m de profundidade. A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi medida com um protótipo de sensor de contato. A variabilidade espacial das propriedades químicas do solo e da necessidade de calagem e adubação foram modeladas utilizando semivariogramas e os mapas foram obtidos por krigagem com o software Vesper. Os resultados indicaram que a área em estudo apresenta-se muito homogênea quanto às propriedades do solo avaliadas, e que apenas a adubação potássica a taxas variáveis tem potencial para ser adotada.

Palavras-chave: geoestatística, fertilidade do solo, Vesper, taxa variável, condutividade elétrica do solo, *Panicum maximum*.

Spatial variability of soil properties in intensively managed grassland in São Carlos, SP

Abstract: The knowledge of spatial variability soil properties is useful in the rational use of inputs, as in the variable rate application of lime and fertilizers. The objective of this work was to map and evaluate the soil chemical properties and maps the site specific liming and fertilizer need in a irrigated pasture. The study was conducted in an area of 8 ha of pasture Mombaça-grass irrigated and managed intensive in a rotational system with 48 paddocks in Sao Carlos, SP, Brazil. Samples with 6 sub-samples were collected in each paddock. The values of soil P, K, CEC and basis saturation were analyzed by traditional soil testing in samples collected at 0–0.2 m depth. Soil electrical conductivity (EC) was measured with a prototype of a contact sensor. Spatial variability soil properties and site specific liming and fertilizer need were modeled using semivariograms and maps were obtained by kriging with Vesper software. Results showed that the soil properties of study area are very homogeneous, and variable rate of potassium fertilizer has the potential to be adopted in the study area.

Keywords: geostatistics, soil fertility, Vesper, variable rate, soil electrical conductivity, *Panicum maximum*.



1. Introdução

A Agricultura de Precisão (AP) tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e das culturas no espaço e no tempo e pode auxiliar os produtores na tomada de decisões gerenciais para os diferentes sistemas de cultivo (KOCH; KHOSLA, 2003). A implementação das técnicas de AP tem por meta o manejo dos diferentes fatores de produção, de modo georreferenciado, otimizando o uso de insumos, aumentando a renda dos agricultores e mantendo a qualidade do ambiente. Desse modo, pode ser definida como o manejo da variabilidade dos fatores de produção agrícola visando aumentar o benefício econômico e reduzir o impacto no meio ambiente.

Mas, a AP requer métodos e ferramentas para avaliar a variabilidade espacial do solo que possibilitem a redução das amostragens intensivas e caras (McBRATNEY; PRINGLE, 1999). A condutividade elétrica aparente do solo integra textura e a disponibilidade de água, duas características do solo que afetam a produtividade, e pode auxiliar na interpretação das variações de rendimento das culturas (KITCHEN; SUDDUTH; DRUMMOND, 1999) e foi relacionada com a variabilidade espacial da produção das culturas (KITCHEN; SUDDUTH; DRUMMOND, 1999; LUCHIARI et al., 2001). No Brasil, Machado et al. (2006) verificaram que os valores da CEa estavam relacionados com o teor de argila do solo e sua variabilidade espacial e foi útil para o estabelecimento dos limites de zonas de manejo em lavoura de soja.

O objetivo deste trabalho foi o mapear a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e elaborar mapas de necessidade de aplicação de insumos de forma localizada em área de pasto rotacionado manejado intensivamente.

2. Material e métodos

O estudo foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (21° 57' 15" S e 47° 50' 53,5" O; 856 m acima do nível do mar), em área de solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (CALDERANO et al., 1998). O clima da região é tropical de altitude, com 1502 mm de precipitação pluvial anual e

médias de temperatura mínima e de temperatura máxima de 16,3° C (julho) e de 23° C (fevereiro), respectivamente (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA, 2010). A área de 8 ha de pastagem de *Panicum maximum* cv. Mombaça vem sendo manejada no sistema intensivo desde 2005. As pastagens são manejadas em sistema rotacionado de pastejo com 3 e 4 dias de ocupação e 33 e 44 dias de descanso na época das águas e da seca, respectivamente. O pasto era adubado após a saída dos animais de cada piquete, com resíduo em torno de 40 cm, na dosagem de 80 kg/ha de nitrogênio por ciclo de pastejo, reduzida à metade no período da seca, e suspensa nos dois sistemas sem irrigação nesse período. A irrigação por aspersão foi realizada através de sistema autopropulsor de movimentação circular do tipo pivô central e o manejo da água (frequência e lâmina de irrigação) foi realizado pelo método EPS, com base no balanço entre a demanda climática (evapotranspiração) e as condições edáficas (capacidade de armazenamento de água disponível) do local (RASSINI, 2002).

