

VARIABILIDADE ESPACIAL DE PARÂMETROS DE SOLO E PLANTAS EM ÁREA CULTIVADA COM SORGO E BRAQUIÁRIA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

ALBERTO C. DE CAMPOS BERNARDI^{1,4}, CÉLIA REGINA GREGO², RICARDO G. ANDRADE², LADISLAU MARCELINO RABELLO³, RICARDO Y. INAMASU^{3,4}

¹ Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, C.P.339, CEP: 13560-970, São Carlos - SP. E-mail: alberto@cnpse.embrapa.br

² Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite. Av. Soldado Passarinho, 303, CEP 13070-115 Campinas - SP. E-mail: crgrego@cnpm.embrapa.br; ricardo@cnpm.embrapa.br

³ Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária. Rua XV de Novembro, 1452, CEP 13560-970 São Carlos - SP. E-mail: rabello@cnpdia.embrapa.br; ricardo@cnpdia.embrapa.br

⁴ Bolsista CNPq

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2010
27 a 29 de setembro de 2010 - Ribeirão Preto - SP, Brasil.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi mapear e avaliar a variabilidade espacial do sorgo e da pastagem, das propriedades químicas e físicas do solo em sistema de lavoura-pecuária. O estudo foi conduzido em área de 12 ha de um Argissolo Vermelho distrófico, em São Carlos, SP. O sorgo foi semeado no verão com a forrageira *Brachiaria brizantha* no sistema de integração lavoura-pecuária. A amostragem de solo georreferenciada foi feita utilizando-se uma grade de amostragem hexagonal com 6 subamostras. Os valores de P, K, Ca, Mg e CTC, saturação por bases, argila e areia foram determinados por métodos tradicionais de análise de solo nas amostras georreferenciadas coletadas a 0-0,2 m de profundidade. A condutividade elétrica do solo (CE) foi medida com um sensor de contato. A área foi avaliada no final do ciclo do sorgo (fevereiro) e início da forrageira (outubro) por imagens do satélite Landsat 5 utilizando técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. Foi calculado o NDVI para interpretar as imagens. As variabilidades espaciais da cultura e do solo foram modeladas utilizando semivariogramas. Os mapas da cultura e de forrageira foram obtidos por krigagem, e os mapas das propriedades do solo pelo inverso do quadrado da distância. Os resultados deste estudo mostraram que o NDVI associou-se ao de CE e propriedades do solo, indicando variações do sistema de integração lavoura-pecuária. A densidade de amostragem adotada foi insuficiente para uma adequada caracterização da variabilidade espacial de parâmetros do solo.

PALAVRAS-CHAVE: condutividade elétrica, Landsat 5, NDVI.

SPATIAL VARIABILITY OF PLANT AND SOIL PROPERTIES IN SORGHUM AND BRAQUIARIA-GRASS CULTIVATED AREA IN THE CROP-LIVESTOCK INTEGRATED SYSTEM

ABSTRACT: The objective of this work was to map and evaluate the spatial variability of the sorghum and pasture, soil chemical and physical properties in crop-livestock integrated system. The study was conducted in an area of 12 ha of a Typic Paleudult in Sao Carlos, SP, Brazil. The summer crop sorghum was sowed together with the forage crop *Brachiaria brizantha* in the system of crop-livestock rotation. A regular hexagon sampling grid design with 6 sub-samples was adopted for each hectare. The values of soil P, K, Ca, Mg, and CEC, basis saturation, clay and sand were analyzed by traditional soil testing in georeferenced samples collected at 0–0.2 m depth. Soil electrical conductivity (EC) was measured with a contact sensor. The site was evaluated at the end of the corn season (February) and for the forage (October) by imageries from the Landsat 5 using remote sensing techniques and a geographic information system. Normalized difference vegetation index (NDVI) was used to interpret imageries. Spatial continuity of crop and soil properties was modeled using semivariograms. Maps contours of crop and forage were obtained by kriging, and maps of soil

properties by using inverse distance weighting interpolation. Results showed that the NDVI was associated with ECa and soil parameters indicating crop and pasture variations on crop-livestock integrated system. Sampling density adopted was insufficient for an adequate characterization of the spatial variability of soil parameters.

