

# Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará<sup>1</sup>

Spatial variability of the primary fractions and aggregate of an Ultisol in the State of Ceará, Brazil

João Paulo Cajazeira<sup>2\*</sup> e Raimundo Nonato de Assis Júnior<sup>3</sup>

**Resumo** - A variabilidade espacial tem sido uma das preocupações de estudiosos desde o início do século, sendo o sistema de manejo do solo um fator que interfere na distribuição espacial das propriedades físicas do mesmo. O objetivo do trabalho foi caracterizar e determinar a variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo Amarelo, utilizando métodos geoestatísticos e confecção de mapas de superfície pelo método da *Krigagem*, em duas camadas de solo. Foram realizadas coletas de solo em intervalos regulares de 2,5 m numa área de 400 m<sup>2</sup>, sendo 81 pontos em cada uma das camadas (0-0,2 m e 0,2-0,4 m), totalizando 162 amostras que foram submetidas às determinações físicas e os dados obtidos analisados pela estatística descritiva para verificar a normalidade da distribuição de frequência e posteriormente submetidos à geoestatística. O modelo de semivariograma que melhor se ajustou aos dados, na maioria das variáveis, foi o esférico. Verificou-se efeito pepita puro para as variáveis grau de flocculação, na profundidade de 0-0,2 m e os agregados estáveis, na profundidade de 0,2-0,4 m.

**Palavras-chave** - Geoestatística. Krigagem. Semivariograma. Dependência espacial.

**Abstract** - The spatial variability has been one of the concerns of researchers since the beginning of the century, being the soil management system a factor that interferes in the spatial distribution of the physical properties of the soil. The objective of this research was to characterize and determine the spatial variability of physical attributes of an Alfisols, by using geostatistical methods and surface maps using the Kriging interpolation method, at two soil depths. Soil sampling was performed following a 2.5 x 2.5 regular grid, in an area of 400 m<sup>2</sup>, with a total of 81 points in each one of the soil depths (0-0.2 m and 0.2-0.4 m). The 162 samples were subjected to the physical analysis and the data was tested for normality using descriptive statistics and later submitted to the geostatistical analysis. The spherical semivariogram model was the best fitting, for most of the variables. Random variance was verified for the variables flocculation degree, at the 0-0.2 m depth and aggregate stability at the 0.2-0.4 m depth.

**Key words** - Geostatistic. Kriging. Semivariogram. Spatial dependence.

\* Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 05/09/2009; aprovado em 31/01/2011

Parte da Dissertação do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, financiada pelo CNPq

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, CCA/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, jp\_caja@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Departamento de Ciências do Solo, CCA/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, assisjr@ufc.br

## Introdução

Atualmente, o manejo específico das áreas agricultáveis vem sendo bastante estudado e difundido no meio científico. Este visa estudar a variabilidade espacial de atributos que estão relacionados direta ou indiretamente ao solo. O conhecimento da distribuição espacial das propriedades do solo é de suma importância para determinação dos parâmetros responsáveis pelo rendimento das culturas, sendo indispensável para alcançar uma agricultura sustentável (WEIRICH NETO et al., 2006).

De acordo com Mendes et al. (2008), os atributos físicos do solo variam entre pontos relativamente próximos em área de mesma unidade taxonômica, muitas vezes de forma significativa. Segundo estudos realizados neste segmento, as propriedades físicas do solo quase sempre apresentam dependência espacial (CAMPOS et al., 2007; CARVALHO et al., 2003; EGUCHI et al., 2002; LIMA et al., 2006; SOUZA et al., 2004a).

Segundo Leão et al. (2007), o estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo apresenta grande importância na escolha da área, na locação das unidades experimentais, interpretações de resultados, no uso racional dos fertilizantes e na coleta de amostras. Pois, quanto mais heterogêneo for o solo, maior deve ser o número de amostras coletadas para que se atinja maior exatidão na avaliação de suas características (SILVEIRA et al., 2000).

A variabilidade espacial do solo ocorre tanto em suas características químicas como nas físicas, mesmo em uma área aparentemente uniforme (SOUZA et al., 2008). Assim, as dificuldades tornam-se maiores porque, sendo a formação do solo resultante de uma série de fatores, o produto final é bastante heterogêneo em relação às suas características e propriedades. O assunto tem sido abordado e explorado nos últimos anos, através do uso da geoestatística.

