

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

VARIABILIDADE ESPACIAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM CAMBISSOLO SOB DOIS SISTEMAS DE MANEJO DE CANA-DE-AÇÚCAR⁽¹⁾

Paulo Guilherme Mello Berner⁽²⁾, Sidney Rosa Vieira⁽³⁾, Eduardo Lima⁽⁴⁾ & Lúcia Helena Cunha dos Anjos⁽⁴⁾

RESUMO

A prática da queima da palha da cana-de-açúcar antes da colheita tem sido objeto de intensas discussões tanto quanto a possíveis alterações de propriedades dos solos onde é cultivada como com respeito à emissão de gases nocivos à atmosfera. O objetivo deste estudo foi avaliar variações em propriedades físicas e químicas de duas áreas de Cambissolos cultivadas com cana-de-açúcar: uma submetida a cultivo contínuo com aração e gradagem e outra onde a lavoura se encontrava na quinquagésima soca sem que nenhuma forma mecânica de mobilização do solo tivesse sido aplicada. As áreas em estudo estão localizadas na região norte do Estado do Rio de Janeiro, no município de Campos dos Goytacazes. Foram coletadas amostras de solo em uma área total de 4.422 m², num reticulado de sete linhas e sete colunas, com espaçamento constante de 9,5 m entre linhas e colunas. Dessa forma, formaram-se 49 células, em cujo centro foram localizados os pontos de amostragem. Foram utilizados semivariogramas para avaliar a estrutura da variância e caracterizar a dependência espacial das propriedades do solo em cada área. Verificaram-se diferenças quanto a granulometria do material de origem dos dois solos, uma vez que os semivariogramas apontaram correlações distintas para cada área. Ainda, o sistema de manejo tendeu a afetar as características relacionadas à porosidade do solo, principalmente na faixa de 0 a 0,20 m de profundidade. Quanto aos elementos Ca, Mg e K, os resultados da área com cultivo contínuo apresentaram menor correlação espacial. Já o tratamento sem cultivo, mesmo não recebendo adubação, apresentou níveis nutricionais próximos ou superiores aos do tratamento cultivo contínuo. Conclui-se que o comportamento espacial das frações granulométricas, diferentes nas duas áreas, aliado à diferença de médias desses atributos, indicou que os solos parecem ter material de origem de granulometrias diferentes; que o cultivo contínuo aumentou

⁽¹⁾ Extraído de Tese de Mestrado defendida pelo primeiro autor no CPGA-CS, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Recebido para publicação em janeiro de 2005 e aprovado em maio de 2007.

⁽²⁾ Pós-Graduando, CPGA-CS, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista do CNPq. E-mail: paulo.berner@terra.com.br

⁽³⁾ Pesquisador Científico, CPD de Solos e Recursos Ambientais, Instituto Agronômico – IAC. Av. Barão de Itapura 1481, CEP 13020-902 Campinas (SP). E-mail: sidney@iac.sp.gov.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto, Departamento de Solos, UFRRJ. E-mail: edulima@ufrj.br

a continuidade da variabilidade espacial de atributos relacionados à porosidade e alterou também a correlação espacial para os elementos Ca, Mg e K.

Termos de indexação: preparo do solo, propriedades edáficas, dependência espacial, semivariogramas.

SUMMARY: SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF AN INCEPTISOL IN TWO CONTRASTING MANAGEMENT SYSTEMS OF SUGARCANE

