

# Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens<sup>1</sup>

## Spatial variability of the physical attributes of soil under pasture

Wellington Donizete Guimarães<sup>2\*</sup>, Joel Gripp Junior<sup>3</sup>, Eduardo Antonio Gomes Marques<sup>3</sup>, Nerilson Terra Santos<sup>4</sup> e Raphael Bragança Alves Fernandes<sup>5</sup>

**RESUMO** - O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo para áreas de Latossolo, Argissolo e Cambissolo ocupadas por pastagens. O conhecimento dessa variabilidade é importante, pois ela influencia a qualidade das pastagens e a recarga de água subterrânea. Foram coletadas 154 amostras georreferenciadas para cada área de estudo. Para analisar os dados foi usada a estatística descritiva e a geoestatística. A dependência espacial ocorreu para a maioria dos atributos físicos: condutividade hidráulica em solo saturado e densidade do solo para as três classes de solos; microporosidade, macroporosidade e porosidade total para as áreas de Cambissolo e Latossolo. Os resultados da estatística descritiva e o fato do padrão da dependência espacial não ter se mantido constante indicam que as classes de solo, juntamente com a declividade e o uso da terra influenciaram a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo analisadas e que a média não é suficiente para representar a distribuição espacial das variáveis analisadas. A malha de amostragem usada é adequada, pois permitiu captar a dependência espacial da maioria das variáveis analisadas.

**Palavras-chave:** Física do solo. Uso da terra. Geoestatística.

**ABSTRACT** - The aim of this work was to evaluate the spatial variability of the physical attributes of the soil in areas of a Latosol, Argisol and Cambisol under pasture. Knowledge of such variability is important, as it influences the quality of the pasture and groundwater recharge. For each study area, 154 georeferenced samples were collected. To analyse the data both descriptive statistics and geostatistics were used. Spatial dependence was seen for most of the physical attributes; saturated hydraulic conductivity and bulk density for the three soil classes; and microporosity, macroporosity and total porosity in the areas of Cambisol and Latosol. The results of the descriptive statistics, and the fact that the pattern of spatial dependence did not remain constant, show that the class of soil, together with the slope and land use, influenced the spatial variability of the physical attributes of the soil being analysed, and that an average value is not enough to represent the spatial distribution of the analysed variables. The sample grid that was used is adequate, making it possible to capture the spatial dependence of most of the variables being analysed.

**Key words:** Soil Physics. Land use. Geostatistics.

DOI: 10.5935/1806-6690.20160029

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 11/07/2014; aprovado em 29/11/2015

Parte de Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, financiada pela FAPEMIG

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano/IF Goiano, Campus Rio Verde-GO, Rio Verde-GO, Brasil, wdguimaraes@ifgoiano.edu.br

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa/UFV, Viçosa-MG, Brasil, jgripp@ufv.br, emarques@ufv.br

<sup>4</sup>Departamento de Estatística, Universidade Federal de Viçosa/UFV/ Viçosa-MG, Brasil, nsantos@ufv.br

<sup>5</sup>Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa/UFV, Viçosa-MG, Brasil, raphael@ufv.br

## INTRODUÇÃO

As pastagens ocupam parte significativa do município de Viçosa-MG, tendo grande importância econômica e ambiental para o município, devido à pecuária leiteira e à escassez de água para abastecimento, respectivamente.

A degradação das pastagens está associada a fatores como manejo, pragas, regime de chuvas, fertilidade e drenagem do solo (DIAS-FILHO, 2011), e à distribuição espacial dos atributos químicos e físicos do solo (GREGO *et al.*, 2012). Algumas dessas propriedades físicas podem sofrer modificações, conforme estudo que mostrou que a intensidade do pisoteio de animais em áreas de pastagem pode alterar a infiltração de água no solo (MIGUEL; VIEIRA; GREGO, 2009), e consequentemente a quantidade de água que chega até o lençol freático.

O mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo é uma preocupação antiga (VIEIRA, 2000) e seu conhecimento é de fundamental importância para todos aqueles que visam uma agricultura sustentável (WEIRICH NETO *et al.*, 2006), pois permite um manejo específico das áreas agricultáveis (CAJAZEIRA; ASSIS JÚNIOR, 2011). Uma abordagem adequada para esse mapeamento é a Geoestatística (VIEIRA, 2000), pois os atributos do solo quase sempre apresentam dependência espacial (CAMPOS *et al.*, 2007; GREGO; COELHO; VIEIRA, 2011). Nesse sentido, a caracterização do solo por meio de seus atributos químicos e físicos apresenta inúmeras aplicações e são estudados com diferentes abordagens, tais como avaliação do efeito da curvatura do terreno sobre a variabilidade espacial de atributos físicos (CAMARGO; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2010), variabilidade espacial e planejamento de planos de amostragem (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2010), relação entre atributos físicos do solo e produtividade de culturas (CHIODEROLI *et al.*, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2012; WEIRICH NETO *et al.*, 2006), estudos sobre perda de solo em bacias hidrográficas (SILVA *et al.*, 2008) e degradação de pastagens (MELO; PIRES; FERNANDES, 2005).

O uso da Geoestatística implica na definição de um plano de amostragem, para o qual define-se número e espaçamento dos pontos onde as amostras serão coletadas. Na literatura essa definição varia muito, conforme estudos de Alves *et al.* (2011), Santos *et al.* (2012a), Santos *et al.* (2012b), Oliveira Junior *et al.* (2011) e Bottega *et al.* (2013), que usaram 28; 36; 126; 135 e 181 pontos, respectivamente, no estudo de diversos atributos físicos e químicos do solo, tais como: condutividade hidráulica, densidade do solo, porosidade, textura, frações granulométricas areia, argila e silte, teores de cálcio, magnésio e fósforo.

Nesse estudo considerou-se que: condutividade hidráulica do solo, densidade e porosidade do solo possuem relação entre si e com a declividade do terreno, e que essas propriedades afetam o deslocamento da água no perfil de solo e, consequentemente, a recarga de água subterrânea (ALVARENGA *et al.*, 2012); a continuidade espacial das variáveis depende da malha de amostragem adotada. Portanto, a Geoestatística poderia ser usada para a elaboração de mapas temáticos e para a obtenção de valores característicos dessas propriedades para os solos estudados, o que subsidiaria decisões relativas ao planejamento e manejo de áreas de pastagem desse município.

Assim, o objetivo desse trabalho foi estudar o padrão da variabilidade espacial dos seguintes atributos físicos do solo: condutividade hidráulica em solo saturado, microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo para áreas de Latossolo, Argissolo e Cambissolo ocupadas por pastagens, e avaliar se o número de pontos adotados e o espaçamento utilizado nesse estudo podem servir de subsídio para outros trabalhos do gênero.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na microbacia do córrego Palmital, município de Viçosa-MG, localizado entre os meridianos de 42°50'37" W e 42°51'21" W, e entre os paralelos de 20°48'35" S e 20°49'26" S. O clima da área é enquadrado no tipo CWa, caracterizado por inverno seco e verão chuvoso, conforme classificação de Köppen (FERNANDES; KER; REZENDE, 2007). Para os anos de 1998 a 2007, os valores médios anuais de temperatura e precipitação pluviométrica total anual foram de 20,1 °C e 1.284 mm, respectivamente.

As três áreas de estudo são ocupadas por pastagens de capim braquiária, foram formadas por plantio convencional no qual foi possível o uso de máquinas para o gradeamento e são usadas para o pastejo de bovinos. A pastagem da área de Cambissolo tem aproximadamente 40 anos, substituiu plantações de café e a última adubação e correção de acidez foram realizadas há seis anos. A pastagem da área de Argissolo é a mais recente, com aproximadamente oito anos, e substituiu plantações de milho e feijão. Em seu manejo não se faz adubação e correção de acidez. Na área de Latossolo a pastagem tem aproximadamente 10 anos, sendo que já foi usada para plantações de cana e milho.

Foram coletadas 154 amostras georreferenciadas em cada área de estudo. Usou-se uma malha regular principal com espaçamento de 10 x 10 m (100 pontos), adensada por uma segunda malha regular de 2,5 x 2,5 m (24 pontos), e uma terceira com 30 pontos distribuídos aleatoriamente. A finalidade desses dois últimos conjuntos

de pontos foi minimizar o efeito pepita, pois em caso de dependência espacial o que se espera é que a redução da distância de amostragem reduza esse parâmetro. A locação dos pontos foi realizada utilizando tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) e RTK (*Real Time Kinematic*).