A geoestatística permite conhecer a continuidade de uma variável de interesse, em toda uma área de estudo demonstrando a variação espacial da propriedade através de mapas de variabilidade. Segundo Lemos Filho et al. (2008), umas das grandes aplicações da geoestatística é a possibilidade de construção de mapas temáticos que permitam analisar a variável em estudo.

De acordo com Guimarães (2001), a  $\text{Var}[Z(t) - Z(t + h)]$  é a variância dos dados por uma distância  $h$ , mas, na expressão abaixo, esta variância está sendo dividida por dois, então se utiliza o prefixo “semi” para distinguir da variância e daí vem o nome semivariância para  $\gamma(h)$  e semivariograma para o gráfico de  $\gamma(h)$  em função de  $h$ .

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2} \{\text{var}[Z(t) - Z(t + h)]^2\} \quad (1)$$

A variação das características texturais do solo ocorrem em função do ambiente de deposição de sedimentos, da vegetação, do relevo que regula o tempo de exposição dos materiais à ação do intemperismo (YOUNG; HAMMER, 2000) e principalmente do material de origem (CUNHA et al., 2005). Segundo Perin et al. (2002), a manutenção de uma boa estabilidade de agregados é condição primordial para garantir altas produtividades.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo principal de avaliar a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo, bem como do grau de estabilidade de seus agregados, usando métodos geoestatísticos, a fim de fornecer subsídios para o planejamento de experimentos conduzidos na área, auxiliando na escolha dos pontos amostrais, amparado pela teoria das variáveis regionalizadas.

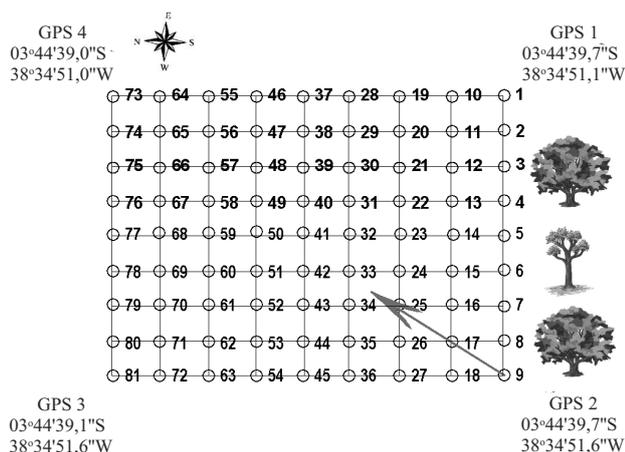
## Material e métodos

A área experimental fica localizada no Campus do Pici, pertencente à Universidade Federal do Ceará, no município de Fortaleza (CE) e as coordenadas geográficas do primeiro ponto são 546.543 m E e 9.586.119 m N, numa altitude de 19,6 m referenciada pelo nível do mar. O experimento foi conduzido durante o período de agosto a dezembro de 2006 e possuía dimensão de 20 x 20 m.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw'. Trata-se de uma região pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso, com temperatura média do mês mais frio maior ou igual a 18 °C. O solo foi classificado como um Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico, textura arenosa/média, A moderado, mesoeutrófico (PAe) no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006). A área encontrava-se em pouso coberta apenas por plantas ruderais.

A área selecionada foi demarcada com piquetes e barbante, de maneira que a distância entre um ponto e outro fosse de 2,5 metros, totalizando 81 pontos em uma área com dimensão de 400 m<sup>2</sup> (FIG. 1).

Em cada ponto foram realizadas coletas de solo, com estrutura deformada, em duas profundidades, sendo a primeira na camada de 0-0,2 m e a segunda na camada de 0,2-0,4 m, totalizando 162 amostras; as amostras foram usadas nas determinações dos percentuais das frações primárias do solo, ou seja, areia, silte e argila. Também foram coletados torrões para análise de agregados.