The common practice of burning the sugar cane plant straw before harvesting has been the subject of very intensive discussions related to the possible changes on soil properties as well as the emission of gases in the atmosphere. The objective of this study was to evaluate variations in soil physical and chemical properties of two areas of Cambisols (Inceptisols) cultivated with sugarcane, one of which area was submitted to continuous cultivation and the other was in its 50th cycle of production with no mechanical form of soil mobilization. The studied areas are located in the region North of Rio de Janeiro State, municipality of Campos dos Goytacazes. A total area of 4,422 m² was sampled, using a grid of 7 lines and 7 columns with 9.5 m of constant space between them. Thus, 49 cells were formed in which center the sample points were located. Semivariograms were used to evaluate variance structure and to characterize the spatial dependence of soil properties in each area. The semivariograms for particle size components of the soils indicated differences related to parent material, since they showed distinct correlation for each area. Moreover the management system affects the characteristics related to soil porosity, mainly at the 0 to 20 cm depth. For Ca, Mg and K, the continuous cultivated area showed variability with lower spatial correlation than the other system. On the other hand, the area without mechanical cultivation, even without any fertilization, showed an amount of nutrient higher or near that of the continuous cultivation treatment. It can be concluded that: the spatial behavior of the particle size distribution fractions, different in the two fields, on top of having different average values, indicated that the soils may have parent material with different particle size fractions; that the continuous cultivation increased the continuity of the spatial variability of soil porosity attributes; and that continuous cultivation also changed the spatial correlation for Ca, Mg and K.

Index terms: soil tillage, soil properties, spatial dependence, semivariogram.

INTRODUÇÃO

Classicamente, estudam-se os dados de um campo experimental reduzindo-os a uma média e a medidas de dispersão em relação a ela. A variabilidade dos números medidos é descrita pela estimativa da variância (σ^2) e pelo coeficiente de variação (CV). Para se admitir independência entre amostras, pesquisadores vêm se valendo da casualização e repetição, somadas à distribuição normal dos dados, garantindo o uso dessas características para representar a população.

A formação dos solos não é homogênea ao longo do tempo, tampouco no espaço, e muitas vezes suas propriedades não variam ao acaso, mas apresentam dependência espacial ou temporal. Essa dependência pode invalidar o uso de análises estatísticas convencionais em experimentos de campo, especialmente naqueles que utilizam grandes parcelas. Desse modo, é importante o conhecimento do comportamento espacial ou temporal da variável em estudo para se escolher o modelo matemático adequado.

A análise de dados para o estudo da variabilidade espacial de um solo depende essencialmente do método de amostragem (Reichardt et al., 1986; Silva, 1988; Burrough, 1993). Coletar amostras ao acaso, sem conhecer sua posição relativa no espaço, permite tão-somente detectar tal variação por meio da variância e do coeficiente de variação (Souza et al., 1999). Para que se possa conhecer a forma da variação (comprimento, largura e direção) e tirar proveito dela, é importante que se conheçam as coordenadas dos pontos de amostragem.

O fato de as amostras estarem sendo tomadas de maneira regionalizada não impede que se obtenham as estimativas de média e variância e que sejam analisados e comparados os dados classicamente, mas, em adição, pode-se avaliar a estrutura da variância e a dependência entre amostras. Regionalização significa que as amostras possuem coordenadas que identificam suas posições em relação a uma origem arbitrária. Se detectada tal dependência, a análise estatística proposta por Fisher (1956), baseada na média e no desvio-padrão, não é aplicável, haja vista exigir a independência entre amostras.

A ferramenta estatística que vem despontando como alternativa e propondo um método de investigação da dependência espacial e, ou, temporal dos atributos do solo é a geoestatística (Vieira et al., 1983; Reichardt et al., 1986; Silva, 1988; Souza et al., 1988; Silva et al., 1989; Burrough, 1993; Vieira, 2000). Esse método exige a regionalização das amostras, estando ou não os pontos espaçados de forma constante, permitindo, com isso, estudar a distribuição e a variabilidade de valores em função de seu arranjo espacial ou temporal.