KEYWORDS: electrical conductivity, Landsat 5, NDVI.

INTRODUÇÃO: A rotação de culturas anuais com pastagens, também conhecida como sistema de integração lavoura-pecuária (SILP), tem sido utilizada como uma das alternativas para a sustentabilidade, econômica e ecológica, dos sistemas de produção agropecuária. De acordo com Kluthcouski & Aidar (2003), a utilização do consórcio de culturas anuais com forrageiras pode ser preconizada na formação e na reforma de pastagens, na produção de forragem para alimentação animal na entressafra e também no confinamento de bovinos, bem como na obtenção de cobertura morta para plantio direto de culturas. A agricultura de precisão auxilia os produtores na tomada de decisões gerenciais para os diferentes sistemas de cultivo (Koch & Khosla, 2003). Mas, a AP requer métodos 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 da disponibilidade de água, duas características do solo que afetam a produtividade, e pode auxiliar na interpretação das variações de rendimento das culturas (Kitchen et al., 1999). Os índices de vegetação obtidos por satélite têm sido amplamente utilizados para estimar a biomassa de culturas e pastagens, uma vez que o sensoriamento remoto fornece padrões temporais e espaciais das mudanças nos ecossistemas (Moges et al., 2004; Numata et al. 2007). O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), com base refletâncias de vermelho ou verde são comumente usados para avaliar a sanidade, biomassa e teor de nutrientes das plantas. O objetivo deste trabalho foi mapear e avaliar a variabilidade espacial do sorgo e da pastagem, das propriedades químicas e físicas do solo em sistema de lavoura-pecuária.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (22°01' S e 47°54' W; 856 m acima do nível do mar), em área de solo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média/argilosa. As amostragens do solo, realizadas em outubro de 2008, precederam a semeadura do sorgo e da *Brachiaria brizantha* cv Marandú. Esta foi realizada em novembro de 2008 e de forma a resultar em uma população de 5 plantas por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,8 m. A semeadura da forrageira (8 kg ha⁻¹ de sementes comerciais) ocorreu concomitantemente à do sorgo, entre linhas, porém em operação distinta e sem adubação de plantio. A amostragem de solo georreferenciada foi feita utilizando-se uma grade de amostragem hexagonal com 6 subamostras para compor uma amostra composta. A coleta de amostras de solo foi realizada com um quadriciclo equipado com GPS e trado de rosca de aço inoxidável, com regulagem de profundidade e de acionamento elétricos, que possibilitou a delimitação dos pontos com suas respectivas coordenadas geográficas. As amostras de solo foram 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. A condutividade elétrica do solo foi medida com o equipamento Veris modelo 3100 da Veris Technologies, Salina, KS (Lund et al., 1999). Duas imagens do Landsat 5 (TM5) foram utilizadas neste estudo: 2009/04/22 e 2009/10/31, respectivamente, correspondente ao final do ciclo do sorgo (fevereiro) e o início do ciclo da forragem (outubro). O NDVI foi calculado de acordo com Choudhury (1987), equação (1):

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}}} \quad (1)$$

Em que, ρ_{NIR} e ρ_{R} são as refletâncias das bandas do vermelho e infravermelho próximo (nm). Os modelos de semivariograma foram ajustados utilizando GEOEST (Vieira et al., 2002). O mapa de NDVI e CE foram estimados por krigagem e o mapa das propriedades do solo pelo inverso do quadrado da distância. Os mapas de contorno das estimativas foram feitos com Arc Gis 9 (Arc Map 9.2 - ESRI, Inc., Redlands, CA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os parâmetros estatísticos de todas as variáveis analisadas são apresentados na Tabela 1. Estes parâmetros estatísticos como média, variância, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, assimetria e curtose foram obtidos a fim de verificar a existência de uma tendência central e dispersão dos dados. De acordo com Vieira et al. (2000) um conjunto de dados que se aproxima da distribuição normal, os valores dos coeficientes de assimetria e curtose se aproximam de zero. Estes valores juntamente com os outros parâmetros estatísticos clássicos são úteis para avaliar a magnitude da dispersão dos dados em torno de um valor de tendência central. Para a maioria das variáveis estudadas foi distribuído normalmente, como indicado pelo próximo a zero os coeficientes de assimetria e curtose, com exceção da CE e NDVI.