**Figura 1** - Croqui da área experimental destacando-se os pontos onde foram realizadas as coletas de solo

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, descrita por Gee e Bauder (1986) com base na dispersão com solução normal de NaOH. O silte e argila foram separados por sedimentação das partículas, conforme a Lei de Stokes. A argila dispersa em água foi determinada pela mesma metodologia, com exceção do NaOH.

O grau de floculação (GF) é a relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total, obtida após a dispersão. Indica a proporção da fração argila que se encontra floculada.

$$GF = \left[ \frac{\text{argila total (g kg}^{-1}) - \text{argila dispersa em água (g kg}^{-1})}{\text{argila total (g kg}^{-1})} \right] \quad (2)$$

Com os torrões previamente separados no campo procedeu-se a análise de agregados; a referida análise foi realizada por via úmida. Para esta determinação, adotou-se a técnica descrita por Kemper e Rosenau (1986). A análise foi feita em agregados de tamanho entre 8,00-0,25 mm de diâmetro. Em seguida, os agregados foram pesados em subamostras de 0,025 kg e umedecidos com jatos intermitentes de água sob pressão. Após um período de 24 h os agregados foram levados para o oscilador vertical, também conhecido como aparelho de Yoder, com frequência de 32 oscilações por minuto.

A estabilidade dos agregados foi determinada pela equação:

$$\% \text{ Agregados estáveis} = \left[ \frac{\text{peso dos agregados est. + areia} - \text{peso da areia}}{\text{peso da amostra} - \text{peso da areia}} \right] \times 100 \quad (3)$$

Com o programa estatístico “*Statistica 5.0*” (STATSOFT, 1999), aplicou-se o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (K-S), a 5% de significância e as variáveis que não apresentaram distribuição de frequência normal foram transformadas em sua forma logarítmica ( $y = \ln x$ ) e novamente submetida ao teste K-S.

Posteriormente, os dados foram submetidos a análises geoestatísticas. Para cada variável, foram determinados, grau de dependência, modelo de semivariograma, efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance e efeito pepita relativo (*nugget ratio*), usando semivariogramas, confeccionados com o auxílio do software GS+ “*Geostatistical for Environmental Sciences*”, versão 5.0.3 Beta.

Foram testados modelos sugeridos pelo programa estatístico baseados na regressão. Traçou-se a curva para os quatro modelos (linear, exponencial, gaussiano e esférico) e o que apresentou um patamar mais claro e definido e um menor erro foi sugerido.

Em seguida, foi realizada a interpolação dos dados por *krigagem* para observar a distribuição da variabilidade espacial das variáveis estudadas na área. Os mapas de superfície foram produzidos a partir dos parâmetros de *krigagem* através do software Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2006).

## Resultados e discussão

Para validar a hipótese de normalidade, foram utilizadas as medidas de posição como a média e a mediana, além de basear-se em Souza et al. (2004b) que apontaram os valores de assimetria, próximo a zero, como indicativo de normalidade. Também foi aplicado teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov numa significância de 0,05.

Os resultados referentes à análise descritiva para as variáveis estudadas indicaram distribuição normal (TAB. 1 e 2) para quase todas as variáveis, exceto para o grau de floculação na profundidade de 0-0,2 m e para o silte na profundidade de 0,2-0,4 m, por este motivo foram realizadas transformações logarítmicas antes do cálculo da semivariância.

Os fatores observados para a determinação da distribuição não normal destes atributos foram os valores do dexperimental e assimetria. No caso da variável grau de floculação, o valor do dexperimental foi 0,20 e para a variável silte os valores foram para dexperimental e assimetria, 0,24 e 6,79, respectivamente, caracterizando uma distribuição não normal.

Para esta pesquisa, a variabilidade espacial dos dados foi classificada de acordo com critérios propostos

por Warrick e Nielsen (1980). Segundo estes autores, há uma alta variabilidade espacial relacionada entre os atributos físicos que estão relacionados com a dinâmica da água no solo. Dentre eles a textura e a estrutura do solo. Os mesmos autores consideram os valores do coeficiente de variação entre 12% e 60% como média variabilidade e os valores abaixo e acima deste intervalo como baixa e alta variabilidade, respectivamente. Neste sentido, as variáveis areia, grau de flocculação e estabilidade de agregados, para ambas as profundidades, apresentaram um C.V. abaixo de 12% (TAB. 1, 2 e 3), sendo considerado, portanto, como baixa variabilidade; as demais variáveis apresentaram C.V. entre 12-60%.