Este trabalho teve como objetivo avaliar variações em propriedades físicas e químicas de duas áreas de Cambissolos cultivadas com cana-de-açúcar: uma submetida a cultivo contínuo com aração e gradagem e outra onde a lavoura se encontrava na quinquagésima soca sem que nenhuma forma mecânica de mobilização do solo tivesse sido aplicada.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas para o estudo duas áreas de Cambissolo, situado em condições de relevo plano e formado a partir de sedimentos alúvio-coluvionais. As áreas estudadas vêm sendo cultivadas com cana-de-açúcar há, pelo menos, 50 anos. Uma delas é cultivada convencionalmente (cultivo contínuo), com renovação do canavial em intervalos de tempo

regulares (cinco ou seis anos), bem como preparo do solo (aração, gradagem e adubação) por ocasião das renovações. Imediatamente antes da colheita é usado o fogo, para limpeza da palha e otimização dos trabalhos de campo. A outra área, sem cultivo, é conduzida sem renovações, sendo a palhada da cana depositada sobre o solo ano após ano. Na lavoura estudada, o canavial se encontra na quinquagésima soca, portanto, por pelo menos 50 anos sem renovação. Não se fez correção de acidez nem adubação do solo durante esse período, sendo a única fonte de nutrientes os resultantes da decomposição da palhada depositada sobre o terreno. O sistema de manejo envolve colheita da cana sem queimar e o solo não é mobilizado por máquinas.

A duas áreas localizam-se no município de Campos dos Goytacazes, na estrada que liga Campos a São Fidélis, no lado direito da estrada, em direção a São Fidélis. A área com cultivo situa-se 3 km após o limite do distrito de Goytacazes e 500 m adentro, enquanto a área com cultivo situa-se 2 km depois da área sem cultivo, na mesma direção, e 1.000 m adentro.

A amostragem foi realizada em pontos localizados em uma malha de sete linhas e sete colunas, tendo 9,5 m de lado as células assim formadas (Figura 1). Os pontos de amostragem, localizados no centro de cada célula, ficaram também espaçados em 9,5 m. A coleta de material do solo foi feita em três profundidades: 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

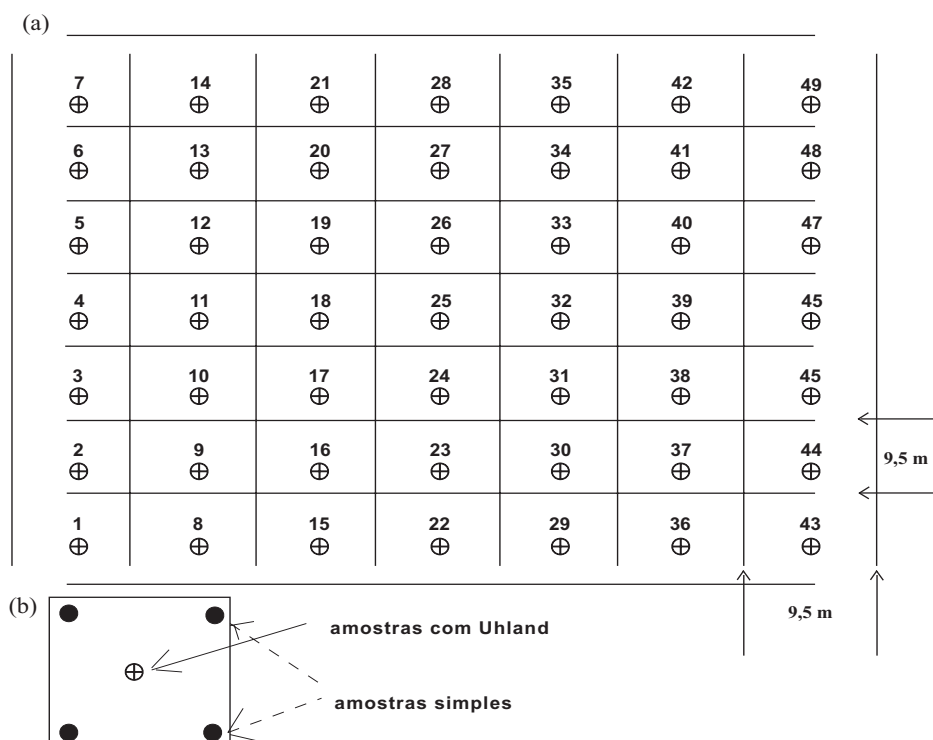


Figura 1. Croquis do campo de amostragem: cada ponto numerado representa um local de amostragem com o coletor de Uhland (a); uma célula de amostragem, indicando os locais de coleta de amostras simples (b).