A pastagem de capim-mombaça é dividida com cerca eletrificada em 4 sistemas de 12 piquetes (Figura 1a). Foram realizadas as amostragens de solo com 6 subamostras para formar uma amostra composta em cada um dos piquetes. As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas em peneira de malha de 2 mm e analisadas para determinação do pH em água, da matéria orgânica, do P disponível pelo método da resina, dos teores trocáveis de K, Ca e Mg, da acidez trocável e potencial, e dos teores de argila e areia. Indiretamente foram calculados, através do uso dos parâmetros anteriores, a soma de bases, a saturação por bases e a capacidade de troca de cátions (CTC) ao pH 7,0 (PRIMAVESI et al., 2005). A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi medida com um protótipo de sensor de contato, cujos pontos de amostragem estão na Figura 1b.

Adotou-se, para cálculo da necessidade de calagem e adubação com P e K a os cálculos realizados pelo programa Adubapasto (<http://www.cppse>.

embrapa.br/adubapasto). O cálculo da calagem considerou o nível de acidez atual e a capacidade tampão do solo, expressa pela CTC ao pH 7,0, e a saturação por bases ideal para a cultura, que no caso, foi de 70%, por se tratar de área de forrageira mais exigente em fertilidade. O cálculo da dose de fósforo e potássio baseou-se na análise de solo para elevar o nível de P no solo para 20 mg.dm^{-3} e de K para 6% da CTC. Os modelos de semivariograma foram ajustados e os mapas estimados pelo método da krigagem utilizando o programa VESPER (MINASNY; McBRATNEY; WHELAN, 2005).

3. Resultados e discussão

A verificação da normalidade dos dados é importante, pois a krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (CARVALHO et al., 2002). Dessa forma, valores teóricos de assimetria e curtose entre 0 e 3, indicam a distribuição normal dos dados (CARVALHO et al., 2002). Dos resultados obtidos apenas pH e CTC apresentam valores de assimetria e curtose compatíveis com a normalidade (Tabela 1). Os demais parâmetros não apresentaram distribuição normal.

De acordo com a classificação sugerida por Pimentel-Gomes (1984), os valores de pH e M.O. apresentaram coeficientes de variação baixo (<10%), V% apresentou coeficiente de variação médio (entre 10 e 20%) e as demais variáveis (P, K, CTC e CEa) apresentaram coeficientes de variação altos (>20%). De acordo com Kravchenko (2003) o nível

de variabilidade dos dados é importante no manejo de sítios específicos, uma vez que as propriedades do solo com alta variabilidade (P, K, CTC e CEa, no presente estudo) são potencialmente mais apropriadas para serem manejadas espacialmente que aquelas uniformemente distribuídas. Por outro lado, o mapeamento das propriedades do solo com alta variabilidade espacial pode ter menor acurácia que os valores com menor variabilidade. As tendências de variação dos valores dos atributos de solo obtidos nesse estudo estão de acordo aos observados por Mulla e McBratney (2000) para diversos parâmetros de solo.

Os semivariogramas experimentais para as variáveis foram calculados, e todos os modelos ajustados foram delimitados (Tabela 2). Confirmando a observação de que dados com menor coeficiente de variação não apresentam dependência espacial, houve efeito pepita puro para as variáveis pH, M.O. e K. O modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou aos variogramas experimentais dos atributos do solo, à exceção do P cujo modelo foi o esférico. Os atributos do solo que apresentaram dependência espacial (Tabela 2), de acordo com os critérios de Cambardella et al. (1994), consideradas como forte (efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar) foi a CTC, como dependência moderada (efeito pepita entre 26-75% do patamar), CEa e doses de K_2O . E a V% e doses de P_2O_5 apresentaram dependência fraca ($\geq 75\%$).

Na Figura 2 são apresentadas a espacialização dos parâmetros que apresentaram forte a moderada