As amostras de solo indeformadas foram coletadas com trado tipo Uhland a partir de uma profundidade de 10 cm, após a retirada de toda a serrapilheira e a porção superior da vegetação do solo, de forma a evitar a presença de raízes. Como o anel volumétrico tem em torno de 5,0 cm, a amostra foi coletada aproximadamente entre o 10<sup>o</sup> e o 15<sup>o</sup> cm. A caracterização física do solo foi obtida conforme descrito em EMBRAPA (1997) e consistiu na determinação dos seguintes atributos físicos: condutividade hidráulica em solo saturado (Ko), densidade do solo (Ds), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e porosidade total (Pt).

A análise dos dados foi feita a partir de análise exploratória, estatística descritiva e geoestatística, tendo sido usado o *software* ArcGIS Desktop e seu módulo de geoestatística. O objetivo da análise exploratória foi identificar e eliminar valores discrepantes (*outliers*) do conjunto dos dados, pois eles têm grande influência sobre o semivariograma e, conseqüentemente, sobre o resultado da interpolação (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Para identificá-los, usou-se o método *boxplot* para uma seleção preliminar, seguido de uma avaliação das semivariâncias de todos os pareamentos possíveis entre os 154 pontos da malha de amostragem, conforme descrito em ESRI (2004). Dessa forma, os valores do entorno de um ponto também foram analisados. Como critério final avaliou-se se a retirada do ponto altera os parâmetros da validação cruzada de forma significativa.

A estatística descritiva foi usada para resumir os dados, tendo sido calculados o menor e maior valor, média, mediana, desvio padrão, coeficientes de variação de assimetria e curtose. A análise geoestatística foi realizada em duas etapas. Na primeira avaliou-se a dependência espacial, por meio da modelagem dos semivariogramas empíricos de cada variável. Foram avaliados os modelos teóricos esférico, exponencial, circular e gaussiano. O ajuste foi realizado por tentativa e erro e o critério usado para escolha dos modelos foram os parâmetros provenientes da validação cruzada (FARACO *et al.*, 2008). Para definição do tamanho e número de *lags* usados para agrupar os pares de pontos usou-se como referência a regra empírica na qual o produto entre o tamanho e o número de *lags* deve ser aproximadamente igual à metade da maior distância de separação entre pares de pontos da malha amostral (ESRI, 2004). Para a malha de amostragem adotada esse limite corresponde a 64 m. A partir dos parâmetros de cada modelo escolhido foi

calculado o índice de dependência espacial (ZIMBACK, 2001). Na segunda etapa da análise Geoestatística, para os casos nos quais ocorreu dependência espacial, foi feita a interpolação por krigagem ordinária.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variável Ko foram detectados *outliers* nas três áreas de estudo (Tabela 1). Mesmo excluindo esses valores, os coeficientes de variação (CV) de Ko foram superiores aos das demais variáveis, sendo considerados altos (CV > 60,1%), segundo classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980).

Ao comparar os valores de média e mediana de Ko observa-se que a primeira é sempre maior. Isso ocorre porque a média é mais sensível a valores extremos, os quais estão do lado direito da distribuição, conforme indica o sinal positivo do coeficiente de assimetria (Ca). Essa assimetria ocorreu provavelmente porque alguns dos fatores que podem interferir no valor Ko (presença de raiz, fissura causada por animais, tais como minhocas, formigas e besouros etc) tenderem a superestimá-lo. As medidas estatísticas anteriores e o coeficiente de curtose (Cc) sugerem que os dados não seguem uma distribuição normal. No entanto, para fins de interpolação por krigagem ordinária, esse não é um pré-requisito (CRESSIE, 1991).

A Ma apresentou CVs classificados como médios (12,1 a 60%), enquanto Mi, Pt e Ds foram classificadas como CV baixo (< 12%). Cabe salientar que a Ma é obtida de forma indireta, pela diferença entre Pt e Mi, ambas determinadas por ensaios de laboratório. Conseqüentemente, a propagação dos erros cometidos nos ensaios tende a acumular na macroporosidade, o que explica seu maior CV.