As amostras para análises físicas foram coletadas utilizando-se um amostrador Uhland, sendo uma amostra no centro de cada célula. Com essas amostras foram determinadas densidade do solo e de partículas, distribuição do tamanho dos poros e granulometria. As amostras compostas para análises químicas, de cada célula, foram obtidas a partir de quatro amostras simples, tomadas regularmente ao redor do ponto central da célula. Foram determinados os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} , carbono orgânico total e o pH em água; e foram calculados os valores da CTC do solo, CTC da argila e valor S. Todas as análises seguiram as recomendações do manual de métodos de análises de solo (Embrapa, 1997)

Para avaliar a dependência das amostras em relação ao espaço, identificando, inclusive, se as variações são sistemáticas ou aleatórias, utilizou-se a geoestatística, sendo construído um semivariograma (Equação 1) de acordo com Vieira et al. (1983). A variância total de uma determinada propriedade é desmembrada em diferentes distâncias amostradas e, com isso, pode-se estudar a estrutura da variância. Se a variância dos dados aumenta com o incremento da distância, então a variância e a distância são grandezas que covariam, o que significa dizer que são variáveis dependentes.

O semivariograma, por definição, é estimado por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por um vetor h . As maneiras de calcular o semivariograma e construir seu gráfico podem ser encontradas em Vieira et al. (2002).

Ao gráfico de semivariograma calculado é necessário o ajuste de uma equação matemática, cujos parâmetros são: C_0 , efeito pepita, C_1 , variância estrutural, em que $C_0 + C_1 = \text{patamar}$ que é aproximadamente igual a variância da população de dados, e o alcance (a) da dependência espacial. O alcance é o ponto a partir do qual o semivariograma se estabiliza e representa a distância a partir da qual as amostras são independentes. Os modelos de ajuste mais comumente usados são o esférico, o linear e o gaussiano, cujas equações e procedimentos de ajustes podem ser encontrados em Vieira (2002).

Uma vez obtidos os ajustes de modelos aos semivariogramas, é possível calcular a relação entre o valor do efeito pepita, C_0 , e o patamar, C , chamada de grau de dependência (GD) e expressa em percentagem:

$$\text{GD} = \left(\frac{C_0}{C}\right) \times 100 \quad (2)$$

De acordo com Cambardella et al. (1994), o GD representa a porção da variabilidade espacial que é devida ao acaso e pode ser usado para classificar a dependência espacial em forte, se $\text{GD} < 25\%$; moderada, se GD estiver entre 26 e 75%; e fraca, se $\text{GD} > 75\%$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes das funções de ajuste dos semivariogramas experimentais são apresentados nos quadros 1, 2 e 3. O valor GD é que realmente será enfatizado na discussão, já que representa a proporção efeito pepita e o patamar. Quanto menor essa relação, menor o valor relativo do efeito pepita e, conseqüentemente, mais bem arranjado espacialmente se encontra o atributo estudado.

Propriedades físicas

No quadro 1 observam-se os valores de GD e alcance que geraram os modelos ajustados dos semivariogramas experimentais dos resultados das frações granulométricas. Pode-se observar que, para o tratamento sem cultivo (SC), as frações apresentaram semivariogramas com modelo esférico (Vieira et al., 1983), com exceção de areia total na primeira camada e silte na segunda camada, que apresentaram modelos sem patamar.

Modelos sem patamar representam fenômenos com infinita capacidade de dispersão; nesse caso, o campo de amostragem não foi suficientemente grande para se detectar o alcance dessas propriedades.