TABELA 1. Estatísticas descritivas para pH, M.O., P, K, CTC, V%, areia, argila, CE, e NDVI de um sistema de integração lavoura-pecuária.

	pH	MO	P	K	CTC	V	Areia	Argila	CE	NDVI	NDVI
	água	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³		%	g kg ⁻¹		mS m ⁻¹	(sorgo)	(braquiaria)
Média	6,33	43,60	36,35	1,42	65,37	66,68	653,35	284,30	2,94	0,75	0,67
Desvio padrão	0,18	4,87	20,52	0,34	9,17	6,66	19,23	38,64	1,43	0,03	0,04
Mínimo	6,00	35,00	9,00	0,80	52,30	54,80	627,00	215,00	0,40	0,56	0,60
Máximo	6,70	55,00	87,00	2,20	82,50	79,40	691,00	351,00	11,10	0,80	0,76
n	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16018,00	136,00	132,00
cv	2,76	11,17	56,45	23,86	14,02	10,00	2,94	13,59	48,76	4,34	6,09
Curtose	-0,11535	0,193459	0,608366	0,696197	-0,84426	-0,30559	-1,06781	-0,73989	1,886	1,799	1,790
Assimetria	0,142678	0,498035	0,933684	0,485565	0,41062	0,121486	0,152338	0,055745	-0,028	0,001	0,050

Os semivariogramas experimentais para todas as variáveis foram computadas e todos os modelos ajustados foram delimitados (Tabela 2). O modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos variogramas experimentais de NDVI (duas épocas) e do CE. Os parâmetros do solo (pH, MO, P, K, CTC, V%, argila e areia) apresentaram efeito pepita puro e fraca dependência espacial. Provavelmente devido à baixa densidade da rede é aprovado com 20 amostras.

TABELA 2. Parâmetros de ajuste do semivariograma para CE e NDVI de um sistema de integração lavoura-pecuária.

Variável	C0 (Efeito pepita)	C1 (variância estrutural)	a (alcance)	Modelo de Ajuste
NDVI 01/02/2009	0.000616	0.000386	161.72	Esférico
NDVI 31/10/2009	0.00017	0.0018	230	Esférico
CE	0.9	0.448	74.39	Esférico

Na Figura 1 é apresentada a espacialização dos parâmetros de fertilidade do solo da camada de 0-0,2 m de profundidade obtidos pelo inverso do quadrado da distância. Após o ajuste dos semivariogramas das variáveis CE e NDVI, os parâmetros foram utilizados no processo de krigagem gerando mapas interpolados (Figuras 2). O NDVI depende do contraste espectral entre as bandas vermelho e infravermelho próximo e é sensível ao conteúdo de clorofila das folhas e índice de área foliar da vegetação (Moges et al., 2004; Numata et al., 2007), então estes resultados sugerem que os aumentos do NDVI indicam maior produção de parte aérea. Houve uma tendência do mapa de CE acompanhar os de NDVI.

CONCLUSÕES: Os resultados deste estudo mostraram que o NDVI associou-se ao de CE e propriedades do solo, indicando variações do sistema de integração lavoura-pecuária. A densidade de amostragem adotada foi insuficiente para uma adequada caracterização da variabilidade espacial de parâmetros do solo.