A Ds apresentou valores médios e medianos muito próximos, mas na área de Cambissolo o CV e a amplitude foram maiores do que nas demais. Isso ocorreu porque das três áreas, essa é a mais acidentada, e alguns dos locais amostrados estão em encostas íngremes, nas quais a movimentação do rebanho tende a ser menor. Esse mesmo fator também pode explicar o valor de mínimo verificado na área de Latossolo.

Com a análise geoestatística realizada por meio de semivariogramas foi constatado que as variáveis Mi, Ma e Pt não apresentaram dependência espacial na área de Argissolo (Tabela 2). Assim, a variabilidade dessas variáveis pode ser considerada como aleatória e seria necessário um espaçamento menor na grade de amostragem para detectar dependência espacial dessas variáveis (CAMBARDELLA *et al.*, 1994). Quanto ao índice de

dependência espacial (IDE) das demais variáveis, houve predominância de dependência espacial moderada (25 a 75%), com dez variáveis dentro desse intervalo, enquanto

as demais foram classificadas como de IDE fraco (< 25%) (Tabela 2). Vale ressaltar que quanto maior o valor do IDE, mais o semivariograma explica a variância dos dados.

**Tabela 1** - Estatísticas descritivas dos dados

Variável <sup>(1)</sup>	AE <sup>(2)</sup>	n <sup>(3)</sup>	Mín <sup>(4)</sup>	X <sup>(5)</sup>	Me <sup>(6)</sup>	Máx <sup>(7)</sup>	S <sup>(8)</sup>	CV (%) <sup>(9)</sup>	Ca <sup>(10)</sup>	Cc <sup>(11)</sup>
Ko (cm h <sup>-1</sup> )	PC	149	0,31	10,34	6,37	62,66	11,26	108,85	2,61	11,04
	PA	151	0,01	8,17	3,82	79,03	11,65	142,58	2,93	14,15
	PL	150	0,00	4,73	2,14	30,21	6,23	131,83	1,82	5,88
Mi (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	PC	154	0,25	0,39	0,39	0,48	0,04	9,60	-0,36	4,52
	PA	154	0,33	0,41	0,41	0,48	0,03	7,91	-0,16	2,54
	PL	154	0,34	0,40	0,40	0,47	0,02	5,87	-0,06	2,96
Ma (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	PC	154	0,04	0,12	0,11	0,30	0,05	41,36	1,44	4,67
	PA	154	0,00	0,09	0,08	0,22	0,04	47,76	0,31	2,92
	PL	154	0,01	0,09	0,09	0,23	0,04	46,81	0,54	3,03
Pt (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	PC	154	0,37	0,51	0,50	0,65	0,06	10,83	0,56	2,80
	PA	154	0,41	0,50	0,50	0,59	0,03	6,58	0,12	2,83
	PL	154	0,38	0,49	0,49	0,65	0,04	7,26	0,53	4,83
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	PC	154	0,91	1,24	1,27	1,57	0,13	10,47	-0,70	3,05
	PA	154	1,08	1,27	1,27	1,49	0,08	6,37	-0,01	2,70
	PL	154	0,88	1,25	1,27	1,48	0,08	6,56	-0,88	5,25

<sup>(1)</sup> Ko = condutividade hidráulica em solo saturado, Mi = microporosidade, Ma = macroporosidade, Pt = porosidade total, Ds = densidade do solo; <sup>(2)</sup> Área de estudo: PC = pastagem e Cambissolo, PA = pastagem e Argissolo, PL = pastagem e Latossolo; <sup>(3)</sup> número de amostras; <sup>(4)</sup> menor valor; <sup>(5)</sup> média; <sup>(6)</sup> mediana; <sup>(7)</sup> maior valor; <sup>(8)</sup> desvio padrão; <sup>(9)</sup> coeficiente de variação; <sup>(10)</sup> coeficiente de assimetria; <sup>(11)</sup> coeficiente de curtose