Quanto ao tratamento cultivo contínuo (CC), os semivariogramas indicaram ausência de correlação espacial para as frações granulométricas na primeira camada, para areia total nas camadas subseqüentes e argila total na segunda camada. Vieira (1997) mostrou resultados semelhantes: a camada de 0–0,25 m apresentou dependência, enquanto a de 0,25–0,50 m ou não teve ou não mostrou dependência fraca. Quando apresentaram correlação espacial (silte na segunda e terceira camadas e argila na terceira), o efeito pepita foi bastante próximo do patamar (GD elevada), indicando grande variação dos dados a distâncias menores que a menor distância amostrada, seja devido ao terreno, seja devido a erros de amostragem (Souza, 1992).

Observou-se que a composição granulométrica expressa pelas médias (Quadro 1) é bastante diferente nas duas áreas, sendo a área submetida ao cultivo contínuo mais argilosa nas três profundidades. Mesmo com toda a movimentação de terra por ocasião do preparo do solo, o revolvimento não deve promover a separação das frações. Assim, o comportamento diferenciado dos semivariogramas nas duas áreas indicou que os solos tiveram formação diferenciada, principalmente no que tange à composição granulométrica do material de origem – nesse caso, devido à estratificação dos sedimentos –, já que dificilmente o manejo do solo alteraria a composição granulométrica, tampouco promoveria seu arranjo espacial.

Em se tratando dos parâmetros relacionados à porosidade do solo (Quadro 2), as maiores diferenças ocorreram nas duas primeiras camadas, onde os

atributos macroporos, microporos e porosidade total não mostraram correlação espacial no tratamento sem cultivo. Grego & Vieira (2005) relatam estabilidade temporal da variabilidade espacial de teor de água no solo em área de plantio direto apenas na camada subsuperficial. Microporos, na segunda camada, apresentam modelo esférico de semivariograma com GD igual a 60 % e alcance de 20 m, indicando fraca correlação espacial até 20 m e independência entre os pontos além dessa distância. Isso indica que, para esses atributos e neste tratamento, as diferenças entre os valores das amostras acontecem por acaso, não mostrando dependência espacial, independentemente do sistema de cultivo.

Já para o tratamento cultivo contínuo, há forte tendência espacial para os microporos e poros totais na primeira e segunda camadas e macroporos na segunda. Comparando os semivariogramas desses atributos, observou-se que a área de cultivo contínuo apresentou-se mais bem arranjada espacialmente, o que pode estar relacionado com a sistemática no preparo do solo. Uma vez que a dependência espacial expressa pelo semivariograma representa uma área que contém regiões delimitadas, com valores próximos mais parecidos uns com os outros do que valores distantes, é possível que o sistema de cultivo, aliado ao espaçamento entre as amostras, tenha detectado esse fato. Dessa maneira, acredita-se que esses

Quadro 1. Coeficientes das funções dos semivariogramas teóricos para composição granulométrica (%) nas duas áreas e média de cada fração

Trat. ⁽¹⁾	Atributo	Camada 0-0,10 m					Camada 0,10-0,20 m					Camada 0,20-0,30 m				
		Co	GD	a	Modelo	Média	Co	GD	a	Modelo	Média	Co	GD	a	Modelo	Média
SC	Areia	0	0	45	S/P	30	0	0	35	eph	29	0,3	25	35	eph	24
	Silte	0,1	10	38	eph	33	0,4	29	50	S/P	32	0,3	27	38	eph	35
	Argila	0,3	30	30	eph	38	0,5	45	30	eph	39	0,6	60	25	Eph	41
CC	Areia	Efeito Pepita puro				11	Efeito Pepita puro				10	Efeito Pepita puro				7
	Silte	Efeito Pepita puro				34	0,8	80	20	eph	37	0,6	55	35	eph	41
	Argila	Efeito Pepita puro				55	Efeito Pepita puro				53	0,8	80	15	eph	52

⁽¹⁾SC: sem cultivo; CC: cultivo contínuo; Co: efeito pepita; a: alcance (em metros); S/P: sem patamar; lin: linear; eph: esférico; GD: grau de dependência; médias em %.

