

## VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA

DANILO GOMES DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, ELTON FIALHO DOS REIS<sup>2</sup>, JOÃO CARLOS MEDEIROS<sup>3</sup>,  
RODNEY FERREIRA COUTO<sup>4</sup>, VANDOR HOLTZ<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis – GO, Fone: (0xx62) 81945849, danilogomes.engenharia@gmail.com;

<sup>2</sup>Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor. Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis – GO;

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor. Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas – PI;

<sup>4</sup>Engenheiro Agrícola, Prof. Mestre. Universidade Estadual do Mato Grosso, Campus Nova Xavantina – MT;

<sup>5</sup>Engenheiro Agrícola, Prof. Mestre. Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis – GO.

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

**RESUMO:** O sistemas de Integração lavoura-pecuária (iLP) são considerados produtivos, pois incentivam a diversificação, a rotação das atividades agrícolas e pecuárias dentro da propriedade rural, de forma planejada, proporcionando benefícios para ambas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial e correlação de atributos físicos do solo conduzida no sistema de iLP. Para isso foi construído um grid amostral regular de 25m x 25m, totalizando 50 pontos em uma área de 7 há, com dois tipos de cobertura. Os pontos foram georeferenciados e em seguida realizadas as coletas de amostras indeformadas em duas profundidades: P1 (0,00 – 0,10 m) e P2 (0,20 – 0,30 m). Onde foram mensurados os atributos: umidade do solo, densidade do solo, e resistência à penetração do solo. Para a análise estatística descritiva, correlações espaciais e a construção dos mapas de krigagem foram empregados o software GS+ versão 7.0, já as correlações lineares foram feitas no software R versão 3.1.1. Os resultados mostraram que a correlação linear entre os atributos físicos avaliados foi classificada como fraca. A Correlação espacial e os mapas de krigagem dos atributos apresentaram um índice de dependência espacial classificado como fracas, explicadas pelos modelos Gaussiano, exponencial e esférico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão, geoestatística, dependência espacial.

### SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL IN LIVESTOCK FARMING SYSTEM INTEGRATION

**ABSTRACT:** The crop-livestock integration systems (iLP) are considered productive because they encourage diversification rotation of agricultural activities and livestock within the farm, in a planned manner, providing benefits to both. The objective of this study was to evaluate the spatial variability and correlation of physical attributes of the soil conducted in the iLP system. For it was built a regular sampling grid of 25m x 25m, totaling 50 points in an area of 7 hectare, with two types of coverage. The points were georeferenced and then held the collections of undisturbed samples at two depths: P1 (0.00 to 0.10 m) and P2 (0.20 to 0.30 m). Where the attributes were measured: soil moisture, soil bulk density, and soil resistance to penetration. For descriptive statistics, spatial correlations and the construction of kriging maps were used GS + version 7.0 software, since the linear correlations were made in the R software version 3.1.1. The results showed that the linear correlation between the physical attributes evaluated were classified as weak. Spatial Correlation and kriging maps of attributes presented a spatial dependence index classified as weak, explained by Gaussian models, exponential and spherical.

**KEYWORDS:** Precision Agriculture, geostatistics, spatial dependence.

**INTRODUÇÃO:** A utilização do sistema de produção com integração lavoura-pecuária (iLP), caracteriza-se pela alternância entre a produção de grãos e pastejo de animais, tem como foco a mudança no sistema de utilização da terra (KUNZ et al., 2013). O emprego de técnicas de agricultura de precisão, como sua utilização no manejo localizado do solo, vem sendo amplamente utilizado, melhorando o gerenciamento das atividades agrícolas (BOTTEGA et al., 2013).

Diante do exposto, o estudo da variabilidade espacial das características físicas do solo se faz necessário para definir as melhores práticas de manejo do solo em áreas com utilização do sistema de iLP. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos em um solo conduzido com duas coberturas em sistema de integração lavoura-pecuária.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi desenvolvido na fazenda experimental da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás-GO, localizada nas coordenadas geodésicas latitude 16° 29' S e longitude 49° 17' W. O solo é classificado como um Latossolo Vermelho Acriférico típico de textura argilosa, com 542 g kg<sup>-1</sup> de argila, 319 g kg<sup>-1</sup> de areia e 139 g kg<sup>-1</sup> de silte.