**Tabela 2** - Estimativas dos parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados

Variável	UE	C0 <sup>(1)</sup>	C0 + C <sub>1</sub> <sup>(2)</sup>	Alcance <sup>(m)</sup>	Modelo <sup>(3)</sup>	IDE (%) <sup>(4)</sup>
Ko (cm h <sup>-1</sup> )	PC	67,3	130,0	38,9	EXP	48
	PA	79,1	140,3	20,7	ESF	44
	PL	16,0	38,4	29,5	ESF	58
Mi (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	PC	0,0009	0,0015	69,6	GAU	40
	PA	0,0011	0,0011	0	EPP	0
	PL	0,0004	0,0006	40,5	GAU	21
Ma (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	PC	0,0014	0,0016	64,4	CIR	53
	PA	0,0017	0,0017	0	EPP	0
	PL	0,0010	0,0020	49,7	ESF	49
Pt (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	PC	0,0014	0,0023	69,6	GAU	63
	PA	0,0011	0,0011	0	EPP	0
	PL	0,0007	0,0014	40,3	ESF	51
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	PC	0,0063	0,0149	69,6	GAU	70
	PA	0,0056	0,0067	43,1	ESF	16
	PL	0,0023	0,0071	35,7	ESF	68

<sup>(1)</sup> Efeito pepita; <sup>(2)</sup> Patamar; <sup>(3)</sup> ESF = esférico; EXP = exponencial; GAU = gaussiano; CIR = circular; EPP = efeito pepita puro; <sup>(4)</sup> Índice de dependência espacial; <sup>(5)</sup> F = fraca, M = moderada, T = forte

Pode-se considerar que a malha de amostragem usada foi adequada, pois conseguiu captar a dependência espacial em 12 dos 15 casos analisados.

Ao comparar cada variável, observam-se diferenças consideráveis, entre as três áreas de estudo, nos valores do efeito pepita e do patamar (Tabela 2). Nesse sentido, as maiores diferenças ocorrem para as variáveis Ko e Ds da área de Latossolo em relação às de Cambissolo e Argissolo.

Outro resultado importante dos semivariogramas são os valores do alcance, pois esse atributo indica a linha divisória entre a aplicação da Estatística Clássica ou da Geoestatística (VIEIRA, 2000) e deveria ser considerado em planos de amostragem (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2010). Os semivariogramas das variáveis da área de Cambissolo apresentaram maiores valores de alcance que os das demais áreas avaliadas (Tabela 2). Portanto, mediante a intenção de usar a Geoestatística para interpolar uma dessas variáveis, a área de Cambissolo precisaria de um número menor de amostras (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2010).

A variável que apresentou menores valores de alcance foi Ko (Tabela 2), a qual possui coeficientes de variação mais elevados e da qual foram eliminadas algumas amostras para todas as áreas de estudo (Tabela 1).

Ainda com relação ao alcance, as diferenças observadas entre as variáveis e também entre as classes de solo (Tabela 2) mostram o quanto esse parâmetro é importante no planejamento de um experimento, principalmente nos casos em que se pressupõe aleatoriedade dos dados.

O produto final da krigagem é a superfície interpolada de cada variável, que mostra sua distribuição espacial. A partir dela é possível identificar a localização e a abrangência dos valores extremos, o grau de homogeneidade da área e as direções de maior gradiente. Além disso, ainda que de forma qualitativa, essas superfícies podem revelar se há algum padrão que sugira que a variável interpolada tenha correlação com outras variáveis, tais como declividade, altimetria, manejo, uso da terra etc. Outra característica da krigagem que deve ser lembrada é que ela não preserva os valores dos dados originais, por isso os valores de máximo da Tabela 1 não aparecem na legenda das Figuras 1 e 2.

Outro ponto importante sobre dependência espacial e krigagem, é que um mesmo conjunto de dados, mas com localizações diferentes, poderia ter superfícies bem distintas. Os aspectos citados mostram o quanto é importante conhecer a distribuição espacial das variáveis.

Para a área de Argissolo as variáveis Mi, Ma e Pt não apresentaram dependência espacial e por isso foram interpoladas pelo método IDW (interpolação ponderada pelo inverso da distância). Camargo, Marques Júnior e Pereira (2010) também encontraram efeito pepita puro para a Ma em área ocupada por cana-de-açúcar, tanto em áreas côncavas quanto convexas. Mas no caso da Mi e Pt esses autores detectaram dependência espacial.

As superfícies de Ko (Figura 1) apresentaram distribuições espaciais distintas, evidenciando a localização e influência dos locais com valores de Ko maiores (picos) em seu entorno. Na área de Cambissolo, de relevo mais acidentado, observa-se boa coincidência entre valores de máximo da superfície interpolada de Ko e locais de maior declividade, o que ocorre provavelmente devido ao menor acesso e permanência do gado. A superfície interpolada para Ko da área de Latossolo é a mais homogênea entre as três áreas avaliadas e, embora não tenha o menor coeficiente de variação (Tabela 1), seu desvio padrão é o menor.