Quadro 2. Coeficientes das funções dos semivariogramas teóricos para distribuição da porosidade nas duas áreas e média de cada classe de porosidade

Trat. ⁽¹⁾	Atributo	Camada 0-0,10 m					Camada 0,10-0,20 m					Camada 0,20-0,30 m				
		Co	GD	a	Modelo	Média	Co	GD	a	Modelo	Média	Co	GD	a	Modelo	Média
SC	Macro	Efeito Pepita puro				5	Efeito Pepita puro				4	0,6	50	45	eph	4
	Micro	Efeito Pepita puro				48	0,6	60	20	Eph	46	Efeito Pepita puro				46
	PoTot	Efeito Pepita puro				53	Efeito Pepita puro				50	Efeito Pepita puro				50
	Dp	Efeito Pepita puro				2,54	0,4	40	28	eph	2,58	Efeito Pepita puro				2,63
	Dg	0,2	20	28	eph	1,19					1,27	Efeito Pepita puro				1,28
CC	Macro	0,8	80	35	eph	8	0,5	50	28	eph	6	Efeito Pepita puro				6
	Micro	0,2	20	25	eph	49	0,5	50	28	eph	43	Efeito Pepita puro				50
	PoTot	0,4	40	20	eph	56	0,5	50	30		48	Efeito Pepita puro				56
	Dp	Efeito Pepita puro				2,51	0,1	6	60	S/P	2,51	0,7	60	45	S/P	2,59
	Dg	0,5	50	25	eph	1,18	0,4	38	36	eph	1,25	Efeito Pepita puro				1,19

⁽¹⁾SC: sem cultivo; CC: cultivo contínuo; Ds: densidade solo (kg dm⁻³); Dp: densidade das partículas (kg dm⁻³); PoTot: porosidade total (%); Macro: macroporosidade (%) e Micro: microporosidade (%); Co: efeito pepita; a: alcance (em metros); S/P: sem patamar; lin: linear; eph: esférico; GD: grau de dependência.

resultados se devem sobretudo ao fato de as duas áreas serem, na verdade, de ambientes diferentes com respeito a esses atributos, os quais, por terem sido amostrados de maneira e com densidades iguais, revelaram variabilidades diferentes.

De modo geral, as diferenças ocorreram até a profundidade de 0,20 m, correspondendo ao limite entre a segunda e a terceira camada, já que nesta última os atributos mostraram distribuição espacial aleatória nos dois terrenos. Isso estaria de acordo com o fato de as camadas apresentarem alto teor de argila, dificultando a penetração do arado até profundidades maiores no cultivo contínuo.

Propriedades químicas

No quadro 3 encontram-se os coeficientes das funções dos semivariogramas teóricos para os atributos químicos. Pode-se constatar que, mesmo não recebendo qualquer adubação ou correção de acidez, a área sem cultivo apresenta médias superiores de cátions trocáveis e componentes do complexo sortivo na primeira camada, em relação às médias observadas

na área de cultivo contínuo, na primeira camada, e bastante próximas nas camadas subseqüentes. A reposição de matéria orgânica bruta e nutrientes, resultante da colheita da cana sem queima, estimulando a atividade biológica, parece contribuir para esse comportamento. O teor de carbono orgânico da primeira camada – superior no tratamento sem cultivo – indica acúmulo de material orgânico em superfície. É importante destacar o elevado teor de K e Ca em superfície nessa área, o que contribuiu para elevação do pH nesta camada. Souza et al. (1997) relatam altos valores de pH em condições de pomar cítrico sob Latossolo Amarelo distrófico, na camada de 0–0,20 m de profundidade.