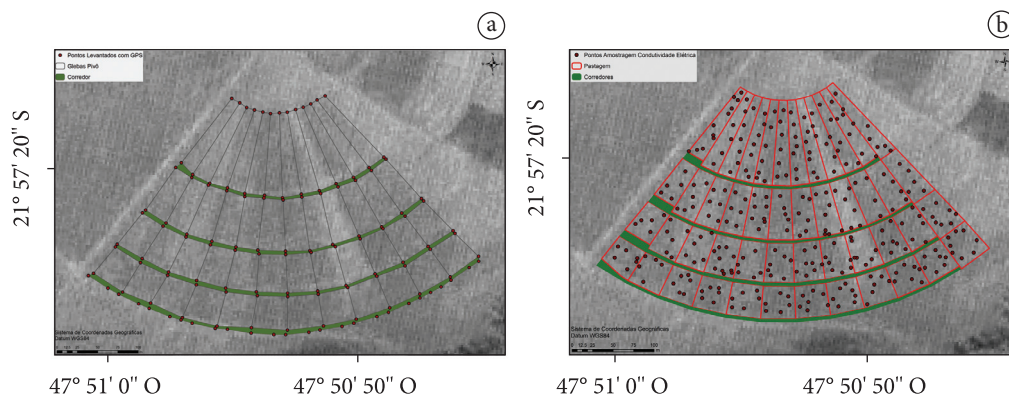


Figura 1. Localização da área de pastagem de capim-mombaça irrigado (a) na Embrapa Pecuária Sudeste (São Carlos, SP) e pontos de amostragem para avaliação da condutividade elétrica aparente do solo (b).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos das variáveis pH, M.O., P, K, CTC, V% e condutividade elétrica aparente (CEa) de uma área de pastagem de capim-mombaça irrigado em São Carlos, SP.

Parâmetros Estatísticos	pH	MO	P	K	CTC	V	CEa
	CaCl ₂	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³		mmol _e .dm ⁻³	%	mS.m ⁻¹
Média	5,6	24,9	15,6	3,4	76,5	60,6	6,1
Desvio padrão	0,2	1,0	5,8	1,0	11,5	6,1	2,1
Mínimo	5,1	22,0	4,0	1,6	57,0	46,0	0,4
Máximo	6,2	27,0	26,0	5,5	108,0	75,0	9,9
CV	4,1	4,0	37,0	29,8	15,0	10,0	34,8
Curtose	0,1	0,9	-0,6	-0,8	0,9	-0,3	0,1
Assimetria	0,3	-0,5	0,1	0,1	0,9	0,1	-0,6
n	48	48	48	48	48	48	320

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariograma ajustados para as variáveis pH (CaCl₂), M.O., P, K, CTC, V%, CEa, necessidade de calcário, doses de adubo K e P de pastagem de capim-mombaça irrigado em São Carlos, SP.

Variável	C ₀ *	C ₁ **	a***	Modelo de ajuste	Dependência 100[C ₀ / (C ₀ + C ₁) ⁻¹]
pH (CaCl ₂)	-	-	-	Efeito pepita puro	-
MO	-	-	-	Efeito pepita puro	-
P	57,72	14,51	218,8	Esférico	79,9
K	-	-	-	Efeito pepita puro	-
CTC	23,92	245,5	209,0	Gaussiano	8,9
V	31,02	8,814	148,1	Gaussiano	77,8
CEa	5,091	496,3	10000	Gaussiano	27,3
NC	-	-	-	Efeito pepita puro	-
K ₂ O	1404,2	4082,6	71,85	Esférico	25,6
P ₂ O ₅	-	-	-	Efeito pepita puro	-

*C₀ = efeito pepita; **C₁ = variância estrutural; ***a = alcance.