A Mi (Figura 2) também apresentou distribuição espacial diferente entre as três áreas. O mesmo é válido para Ma (Figura 2) e Pt (Figura 2). Para a área de Cambissolo, que possui o relevo mais acidentado entre as três, os locais de maior declividade apresentaram valores maiores para as três variáveis associadas à porosidade. Para as áreas de Argissolo e Latossolo, que são mais planas, essa relação não fica evidenciada. Um dos usos da avaliação de atributos físicos do solo é utilizar tais informações como indicador de sua adequabilidade à produção de determinada cultura, conforme estudo de Chioderoli *et al.* (2012), que concluíram que a Mi foi um bom indicador para a produção de massa seca de forragem em área de Latossolo.

Para a Ds (Figura 1), o padrão de distribuição espacial foi distinto para as três áreas de estudo. Observou-se na área de Cambissolo a existência de certa uniformidade na direção oeste-leste para os gradientes da densidade. Também para essa classe de solo os locais de menor densidade tendem a coincidir com aqueles de maior declividade, localizados a oeste.

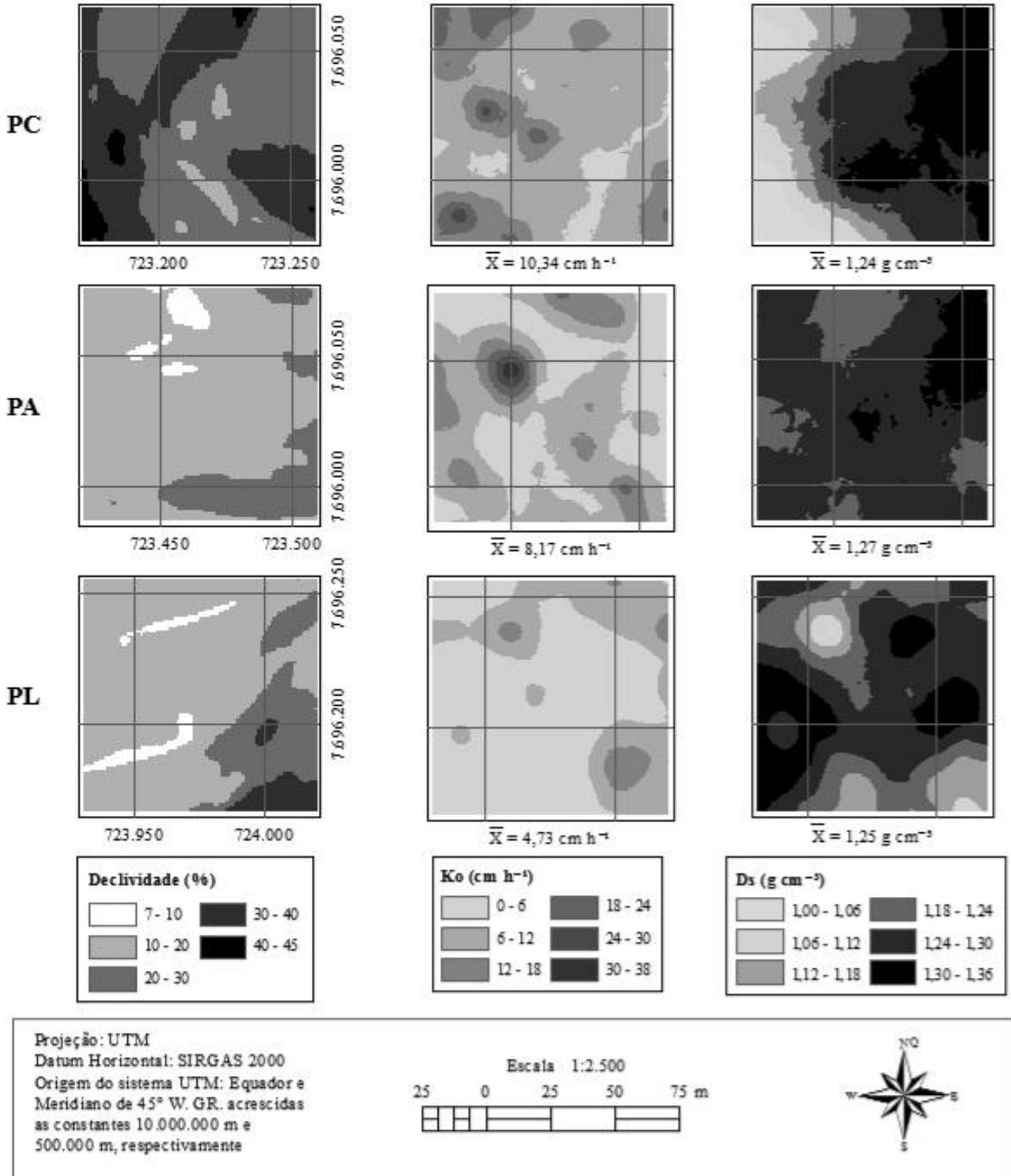
As distribuições espaciais dos atributos do solo avaliadas e seus respectivos valores de média (Figuras 1 e 2) mostram que partes consideráveis das áreas de estudo estão abaixo ou acima desse valor e, conseqüentemente, não é adequado assumir a média para representar o todo das áreas.

