

Variabilidade e correlação espacial entre atributos e a umidade gravimétrica de um Latossolo Vermelho Amarelo**

José Francirlei de Oliveira^{1*}, Sandro Manuel Carmelino Hurtado^{2*},
Stanislas Mayi III¹, Robélio Leandro Marchão^{3*},
Edemar Joaquim Corazza^{4*}, Maria de Fátima Guimarães^{5*}

¹ Pós-graduando, Universidade Estadual de Londrina – UEL, Pr 445, Km 380, Londrina, PR, Brasil

² Bolsista CNPq, Embrapa Cerrados, CP 08223, CEP 73310-970, Planaltina, DF, Brasil

³ Pesquisador, Embrapa Cerrados, CP 08223, CEP 73310-970, Planaltina, DF, Brasil

⁴ Pesquisador, Embrapa Informação Tecnológica, CP 040315, CEP 70770-901, Brasília, DF, Brasil

⁵ Professor Associado C, Universidade Estadual de Londrina – UEL, CP 6001, CEP 86051-990, Londrina, PR, Brasil

*e-mail: jfoliveira79@yahoo.com.br; sandroelbat@gmail.com; robelio.leandro@cpac.embrapa.br; edemar@sct.embrapa.br; mfatima@uel.br

**Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

Resumo: O conhecimento das relações entre os atributos da paisagem, físico-hídricos e carbono orgânico de Latossolos deve ser aprimorado. Os objetivos deste trabalho foram: i) avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos da paisagem, do carbono orgânico e da umidade; e, ii) verificar a ocorrência de correlação espacial entre estes atributos e a umidade gravimétrica. Em uma área de Latossolo Vermelho Amarelo, foram coletadas 97 amostras da camada 0,80-1,00 m, dispostas em malha regular de 175 m. Foram determinados oito atributos do solo, dois da paisagem e a umidade gravimétrica $\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$, $\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$. A variabilidade espacial foi analisada por meio de ajustes dos semivariogramas simples, e as correlações espaciais pelos semivariogramas cruzados. O teor de argila, areia fina e declividade apresentou correlação espacial e foi o atributo chave no arranjo espacial da umidade abaixo de $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$. O carbono orgânico também apresentou correlação espacial e foi o atributo chave para umidades acima dessa umidade. A variabilidade espacial dos teores de argila, densidade do solo e carbono orgânico, associada à declividade do terreno, pode ser eficaz na determinação de áreas homogêneas e auxiliar no manejo da água em sistemas agrícolas.

Palavras-chave: argila, carbono orgânico, atributos físico-hídricos, semivariograma.

Variability and spatial correlation between attributes and gravimetric humidity of a Yellow-Red Latosol

Abstract: The knowledge of the relations between landscape attributes, hydro-physical attributes, and organic carbon of Latosols (Oxisols) must be improved. The objectives of this work were to: i) evaluate the spatial variability of landscape physical attributes, organic carbon and soil moisture content; ii) verify the occurrence of spatial correlation between these attributes and gravimetric water content. In an area of Yellow-Red Latosol, 97 samples were collected at 0.80-1.00 m of depth and arranged on a regular 175-m grid. Eight soil attributes, two landscape attributes, and the gravimetric water content were determined, being $\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$, $\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ and $\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$. The spatial variability was analyzed by adjustments of the simple semivariograms, and the spatial correlations by the crossed semivariograms. Clay fraction, fine sand fraction, and declivity showed spatial correlation and were the key attributes in the spatial variability of the soil moisture content below $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$. Organic carbon also showed spatial correlation and was the key attribute for soil moisture above this tension. The spatial variability of clay fraction, bulk density and organic carbon, associated with the declivity of the land, can be efficient in determining homogeneous zones and to assist in the efficient water use in agricultural systems.

Keywords: Clay, organic carbon, hydro-physical attributes, semivariogram.

1. Introdução

Considerando que o aumento dos eventos climáticos desfavoráveis terá impacto na escassez de água e produção de alimentos (DABROWSKI et al., 2009), a compreensão da variabilidade espacial da capacidade de retenção de água no solo será fundamental para otimização do seu uso.