Ao analisarem a variabilidade espacial de atributos físicos do solo, Nielsen et al. (1973) concluíram que, para as variáveis areia e argila, na camada superficial do solo, os dados apresentavam uma distribuição normal. Segundo os mesmos autores, em uma área de 150 ha com 120 pontos de amostragem, foi obtido um coeficiente de variação (C.V.) para areia, silte e argila de 17%, 22% e 42%, respectivamente. Os dados obtidos para as mesmas variáveis citadas acima obtiveram o mesmo comportamento crescente para a camada superficial. No presente trabalho os C.V. para a camada de 0-0,2 m, foram, para areia, silte e argila, de 3,8%, 17,8% e 22,8%, respectivamente. Observam-se

**Tabela 1** - Parâmetros estatísticos para areia, silte, argila total, argila dispersa em água e grau de flocculação para profundidade de 0-0,2 m

Parâmetros	ATRIBUTOS				
	Areia	Silte	Argila	Argila Disp. Água	Grau Flocculação
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Média	809,00	63,00	126,00	15,00	876,00
Mediana	815,00	61,00	121,00	12,00	904,00
Mínimos	720,00	42,00	077,00	01,00	702,00
Máximos	859,00	98,00	205,00	40,00	992,00
Des. Padrão	030,74	11,35	028,80	08,08	071,32
C.V. (%)	003,79	17,81	022,78	54,28	008,13
Curtose	000,80	0,69	000,16	00,81	- 0,49
Assimetria	-01,02	0,93	000,66	01,07	- 0,88
D	0,10 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,20

d = <sup>ns</sup> não-significativo a 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov

**Tabela 2** - Parâmetros estatísticos para areia, silte, argila total, argila dispersa em água e grau de flocculação para profundidade de 0,2-0,4 m

Parâmetros	ATRIBUTOS				
	Areia	Silte	Argila	Argila Disp. Água	Grau Flocculação
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Média	722,00	064,00	212,00	51,00	756,00
Mediana	737,00	060,00	197,00	48,00	759,00
Mínimos	573,00	046,00	137,00	13,00	622,00
Máximos	801,00	233,00	348,00	98,00	639,00
Des. Padrão	049,64	020,94	043,48	15,15	051,22
C.V. (%)	006,87	032,50	020,42	29,38	006,76
Curtose	001,05	054,70	00,76	1,35	001,80
Assimetria	- 1,03	06,79	00,93	0,80	000,36
D	0,12 <sup>ns</sup>	0,24	0,16 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	000,05 <sup>ns</sup>

d = <sup>ns</sup> não-significativo a 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov

**Tabela 3** - Parâmetros estatísticos para o atributo físico do solo: estabilidade de agregados do solo nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m

Parâmetros	ATRIBUTOS	
	Agregados estáveis* 0-0,2 m	Agregados estáveis* 0,2-0,4 m
	----- g kg agregados <sup>-1</sup> -----	
Média	795,92	838,80
Mediana	813,65	849,56
Mínimos	542,02	668,13
Máximos	939,44	969,46
Des. Padrão	77,92	70,89
C.V. (%)	9,78	8,45
Curtose	01,13	- 0,57
Assimetria	- 0,99	- 0,48
D	0,11 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>

\* Agregados < 8,00 mm e  $\geq$  0,25 mm de diâmetro; d = <sup>ns</sup> não-significativo a 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov

menores valores quando comparado com os dos autores citados, isto pode ser atribuído à diferença de tamanho da área de estudo como também ao tipo de solo.

Observou-se um incremento nos teores de argila de quase 69% da camada superficial para a subsuperficial, nos teores de silte de 1,6% e um decréscimo para a variável areia na ordem de 10,7%. Isso se refletiu na classificação textural que passou de franco arenosa para franco argilo-arenosa.

Para estabilidade dos agregados, verificou-se que os C.V. foram classificados como baixo de acordo com os critérios adotados neste trabalho. Sendo de 9,78 % para a camada de 0-0,2 m e 8,45% para a camada de 0,2-0,4 m. Valores semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2004c).