O conhecimento da distribuição espacial dessas variáveis e seus valores característicos podem ser

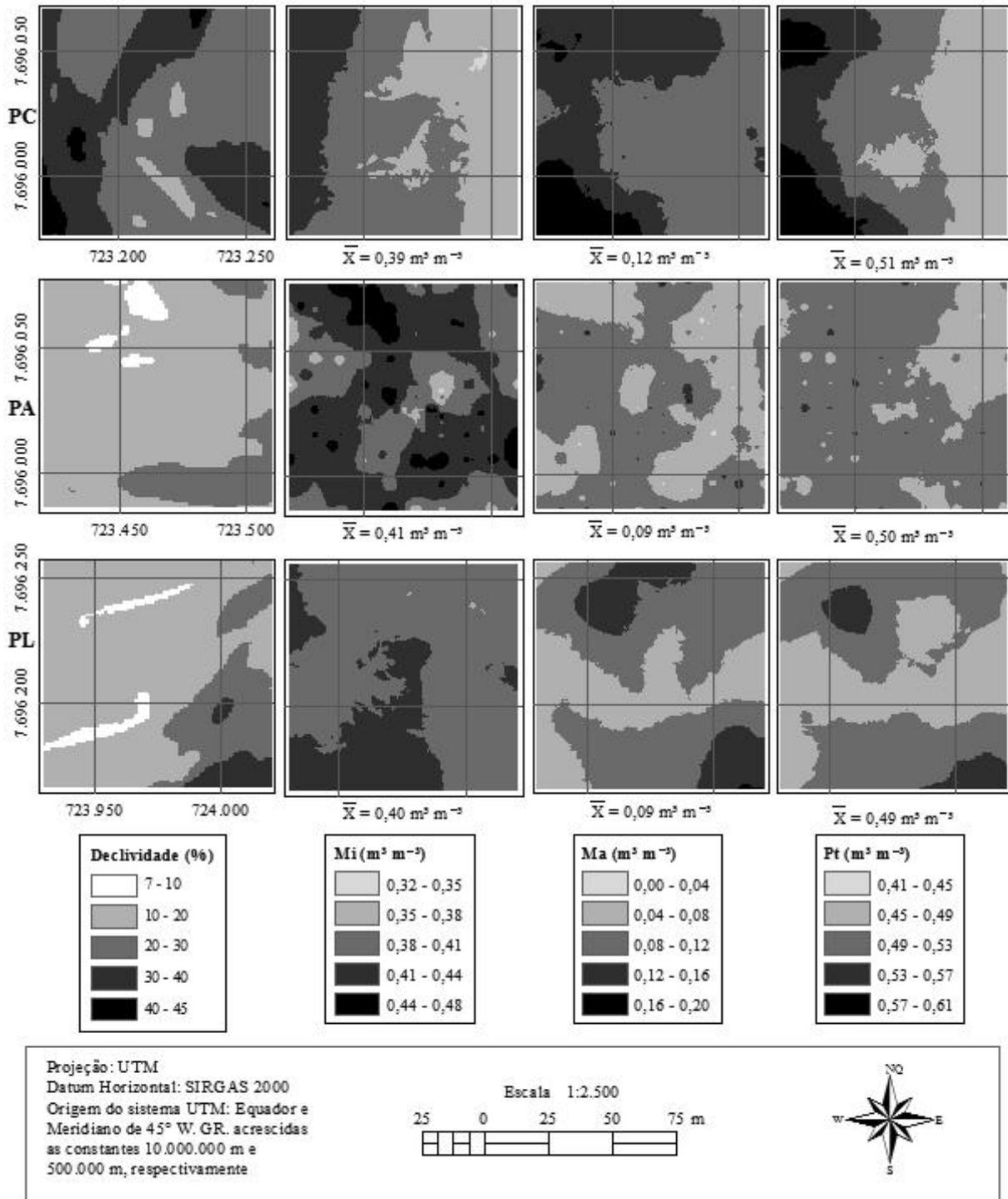
usados para criar um indicador do potencial do solo para recarga de água subterrânea (ALVARENGA *et al.*,