Nos primeiros estudos sobre o funcionamento físico-hídrico dos Latossolos, Ranzini et al. (1963) relataram o papel do teor de argila na capacidade de retenção de água e Freire e Scardua (1978) a importância do carbono orgânico. Nesse sentido, a teoria das variáveis regionalizadas, por meio da geoestatística, se mostra como um complemento às metodologias tradicionais e pode apresentar respostas ao funcionamento hídrico que os métodos clássicos não responderiam (REICHARDT; VIEIRA; LIBARDI, 1986).

Assim, os objetivos desse trabalho foram: i) avaliar a variabilidade espacial dos atributos da paisagem, atributos físicos, carbono orgânico e da umidade; e, ii) verificar a ocorrência de correlação espacial entre estes atributos e a umidade gravimétrica.

2. Material e métodos

O estudo foi conduzido na Fazenda Lambary, município de Planaltina – GO, em uma área de 310 ha (15°, 32' S de Latitude e 47°, 67' W de Longitude) com altitude média de 1000 m. O clima local é caracterizado, segundo Koopen, como tropical úmido (Aw) e precipitação média anual de 1500 mm. O solo predominante é o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico caulínítico de textura argilosa (SANTOS et al., 1999).

Foram coletadas, na camada 0,80-1,00 m, amostras indeformadas e deformadas em malha regular de 175 m em 97 pontos. As amostras indeformadas foram coletadas utilizando cilindros de 94,22 cm³. As umidades gravimétricas $\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$, $\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$ foram determinadas pelo método da centrífuga (FREITAS JUNIOR; SILVA, 1984), com 30 min de rotação.

Para determinação da granulometria foi utilizado o método da pipeta com agitação lenta por 16 h e dispersão química com hidróxido de sódio (NaOH,

1 mol.L⁻¹). As densidades de partículas e do solo e o teor de carbono foram determinados conforme Claessen (1997).

A cor do solo foi obtida em amostras de solo seco com auxílio da carta de cores de Munsell. A partir da avaliação do matiz, croma e valor, foi calculado o índice de vermelho (IV) dos 97 pontos pela equação $I = M + (C/V)$, em que: M é o parâmetro referente à matiz (M igual a 10 para 10 R, 7,5 para 2,5 YR, 5 para 5 YR, 2,5 para 7,5 YR e zero para 10 YR), C é o croma e V o valor da notação de Munsell.

Os dados de altitude foram coletados com auxílio de DGPS (*Differential Global Positioning System*) com densidade de avaliação de 225.000 pontos distribuídos em toda área. A declividade foi obtida com auxílio do comando Calculus do programa Surfer 9.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

Os dados não apresentaram valores discrepantes que prejudicassem a análise da variabilidade espacial dos atributos estudados, que foi analisada por meio do cálculo da semivariância $Y(h)$ (VIEIRA, 2000). A classificação do grau da dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e a contribuição $[C0/(C0 + C1)]$, onde C0 é o efeito pepita e C1 a contribuição, e é considerado forte quando a razão for menor ou igual 25%, moderado quando $25 < GDE \leq 75\%$ e fraco quando maior que 75% (CAMPARDELLA et al., 1994).

Para averiguar a correlação espacial entre os atributos do solo que apresentaram dependência espacial e a umidade gravimétrica em equilíbrio com potenciais estudados, foram construídos os semivariogramas cruzados (VIEIRA, 2000). Foram utilizados para discussão aqueles que apresentaram correlação espacial maior que 0,5.

3. Resultados e discussão

A partir dos parâmetros geoestatísticos observa-se que, com exceção da densidade do solo e de partículas e a umidade do solo saturado, os atributos do solo e paisagem apresentaram variabilidade espacial com razão de dependência espacial variando de moderada a forte (Tabela 1). Para a umidade do solo esse resultado corrobora

com Grego e Vieira (2005) que também observaram dependência espacial das umidades gravimétricas $\theta_{-0,03 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,05 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,10 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,30 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,50 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,80 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-1,50 \text{ MPa}}$ em um horizonte superficial de Latossolo Vermelho.