Nas áreas pastejadas, utilizou-se o sistema de pastejo rotacionado, onde os animais entravam quando a pastagem atingia uma altura média de 0,70 m e eram retirados quando a pastagem atingia altura de 0,30 m, com lotação média de 7 unidades animal por hectare. Foi construído um grid amostral regular de 25m x 25m, totalizando 50 pontos na área, sendo georeferenciados e em seguida realizados as coletas de amostras indeformadas em duas profundidades P1 (0,00 – 0,10 m) e P2 (0,20 – 0,30 m), onde foram determinados a umidade do solo, densidade do solo, e nos mesmos pontos a resistência a penetração do solo. Para determinação do teor de água no solo, foi retirada 3 amostras em torno de cada ponto nas duas profundidade, e utilizando o método padrão da estufa a 105°C, por 24h, determinou a porcentagem do teor de água. A densidade do solo (Ds) foi determinada a partir de amostras indeformadas coletadas utilizando-se um amostrador tipo cilindro com volume interno de 12,83 mm. O valor da densidade do solo é estabelecido pela relação entre a massa de solo seco em estufa e o seu volume (EMBRAPA, 1997). A resistência à penetração do solo foi determinada nas profundidades P1 (0,00 – 0,10 m) e P2 (0,20 – 0,30 m), empregando-se um penetrógrafo eletrônico de velocidade constante Falker PLG 5300, seguindo-se as normas da ASABE S 313 (ASABE, 2006). Foi realizado uma análise descritivas dos dados e correlação de Person , onde verificou a normalidade dos dados. Para o cálculo dos semivariogramas e seus respectivos ajustes foram utilizados o software geoestatístico GS+. Os modelos serão classificados de acordo com do Grau de dependência espacial de acordo com a seguinte classificação de DALCHIAVON e CARVALHO, 2012.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os resultados referentes à estatística descritiva (Tabela 1) indicaram normalidade dos dados para todas as variáveis estudadas. Apesar da ocorrência de algumas distribuições assimétricas e simétricas, os valores da média e mediana de todos os atributos estudados apresentam valores semelhantes, os dados apresentam ou aproximam da distribuição normal. Conforme Cruz et al. (2012), os coeficientes de variação (CV) indicaram baixa variação dos dados (CV < 10%), para a densidade na primeira profundidade. A resistência a penetração do solo, para a segunda profundidade, apresentou CV médio, e o restantes dos atributos mensurados apresentaram alto coeficiente de variação.

TABELA1 – Análise estatística descritiva para os atributos físicos do solo: densidade do solo, umidade do solo, resistência à penetração do solo (RP), nas profundidades de P1 e P2.

Estatísticas descritivas	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		Umidade (g/g)		RP (Mpa)	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Média	1.45	1.40	0.21	0.20	2.21	2.54
Mediana	1.44	1.41	0.24	0.266	2.17	2.53
Desvio padrão	0.09	0.16	0.061	0.048	0.458	0.387
Mínimo	1.29	0.41	0.098	0.10	1.19	1.56
Máximo	1.66	1.59	0.299	0.34	3.298	3.42
Curtose	-0.76	26.64	-1.23	0.07	-0.30	0.61
Assimetria	0.35	-4.45	-0.48	-0.28	0.033	0.12
CV (%)	6.21	11.42	29.04	24.00	20.72	15.29

\*CV- Coeficiente de Variação; P1-Profundidade (0,00-0,10 m); P2-Profundidade (0,20-0,30 m).

Os valores médios da densidade do solo apresentaram-se entre 1,45 kg dm<sup>-3</sup> (P1) e 1,40 kg dm<sup>-3</sup> (P2), diminuindo conforme a profundidade, não seguindo a mesma tendência da resistência à penetração que obteve valores médios entre 2,21MPa (P1) e 2,54 MPa (P2). O resultado desse atributo estão próximos os encontrados por Montanari et al.(2011) com um Latossolo Vermelho Distrófico típico muito argiloso. Stefanoski et al. (2013) em um sistema de integração lavoura pecuária observou que a presença do gado ouve um aumento da densidade do solo na camada superior do solo. Corroborando com os dados deste trabalho, onde foi observado este aumento na camada de (0-0.10) m. As correlações lineares de Pearson entre a resistência a penetração e a umidade do solo foram