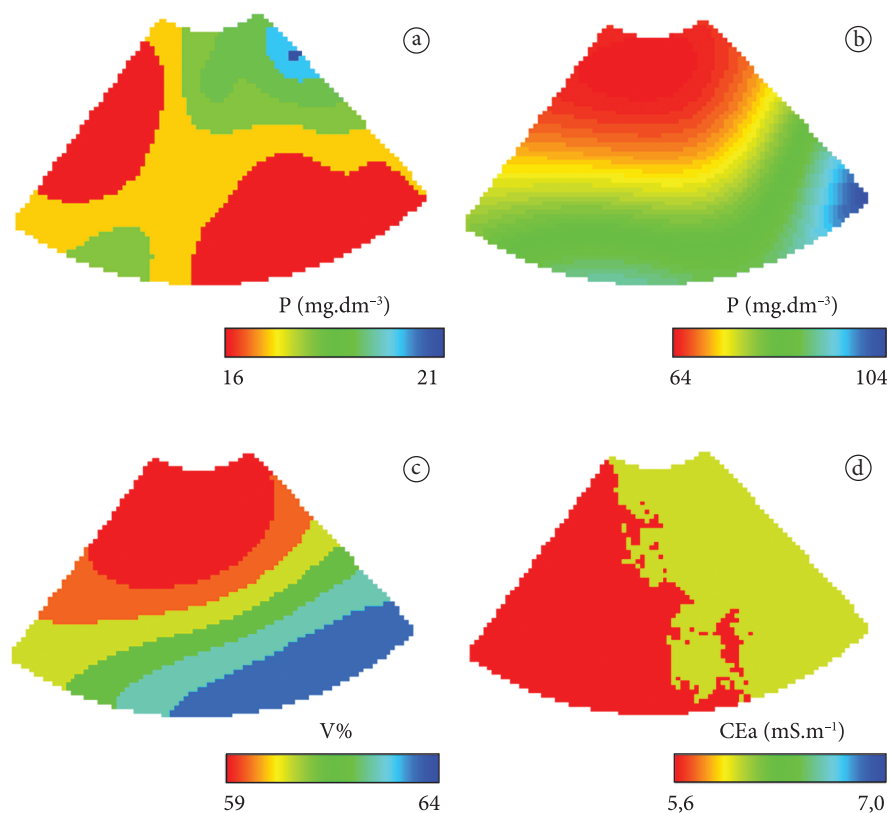


Figura 2. Mapas especializados obtidos por krigagem do teor de P, valores de CTC (B) e V% (C) e da CEa (D) em área de pastagem de capim-mombaça irrigada em São Carlos, SP.

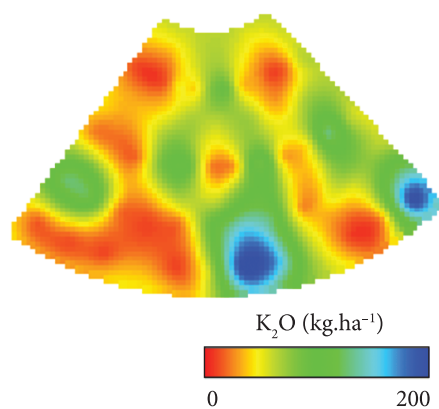


Figura 3. Recomendação espacializada da estimativa de K_2O (C) para pastagem de capim-mombaça irrigado em São Carlos, SP.

dependência espacial, ou seja, P, CTC, V% e CEa obtidos pelo método da krigagem. Destaca-se que os gráficos confirmam a que há pequenas diferenças entre os teores de P (de 16 a 21 $mg.dm^{-3}$) e valores de V% (59 a 64%) e CEa (5,6 e 7,0 $Ms.m^{-1}$).

A partir da malha de pontos amostrados, estabeleceram-se as informações para serem utilizadas no manejo da cultura no campo. Dessa forma, o mapa com as doses potássio para aplicação em taxas variáveis é apresentado na Figura 3. A espacialização da adubação potássica indica 3 faixas de doses que poderiam ser utilizadas na aplicação a taxas variáveis: 0, 100 e 200 $kg.ha^{-1}$. Observa-se que o mapa de produção de MS seguiu a tendência inversa da necessidade de calcário, apresentando distribuições semelhantes pela área.

4. Conclusões

Os resultados indicaram que a área em estudo apresenta-se muito homogênea quanto às propriedades do solo avaliadas, e que apenas a adubação potássica a taxas variáveis tem potencial para ser adotada.

Agradecimentos

Ao *International Potash Institute* – IPI pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

Referências

- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; FONSECA, O. O. M.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. **Os solos da fazenda Canchim**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. 95 p. (EMBRAPA-CNPS, Boletim de Pesquisa, n. 7).
- 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 America Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, p. 1151-1159, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800013>
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas - a classificação climática de koepfen para o Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html>. Acesso em: 01 jun. 2010.
- KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems. *Journal of Crop Production*, v. 8, p. 361-381, 2003. http://dx.doi.org/10.1300/J144v09n01_02
- KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. *Journal of Production Agriculture*, v. 12, p. 607-617, 1999.
- KRAVCHENKO, A. N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of America Journal*, v. 67, p. 1564-1571, 2003. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.1564>
- LUCHIARI, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: PRECISION AGRICULTURE INTERNATIONAL CONFERENCE, 5., 2000, Madison, Minneapolis. **Proceedings...** Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2001.
- MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G. A.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. M. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, p. 1023-1031, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600019>
- McBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. *Precision Agriculture*, v. 1, p. 219-236, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009995404447>

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. **VESPER**. version 1.62. Australian Centre for Precision Agriculture, 2005. Disponível em: <<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>>. Acesso em: 22 jul. 2010.

MULLA, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. A321-352.

PIMENTEL-GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160 p.

PRIMAVESI, A. C.; ANDRADE, A. G.; ALVES, B. J. R.; ROSSO, C.; BATISTA, E. M.; PRATES, H. T.; ORTIZ, F. R.; MELLO, J.; FERRAZ, M. R.; LINHARES, N. W.; MACHADO, P. L. O. A.; MOELLER, R.; ALVES, R. C. S.; SILVA, W. M. Métodos de análise de solo. In: NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios**: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 67-130.

RASSINI, J. B. **Irrigação de pastagens**: Frequência e quantidade de aplicação de água em Latossolos de textura média. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 7 p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Circular Técnica, n. 31).