Constatou-se que houve um incremento na estabilidade dos agregados do solo na camada que vai de 0,2 a 0,4 m de profundidade, conferindo-lhes uma maior resistência às forças desintegradoras. Esse incremento foi de quase 5%, e isso pode estar relacionado ao fato de que, na camada mais profunda, os implementos agrícolas utilizados na área não exerçam tanta influência como na camada superficial, além de não sofrer ação direta das gotas d'água, já que a área não tem nenhum tipo de cobertura vegetal.

Para a maioria das variáveis, o modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos dados para definir parâmetros do semivariograma (TAB. 4). Esta seleção está de acordo com Carvalho et al. (2003), Souza et al. (2001) e Souza et al. (2004d,e) que encontraram estes mesmos modelos para variabilidade espacial de atributos físicos do solo. Para as variáveis areia,

silte, argila, argila dispersa em água, em ambas as profundidades e agregados estáveis na profundidade de 0-0,2 m, o modelo que melhor se ajustou foi o esférico. Sousa (1999), encontrou para as variáveis areia, silte e argila um melhor ajuste com o mesmo modelo. A variável grau de flocculação na camada subsuperficial apresentou um melhor ajuste com o modelo exponencial. Isto está em acordo com Kiliç et al. (2004) que, estudando a variabilidade de atributos físicos, encontraram para o silte o mesmo modelo.

As variáveis grau de flocculação, para 0-0,2 m e agregados estáveis, para 0,2-0,4 m de profundidade, apresentaram uma relação efeito pepita-patamar de 100%, ou seja, os valores do efeito pepita e do patamar coincidiram, caracterizando assim o fenômeno denominado de efeito pepita puro (EPP), onde o alcance é nulo e não há dependência espacial entre as amostras, podendo-se inferir que a variabilidade é máxima para esta variável e que os pontos são independentes entre si, atendendo o requisito básico para a aplicação da estatística clássica que, nesse caso, pode ser utilizada sem restrições.

O silte, para a camada subsuperficial apresentou um efeito pepita próximo de 0%, indicando que o erro experimental é praticamente nulo e que não existe variação significativa a distâncias menores que a amostrada.

A classificação do grau de dependência espacial foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar, sendo considerado forte se a razão for  $\leq$  25%, moderada quando  $>$  25% e  $<$  que 75%, fraca de  $\geq$  75% e  $<$  100% e independente se a razão for igual a 100% (GUIMARÃES, 2001). Assim, todas as variáveis

**Tabela 4** - Parâmetros dos semivariogramas isotrópicos das propriedades físicas analisadas

ATRIBUTOS							
Atributos do Solo	Classe <sup>a</sup>	Modelo	Efeito Pepita C <sub>0</sub>	Patamar C <sub>0</sub> + C	Alcance A <sub>0</sub>	ER <sup>b</sup> (%)	R <sup>2</sup>
Areia (g kg <sup>-1</sup> )							
0-0,2 m	F	Esférico	1,0000	16230	27,42	0,06	0,986
0,2-0,4 m	M	Esférico	1033,0	40040	35,06	25,79	0,947
Silte (g kg <sup>-1</sup> )							
0-0,2 m	F	Esférico	23,700	132,00	05,25	17,95	0,475
0,2-0,4 m	F	Esférico	0,0184	0,0832	51,00	22,11	0,767
Argila (g kg <sup>-1</sup> )							
0-0,2 m	F	Esférico	80,000	1174,0	21,64	6,81	0,979
0,2-0,4 m	F	Esférico	754,00	3093,0	33,98	24,37	0,947
Argila Disp. Água (g kg <sup>-1</sup> )							
0-0,2 m	F	Esférico	6,4000	65,380	03,15	9,78	0,457
0,2-0,4 m	M	Esférico	85,600	251,30	11,77	34,06	0,888
Grau de Flocculação (g kg <sup>-1</sup> )							
0-0,2 m	I	EPP <sup>c</sup>	5073,4	5073,4	-	100,00	-
0,2-0,4m	F	Exponencial	552,00	2795,0	2,75	19,74	0,508
Agregados Estáveis (g kg <sup>-1</sup> )							
0-0,2 m	F	Esférico	2680,0	12107,0	46,95	22,13	0,891
0,2-0,4 m	I	EPP	4985,7	4985,7	-	100,00	-