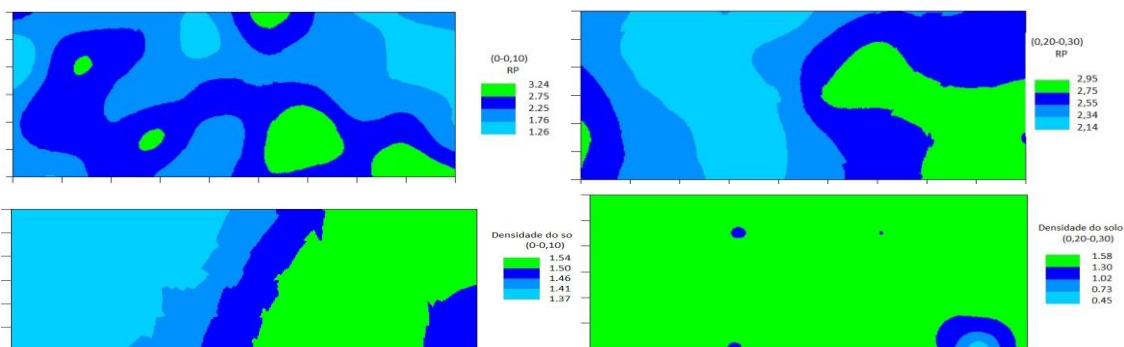
baixas pelo fato do número de observações. Com isso, os modelos matemáticos com pares significativos da RP em função dos atributos do solo foram formados pela  $RP = f(U)$  e  $Dens. = f(RP)$  nas duas profundidades. O coeficiente de correlação para o par RP P1 x U P1 foi de -0,17 e RP P2 x U P2 foi de -0,28\*, já o par Den.P1 X RP P1 foi de 0,19. Dessa forma a equação variou de forma inversa para a umidade e direta para a resistência a penetração do solo. Assim, para o primeiro par que apresentou correlação negativa, pode-se inferir que com o aumento da umidade, ocorrerá uma diminuição da resistência à penetração do solo. Já para o segundo par que apresentou correlação positiva pode-se inferir que com o aumento da Densidade ocorrerá o mesmo com a resistência a penetração.

Os atributos analisados em sua maioria verificou-se uma estrutura de dependência espacial pelos semivariogramas simples ajustados ao modelo Gaussiano e exponencial, onde os ajustados ao modelo gaussiano foram Den P1, U P1, U P2 e RP P1, e ao modelo exponencial foram Den P2 e RP P2 (Tabela 2).

TABELA 2 – Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico de Santo Antônio de Goiás, GO, safra 2011/12.

Parâmetros	Geoestatística							
	Prof.	Modelo	C <sub>o</sub>	C <sub>o</sub> +C1	A	R <sup>2</sup>	RSS	IDE
$\gamma(h)$ simples								
Densidade	P 1	Gaussiano	0.0048	0.019	159.30	0.95	$1.10^{-6}$	25%
	P 2	Exponencial	0.0007	0.0255	17.00	0.18	$3.10^{-5}$	2,74%
Umidade	P 1	Gaussiano	0.0011	0.021	270.90	0.94	$5.10^{-7}$	5,24%
	P 2	Gaussiano	0.0013	0.008	239.00	0.97	$5.10^{-8}$	16%
RP	P 1	Gaussiano	0.012	0.207	25.50	0.56	$1.10^{-3}$	5,8%
	P 2	Exponencial	0.083	0.202	78.60	0.87	$3.10^{-4}$	41%
$\gamma(h)$ cruzado								
RP=f(U)	P1	Gaussiano	-0.0001	-0.0064	32.20	0.72	$1.10^{-7}$	0,15%
	P2	Gaussiano	-0.00001	-0.008	76.60	0.75	$2.10^{-5}$	0,12%
DS.=f(RP)	P1	Esférico	0.0002	0.0082	57.30	0.03	$1.10^{-4}$	2,4%
	P2	Exponencial	-0.0068	-0.0795	510.90	0.46	$2.10^{-4}$	8,5%
Densidade	P1=f(P2)	Exponencial	0.0001	0.0049	17.90	0.75	$1.10^{-7}$	2,04%
Umidade	P1=f(P2)	Gaussiano	0.0003	0.0046	129.80	0.94	$6.10^{-7}$	6,5%
RP	P1=f(P2)	EPP	-	-	-	-	-	100%

DS, U, RP, DP, P1 e P2, são respectivamente as densidades do solo, umidade e resistência à penetração, coletados nas camadas do solo; EPP= efeito pepita puro; RSS = soma dos quadrados dos resíduos; IDE = Índice de dependência espacial.