De modo geral, observou-se que na primeira camada das duas áreas as variações nos valores das propriedades apresentaram-se correlacionadas com a posição de amostragem, conforme relatado em Vieira (1997). Nessa camada, os semivariogramas de Ca, Mg e K, da área sem cultivo, mostraram mais baixa relação GD, além de alcances maiores, indicando melhor arranjo espacial desses elementos.

Quadro 3. Coeficientes das funções dos semivariogramas teóricos para atributos químicos nas duas áreas e média de cada atributo

Trat. ⁽¹⁾	Atributo	Camada 0–0,10 m					Camada 0,10–0,20 m					Camada 0,20–0,30 m				
		Co	GD	a	Modelo	Média	Co	GD	a	Modelo	Média	Co	GD	a	Modelo	Média
SC	pH	0,2	18	40	lin	6,2	0,2	20	36	lin	6,3	0	0	40	Lin	6,7
	Ca ²⁺	0,2	20	35	eph	7,8	0,5	50	37	lin	5,8	Efeito Pepita puro			6,3	
	Mg ²⁺	0,5	50	35	eph	3,8	Efeito Pepita puro			4,4	Efeito Pepita puro			4,5		
	K ⁺	0,2	18	37	eph	0,8	0,2	20	37	Eph	0,5	Efeito Pepita puro			0,4	
	Na ⁺	0,2	20	35	eph	0,5	Efeito Pepita puro			0,5	Efeito Pepita puro			0,6		
	Al ³⁺	0,4	40	26	eph	0,1	Efeito Pepita puro			0,1	0,1	8	60	S/P	0,1	
	C	0,7	70	19	lin	1,8	Efeito Pepita puro			1,3	0,2	14	50	S/P	1,3	
	Valor S	0,4	40	33	eph	13	0,4	40	20	lin	11	Efeito Pepita puro			12	
	CTC solo	0,4	40	45	eph	17	0,3	30	23	eph	16	Efeito Pepita puro			15	
CTC arg	0,6	60	30	eph	9	0,6	60	35	eph	10	0,6	60	35	eph	10	
CC	pH	0,3	25	38	eph	5,9	0,5	45	28	exp	6,3	0,3	30	13	lin	6,1
	Ca ²⁺	0,4	40	28	eph	6,3	0,2	20	38	lin	6,1	0,2	13	60	S/P	5,9
	Mg ²⁺	0,6	60	28	eph	3,6	Efeito Pepita puro			4,5	Efeito Pepita puro			4,5		
	K ⁺	Efeito Pepita puro			0,2	Efeito Pepita puro			0,4	Efeito Pepita puro			0,3			
	Na ⁺	0,5	36	60	S/P	0,4	Efeito Pepita puro			0,6	0,2	13	60	S/P	0,6	
	Al ³⁺	0,4	40	26	eph	0,1	0,6	50	50	S/P	0,1	0,8	73	60	S/P	0,1
	C	0,3	50	19	lin	1,3	0,1	10	25	eph	1,1	0,5	29	50	S/P	1,2
	Valor S	0,4	40	33	eph	11	0,7	70	26	eph	12	0,2	13	60	S/P	11
	CTC solo	0,6	60	40	eph	14	0,7	70	20	eph	14	0,1	6	60	S/P	13
CTC arg	0,5	45	45	eph	9	Efeito Pepita puro			10	0,2	13	60	S/P	10		

⁽¹⁾ SC: sem cultivo; CC: cultivo contínuo; Co: efeito pepita; a: alcance (em metros); S/P: sem patamar; lin: linear; eph: esférico; exp: exponencial; GD: grau de dependência. Obs.: médias de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, valor S e CTC solo e argila expressas em cmol_c kg⁻¹ solo ou argila; carbono orgânico, em %.