<sup>a</sup> Classe Espacial: F, forte dependência espacial; M, moderada dependência espacial; I, ausência de dependência espacial (efeito pepita puro); <sup>b</sup> Efeito Pepita Relativo "Nugget ratio" =  $[C_0/C_0 + C] \times 100$ ; Para o silte (profundidade 0,2-0,4 m), foram realizadas transformações logarítmicas; (log (g Kg<sup>-1</sup>)); <sup>c</sup> EPP = Efeito Pepita Puro

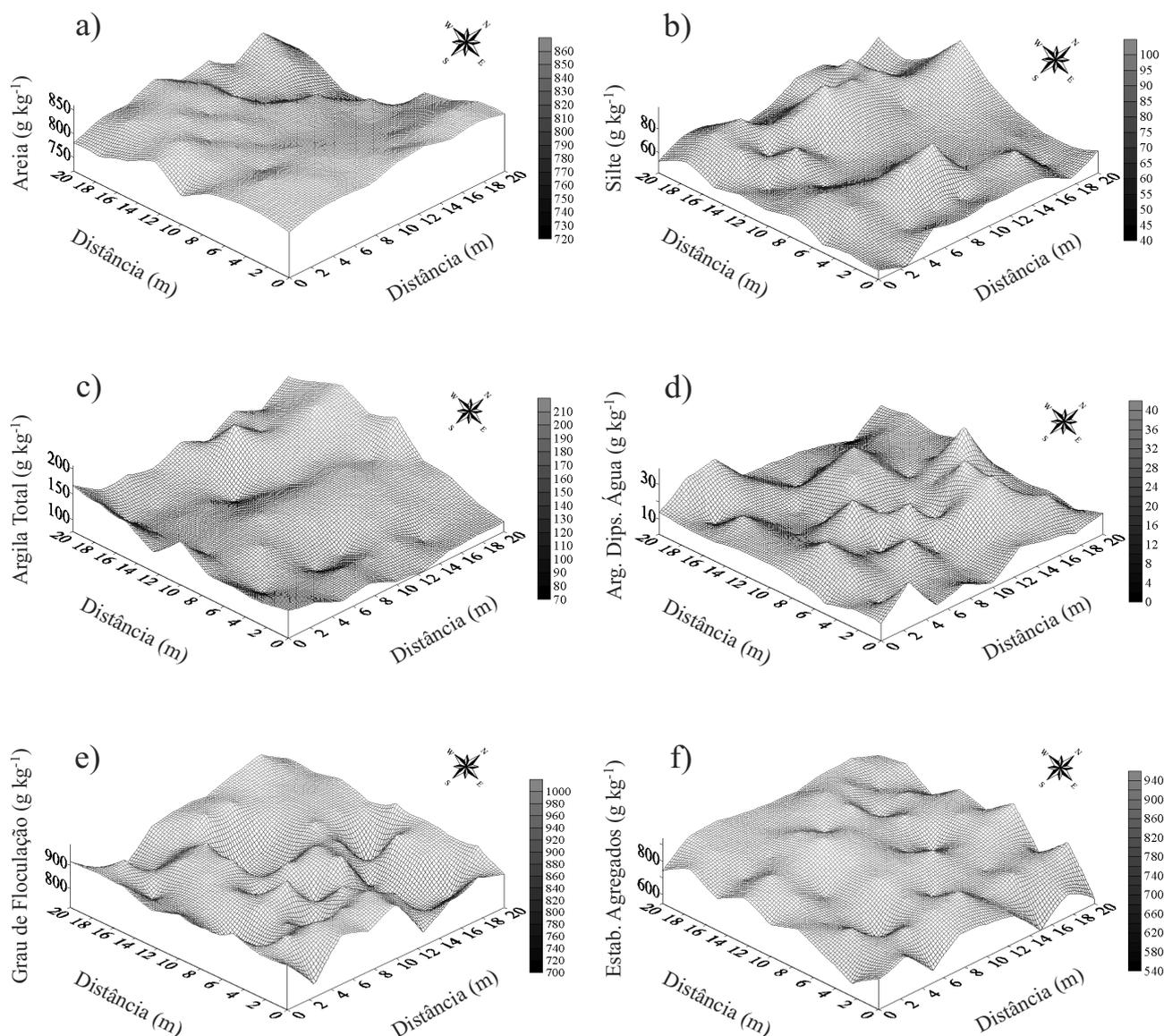
apresentaram um grau de dependência espacial forte, i.e., o efeito pepita está próximo à origem, moderado ou independente. Nas quais, para silte e argila total apresentaram dependência espacial forte para ambas as profundidades e areia, argila dispersa em água e agregados estáveis, apresentaram a mesma dependência para a profundidade de 0-0,2 m, ainda grau de flocculação para a profundidade de 0,2-0,4 m. Em se tratando de um Argissolo e sabendo-se que é um solo autóctone, as variáveis granulométricas têm ligações pedogenéticas, isto justifica o fato destas variáveis, apresentarem uma forte dependência espacial, salvo o teor de areia na profundidade 0,2-0,4 m que, mesmo assim, ficou muito próximo de forte (25,79%).