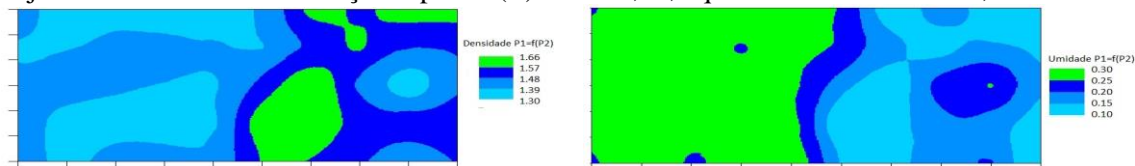


**Figura 1.** Componentes geoestatísticos dos atributos físicos do solo em cada profundidades de coleta do solo.

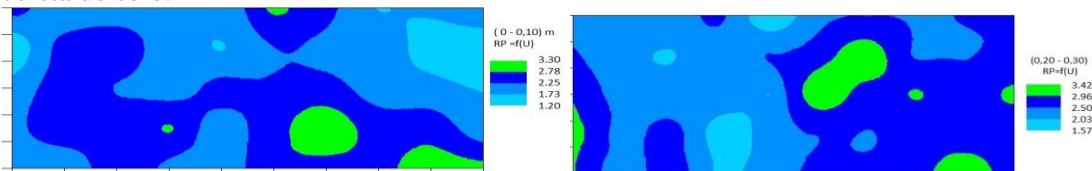
No âmbito da correlação entre atributos do solo x solo, os modelos matemáticos resultaram nas seguintes co-krigagens:  $RP P1=f(U P1)$ ,  $RP P2=f(U P2)$ ,  $Den P1.=f(RP P1)$ ,  $Den P2.=f(RP P2)$  e profundidade para os três atributos  $P1=f(P2)$ , cujos coeficientes de determinação espacial ( $r^2$ ) variaram entre 0,03 e 0,94, equivalentes à variação do índice dependência espacial (IDE) entre 0,15 e 8,5 % sendo classificado seguindo a classificação proposta por DALCHIAVON e CARVALHO (2012) como muito baixo e valores de IDE igual a 100% classificado como Efeito pepita puro.(Figura 2 e 3).

Os melhores parâmetros resultantes das cokrigagem foram da  $P1=f(P2)$  quando fez a análise da umidade e densidade em relação às duas profundidades onde os coeficientes de determinação

espacial foram de 0,94 e 0,75, respectivamente, com alcances de 129,80 e 17,90 m. Em trabalho semelhante Montanari et al. (2010) constataram que apenas a umidade (U) resultou em cokrigagem, cujo coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ) foi de 0,63, equivalente ao IDE de 61,6%.



**Figura 2.** Componentes geoestatísticos dos atributos físicos do solo em função das profundidades de coleta do solo.



**Figura 3.** Componentes geoestatísticos da resistência à penetração em função da umidade do solo.

## CONCLUSÃO

O coeficiente de correlação para os pares RP P1 x U P1, RP P2 x U P2 e Den.P1 X RP P1 foram classificados como baixos. Os atributos analisados em sua maioria verificou-se uma estrutura de dependência espacial pelos semivariogramas simples ajustados ao modelo Gaussiano e exponencial, onde os ajustados ao modelo gaussiano foram Den P1, U P1, U P2 e RP P1, e ao modelo exponencial foram Den P2 e RP P2. No âmbito da correlação espacial entre atributos do solo x solo, os modelos matemáticos resultaram na classificação de índice de dependência espacial como muito baixo e como Efeito pepita puro.

## REFERÊNCIAS:

- ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers. **Soil cone penetrometer**. ASABE Standard S313.2, St. Joseph, p.903-904, 2006.
- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.44, n.1, p.1- 9, 2013.
- CRUZ, E. A.; MOREIRA, G. R.; PAULA, M. O.; OLIVEIRA, A. C. M. Coeficiente de variação como medida de precisão em experimentos com tomate em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8, n.14, p.220-233, 2012.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 541-552, 2012.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro – RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. **Revista Atual**, Rio de Janeiro, 212f, 1997.
- KUNZ, M.; GONÇALVES, A. D. M. A.; REICHERT, J. M.; GUIMARÃES, R. M. I.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em latossolo argiloso com semeadura direta e escarificada. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, Viçosa, v.37, p.1699-1708, 2013.
- MONTANARI, R.; LIMA, R. C.; BONINI, A. S.; MARQUES, L. S.; MINGUINI, R.; CARVALHO, M. P.; FERREIRO, J.; COSTA, N. R. Variabilidade dos atributos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto no cerrado brasileiro e produtividade da soja. **Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe**, A Coruña, v.36, p.61-78, 2011.
- MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.6, p.1811-1822, 2010.
- STEFANOSKI, D. C.; Santos, G. G.; Marchão, R. L.; Petter, F. A.; Pacheco, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.