O efeito pepita diminui nos potenciais menores que -0,006 MPa, pelo menor efeito da estrutura e maior dependência da porosidade da matriz do solo. A análise dos semivariogramas cruzados foi aplicada entre o teor de argila, silte, areia fina e grossa, carbono orgânico, índice vermelho, altitude, declividade e as umidades gravimétricas do solo em equilíbrio com os potenciais -0,001 MPa, -0,003 MPa, -0,006 MPa, -0,100 MPa, -1,000 MPa e -1,500 MPa. Na Tabela 2 estão listados os semivariogramas cruzados que apresentaram correlação maior que 0,5 entre os atributos do solo e a umidade em equilíbrio com os respectivos potenciais de água.

O método de análise com base na teoria das variáveis regionalizadas permitiu observar que o efeito positivo da argila e negativo da areia fina no arranjo espacial da retenção de água ocorre principalmente nas umidades abaixo de $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$ (Tabela 2), corroborando com os

resultados observados por Freire e Scardua (1978), que observaram o aumento da participação da argila na retenção de água em umidades menores que $\theta_{-0,800 \text{ MPa}}$.

O arranjo espacial da umidade do solo acima de $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$ foi influenciado pelo carbono orgânico, corroborando com Freire e Scardua (1978). Dentre outros fatores, essa relação pode ser explicada pelo efeito do carbono na formação e estabilidade dos microagregados e, conseqüente, caracterização da estrutura do solo (VOLLAND-TUDURI et al., 2004).

Os locais de maior umidade do solo influenciados pela declividade ocorrem devido ao ângulo de inclinação e posição na paisagem, ou seja, aqueles com menor inclinação do terreno com faces para o sul ou oeste permitem maior infiltração de água e menor efeito da radiação solar e conseqüente evapotranspiração (QIU et al., 2001).

Com esses resultados observa-se que o conjunto de atributos do solo constituídos pela granulometria, carbono orgânico e declividade pode ser eficaz na determinação de zonas homogêneas e auxiliar o manejo da água em sistemas agrícolas por permitir uma análise espacial do equilíbrio entre o teor de

Tabela 1. Parâmetros dos semivariogramas dos atributos físico-hídricos, carbono orgânico (0,80-1,00 m) e atributos da paisagem.

Atributos do solo	Análise geoestatística						
	Modelo	C0*	C1**	a***	r ²	RMSE****	GDE(%)*****
Argila (g.kg ⁻¹)	Gaussiano	3385,61	3923,99	509,04	0,72	15,18	46
Silte (g.kg ⁻¹)	Exponencial	1476,03	2999,72	883,51	0,69	8,16	33
Areia fina (g.kg ⁻¹)	Exponencial	3,30	7679,06	783,89	0,91	8,13	0,04
Areia grossa (g.kg ⁻¹)	Exponencial	166,12	314,10	929,10	0,73	0,72	35
Densidade do solo (g.dm ⁻³)	Efeito pepita puro						
Densidade de partículas (g.dm ⁻³)	Efeito pepita puro						
Carbono orgânico (dag.dm ⁻³)	Esférico	0,00	0,05	417,57	0,81	0,0001	0,4
Índice vermelho	Gaussiano	1,65	1,90	620,65	0,67	0,01	46
Altitude (m)	Esférico	0,15	10,26	1129,24	0,98	0,01	1
Declividade (%)	Exponencial	0,21	0,35	650,07	0,71	0,0012	38
θ_s (g.g ⁻¹)**	Efeito pepita puro						
$\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,001494	0,004219	850,10	0,69	0,000014	26
$\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,001725	0,001843	840,06	0,51	0,000010	48
$\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,000725	0,001521	800,00	0,65	0,000006	32
$\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,000021	0,001822	800,72	0,79	0,000004	1
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,000218	0,000320	500,00	0,59	0,000001	41
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$ (g.g ⁻¹)	Esférico	0,000248	0,000238	600,00	0,57	0,000001	51

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***a = alcance; ****RMSE = raiz quadrada do erro médio; *****GDE = grau de dependência espacial.

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas cruzados entre a umidade ($\theta_{-0,001 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,003 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-0,006 \text{ MPa}}$, $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$, $\theta_{-1,000 \text{ MPa}}$ e $\theta_{-1,500 \text{ MPa}}$) e os atributos do solo (0,80-1,00 m) que apresentaram correlação espacial maior que 0,5.