A maior parte das variáveis que apresentaram um alcance maior que a área de estudo, se encontra na camada subsuperficial. Isto provavelmente está relacionado com o uso de máquinas agrícolas, pois a camada mais profunda tende a sofrer menor impacto de agentes externos, permanecendo em repouso. O alcance

máximo para o silte na camada inferior foi de 51,00 m, seguido dos agregados estáveis na camada superficial com 46,95 m e teor de areia na camada subsuperficial com 35,06 m.

Na camada superficial, o alcance para as variáveis areia, silte e argila, foi de 27,42 m, 5,25 m e 21,64 m, respectivamente. Trabalhando numa área de mesma classificação textural, na região Norte Fluminense, com 250.000 ha, Farias (2008) encontrou o mesmo comportamento para estas variáveis.

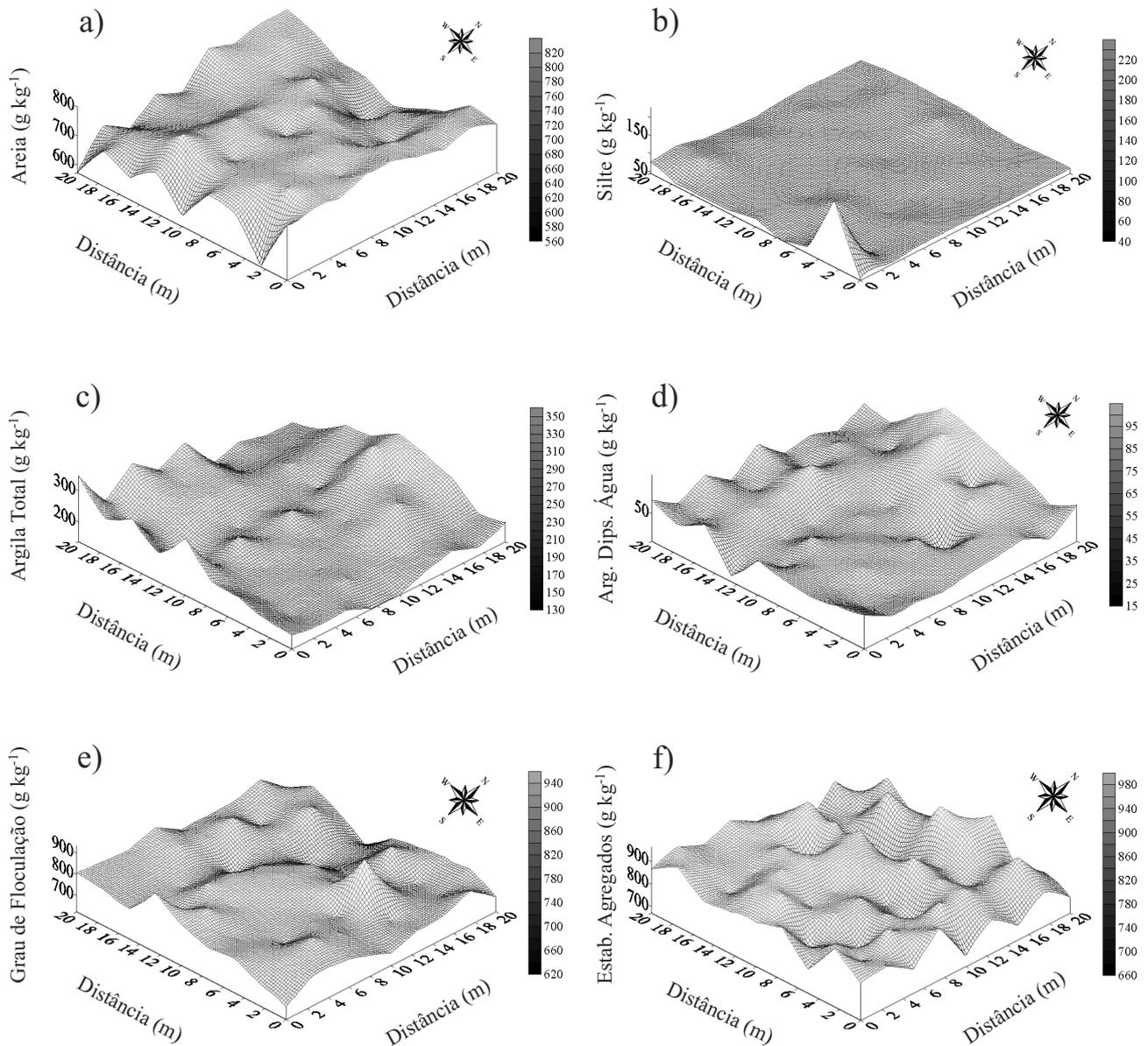
Após o cálculo da semivariância, o passo seguinte foi a confecção dos mapas de superfície, o semivariograma. Além de mostrar a dependência espacial, os semivariogramas serviram como ferramenta básica para a interpolação dos dados e confecção dos mapas de superfície utilizando o software Surfer 8.0. Foi a partir dos mapas (FIG. 2 e 3) que se pôde observar o comportamento das variáveis dentro da área de estudo.