2012) e identificação de áreas degradadas da pastagem (GREGO *et al.*, 2012), entre outras aplicações.

**Figura 1** - Krigagem das variáveis condutividade hidráulica em solo saturado ( $K_o$ ) e densidade do solo ( $D_s$ ) das áreas de pastagem e Cambissolo (PC), pastagem e Argissolo (PA) e pastagem e Latossolo (PL)



**Figura 2** - Krigagem das variáveis microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e porosidade total (Pt) das áreas de pastagem e Cambissolo (PC), pastagem e Argissolo (PA) e pastagem e Latossolo (PL)



## CONCLUSÃO

1. A malha de amostragem usada foi adequada, pois permitiu mapear a dependência espacial

da condutividade hidráulica em solo saturado e densidade do solo para as três classes de solos; da microporosidade, macroporosidade e porosidade total para as áreas de Cambissolo e Latossolo.

2. Os mapas temáticos gerados indicaram correlação entre os atributos físicos do solo e a declividade das áreas.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM) pelo apoio financeiro no desenvolvimento dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C. C. *et al.* Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQSRA) na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, 2012.
- ALVES, W. W. A. *et al.* Análise geoestatística da distribuição de água no solo aplicada por sistema de irrigação localizada. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 143-151, 2011.
- BOTTEGA, E. L. *et al.* Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 258-267, 2011.
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 617-630, 2010.
- CAMBARDELLA, C. A. *et al.* Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C., *et al.* Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p. 149-157, 2007.
- CHIODEROLI, C. A. *et al.* Spatial and linear correlations between soil and corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 765-774, 2012.
- CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900 p.
- DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 215 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst**. Redlands, Califórnia, USA: ESRI Press, 2004. 300 p.
- FARACO, M. A. *et al.* Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 463-476, 2008.
- FERNANDES, M. M.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. de. Delineamento semi-detalhado de solos empregando aerofotos não-convencionais na sub-bacia Palmital - Rio Turvo Sujo, MG. **Revista Geonomos**, v. 15, n. 2, p. 1-7, 2007.
- GREGO, C. R. *et al.* **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1404-1412, 2012.
- GREGO, C. R.; COELHO, R. M.; VIEIRA, S. R. Critérios morfológicos e taxonômicos de Latossolo e Nitossolo validados por propriedades físicas mensuráveis analisadas em parte pela geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 337-350, 2011.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.
- MELO, C. T. de; PIRES, J. A. A.; FERNANDES, M. R. Situação atual das pastagens em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 226, p. 9-14, 2005.
- MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1513-1519, 2009.
- OLIVEIRA JUNIOR, J. C. *et al.* Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de solos da formação Guabirotuba, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1481-1490, 2011.
- RODRIGUES, M. S. *et al.* Spatial Relationships Between Soil attributes and corn yield in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 599-609, 2012.
- SANTOS, E. O. J. *et al.* Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1062-1068, 2012b.
- SANTOS, K. S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 828-835, 2012a.
- SILVA, A. M. *et al.* Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de Latossolos no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2125-2134, 2008.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. cap. 1, p. 1-54.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. cap. 2, p. 319-344.

WEIRICH NETO, P. H. *et al.* Um estudo da variabilidade espacial do conteúdo de areia do solo, utilizando diferentes métodos de interpolação. **Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 12, n. 1, p. 41-49, 2006.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. *et al.* Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 389-400, 2010.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.