Correlações espaciais	Parâmetros geoestatísticos do semivariograma cruzado						
	Modelo	C0*	C1**	a***	r ²	RMSE****	GDE*****
$\theta_{-0,100 \text{ MPa}} = f(\text{argila})$	Esférico	0,16	1,29	674,7	0,68	0,005	11,03
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}} = f(\text{argila})$	Esférico	0,13	1,21	695,94	0,72	0,004	9,70
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}} = f(\text{argila})$	Esférico	0,21	1,02	711,41	0,73	0,003	17,07
$\theta_{-0,100 \text{ MPa}} = f(\text{areia fina})$	Gaussiano	-0,46	-1,57	1092,11	0,8	0,004	22,66
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}} = f(\text{areia fina})$	Gaussiano	-0,41	-0,99	766,99	0,86	0,0001	29,29
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}} = f(\text{areia fina})$	Gaussiano	-0,44	-1,41	1092,11	0,83	0,004	23,78
$\theta_{-0,001 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Esférico	0,001	0,009	897,81	0,71	0,00003	10,00
$\theta_{-0,003 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Esférico	0,00001	0,007	480,59	0,7	0,00002	0,14
$\theta_{-0,006 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Esférico	0,0005	0,006	600	0,68	0,00002	7,69
$\theta_{-0,100 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Gaussiano	0,0002	0,004	445,59	0,77	0,00002	4,76
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Gaussiano	0,0005	0,002	350	0,66	0,000006	20,00
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}} = f(\text{carbono orgânico})$	Gaussiano	0,0014	0,003	600,36	0,76	0,00001	31,82
$\theta_{-1,000 \text{ MPa}} = f(\text{declividade})$	Gaussiano	0,0002	0,004	477,07	0,68	0,00002	4,76
$\theta_{-1,500 \text{ MPa}} = f(\text{declividade})$	Gaussiano	0,0005	0,004	500,01	0,66	0,00002	11,11

*C0 = efeito pepita; **C1 = componente estrutural; ***, a, alcance; ****RMSE, raiz quadrada do erro médio; e, *****GDE, grau de dependência espacial.

água e capacidade de aeração do solo, bem como do teor de água disponível para as plantas.

4. Conclusões

O teor de argila, areia fina e declividade foram os atributos chave no arranjo espacial da umidade do solo abaixo de $\theta_{-0,100 \text{ MPa}}$ na camada 0,80-1,00 m de profundidade, enquanto que o carbono orgânico foi o atributo chave para umidades acima desta. A variabilidade espacial dos teores de argila, densidade do solo e carbono orgânico, associados à declividade do terreno podem ser eficazes na determinação de áreas homogêneas e auxiliar no manejo da água em sistemas agrícolas.

Referências

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; URCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS, Documentos, n. 1).

DABROWSKI, J. M.; MURRAY, K.; ASHTON, P. J.; LEANER, J. J. Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions. *Ecological Economics*, v. 68, p. 1074-1082, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.016>

FREIRE, J. C.; SCARDUA, R. Curvas características de retenção de água de um Latossolo Roxo distrófico do município de Lavras, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 2, p. 95-98, 1978.

FREITAS JUNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 19, p. 1423-1248, 1984.

GOLDEN SOFTWARE. *Surfer for Windows*: Release 9. 0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers User's Guide. New York: Golden Software Inc., 1999. 619 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 169-177, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000200002>

QIU, Y.; FU, B. WANG, J.; CHEN, L. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, v. 240, p. 243-263, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00362-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00362-0)

RANZINI, G. Solos no Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1963, São Paulo. *Anais...* São Paulo: EDUSP, 1963. p. 51-92.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 1-6, 1986.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRELAS, J. F.; CUNHAS, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; V. H.; SCHAEFER, G. R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

VOLLAND-TUDURI, N.; BROSSARD, M.; BRUAND, A.; GARREAU, H. Direct analysis of microaggregates shrinkage for drying: Application to microaggregates from a Brazilian clayey Ferralsol. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 336, p. 1017-1024, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2004.03.003>