Algumas propriedades apresentaram comportamento bastante diferente nas três camadas. O Na apresentou, na primeira camada do tratamento cultivado contínuo, um modelo sem patamar de dispersão; na segunda camada, do mesmo tratamento, efeito pepita puro; e na camada seguinte, novamente uma estrutura sem patamar. Algo semelhante ocorreu com CTC da argila no mesmo tratamento e C e Al^{3+} no tratamento sem cultivo. Para estes atributos o semivariograma apresentou modelo esférico e linear na primeira camada, efeito pepita puro na segunda e modelo sem patamar na terceira. Souza et al, (1997) encontraram dependência, expressa por um modelo exponencial com alcance de 39 m, para CTC na camada de 0–0,20 m.

Observando o comportamento espacial da CTC da argila no tratamento cultivado contínuo, nota-se, na primeira camada, que este atributo não se correlaciona perfeitamente com nenhuma das bases trocáveis. Os coeficientes apresentados indicaram que a variabilidade da CTC ocorreu devido à variabilidade das bases em conjunto. Já para a segunda camada o atributo não apresentou correlação espacial, acompanhando os teores de Na^+ , K^+ e Mg^{2+} . Na terceira camada, no entanto, Ca^{2+} e Na^+ mostraram o mesmo semivariograma teórico que a CTC; logo, a variabilidade do atributo CTC da argila foi fortemente determinada pelos elementos Ca^{2+} e Na^+ . Vieira (1997) constatou resultados semelhantes para teores granulométricos e CTC em uma parcela de 30 x 30 m. O escalonamento de semivariogramas, segundo proposto por Vieira et al. (1997), pode ser utilizado para permitir a interpretação das relações entre variabilidades de diferentes atributos, revelando, graficamente, que aqueles atributos que tiverem seus semivariogramas escalonados próximos uns dos outros possuem variabilidades semelhantes.

O fato de os semivariogramas teóricos representarem a realização de uma determinada variável aleatória para os pontos amostrados torna bastante complexa a interpretação de atributos conceituais. A CTC, calculada a partir da soma total de cátions que o material do solo pode adsorver, é dependente do tipo e teor de colóides presentes. Logo, sua distribuição espacial depende da distribuição espacial desses componentes no solo (Quadro 3).

Dessa forma, é bastante imprecisa a análise dos dados sem se considerar a influência espacial, ou seja, a posição relativa no terreno, mesmo que seja de um atributo com outro. Se analisados somente os coeficientes de variação desses atributos, estar-se-ia detectando maior ou menor variabilidade sem se deter na sua estrutura (comprimento, direção e largura).

CONCLUSÕES

1. O comportamento espacial das frações granulométricas, diferente nas duas áreas, aliado à

diferença de médias destes atributos, indicou que os solos parecem ter material de origem de granulometrias diferentes.

2. O cultivo contínuo aumentou a estabilidade da variabilidade espacial de atributos relacionados à porosidade.

3. Em se tratando dos elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , a área com cultivo contínuo mostrou semivariâncias com menor correlação espacial, refletindo o manejo da adubação e calagem.

LITERATURA CITADA

- BURROUGH, P.A. Soil variability: A late 20th century view. *Soils and Fertilizers*, 56:529-562, 1993.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURVO, R.F. & KONOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:1501-1511, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FISHER, R.A. *Statistical methods and scientific influence*. Edinburg, Oliver & Boyd, 1956. 175p.
- GREGO, C.R. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo e uma parcela experimental. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:169-177, 2005.
- REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:1-6, 1986.
- SILVA, A.P. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1988. 105p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:1-5, 1989.
- SOUZA, L.S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1992. 162p. (Tese de Doutorado)
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade de fatores de acidez no solo em diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Gaúcha*, 5:83-98, 1999.
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:77-86, 1998.
- VIEIRA, S.R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.

- VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental em um Latossolo Roxo em Campinas (SP). *Bragantia*, 57:181-190, 1997.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 51:1-75, 1983.
- VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.A.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.1-45.
- VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. & TILLOTSON, P.M. The scaling of semivariograms and the kriging estimation. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:525-533, 1997.