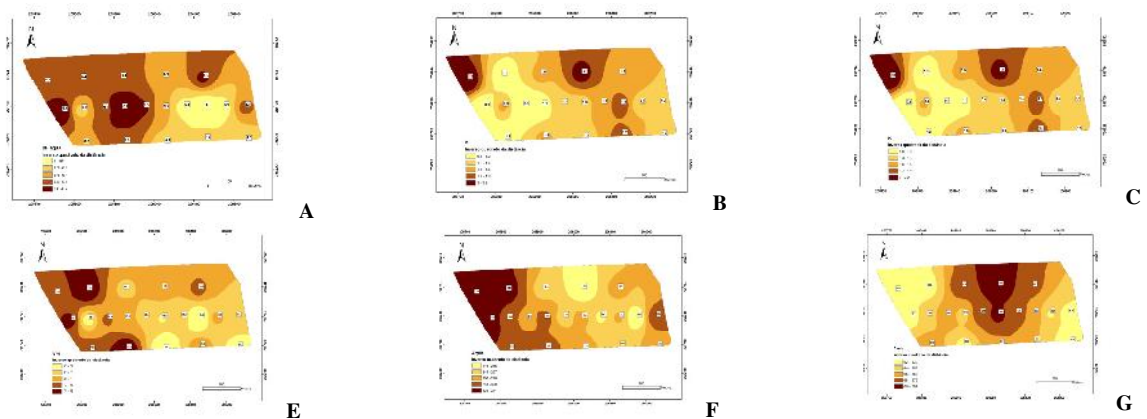


FIGURA 1. Mapas espacializados dos parâmetros de fertilidade do solo da camada de 0-0,2 m de profundidade de um sistema de integração lavoura-pecuária.

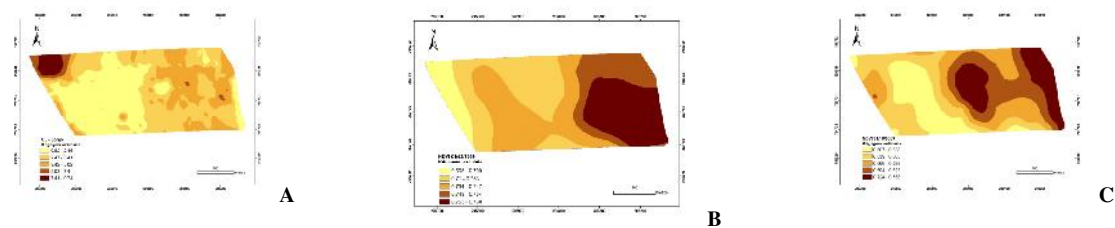


FIGURA 2. Mapas krigados da condutividade elétrica aparente do solo -A (CE_a - $mS\ m^{-1}$) e NDVI do sorgo (A) e pastagem (B) de um sistema de integração lavoura-pecuária.

REFERÊNCIAS

- CHOUHURY, B.J. Relationships between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis. *Remote Sensing of Environment*, v.22, n.2, p.209–233, 1987.
- 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.
- KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). *Integração lavoura-pecuária*. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 183-225.
- KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems. *Journal of Crop Production*, v.8, p.361–381, 2003.
- LUND, E.D.; CHRISTY, C.D.; DRUMMOND, P.E. Practical applications of soil electrical conductivity mapping. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., Odense: Elsevier, 1999. *Proceedings*. Odense: s. ed., p. 771-780, 1999.
- 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.
- MOGES, S.M.; RAUN, W.R.; MULLEN, R.W.; FREEMAN, K.W.; JOHNSON, G.V.; SOLIE, J.B. Evaluation of green, red and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake and final grain yield. *Journal of Plant Nutrition*, v.27, p.1431-1441, 2004.
- NUMATA, I.; ROBERTS, D.A.; CHADWICK, O.A.; SCHIMEL, J.; SAMPAIO, F.R.; LEONIDAS, F.C.; SOARES, J.V. Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v.109, p.314–327, 2007.
- VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V. V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, v.2, 2002. p. 1-45.