**Figura 2** - Distribuição espacial das variáveis areia, silte, argila, argila dispersa em água, grau de floculação e agregados estáveis na profundidade de 0-0,2 m

Nota-se que os mapas das variáveis areia (FIG. 2a), silte (FIG. 2b) e argila total (FIG. 2c) na profundidade de 0-0,2 m, apresentaram valores entre 720 e 860  $\text{g kg}^{-1}$ , 40 e 100  $\text{g kg}^{-1}$  e 70 e 210  $\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente. Na profundidade de 0,2-0,4 m, para as mesmas variáveis (3a, 3b e 3c), os valores variaram entre 560 e 820  $\text{g kg}^{-1}$ , 40 e 230  $\text{g kg}^{-1}$  e 130 e 350  $\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente. A variável areia (0,2-0,4 m) apresentou a maior amplitude, sendo de 260  $\text{g kg}^{-1}$  tendo a mesma variável uma diminuição com o incremento da profundidade com seu pico passando de 860 para 800  $\text{g kg}^{-1}$ . No entanto, obtiveram-se os maiores valores em ambas as profundidades quando comparado com as outras

duas variáveis granulométricas que seguiram tendência contrária. Percebe-se que na porção Sudeste e Nordeste, de coordenadas 4 x 2 m e 19 x 2 m, respectivamente, os teores de areia foram mais elevados na profundidade de 0-0,2 m e na porção Noroeste para profundidade 0,2-0,4 m. As variáveis areia e argila total, para as duas profundidades, se comportaram de forma inversa, onde nos picos de argila pôde-se observar as maiores depressões nos teores de areia. Para profundidade de 0,2-0,4 m, observa-se que o silte (FIG. 3b), apresentou uma distribuição uniforme, exceto nas coordenadas 2 x 4 m, bem onde se encontrou os menores valores de areia e argila total.



**Figura 3** - Distribuição espacial das variáveis areia, silte, argila, argila dispersa em água, grau de floculação e agregados estáveis na profundidade de 0,2-0,4 m

As variáveis argila dispersa em água (FIG. 2d e 3d) e grau de floculação (FIG. 2e e 3e) apresentaram uma relação espacial inversa. Os picos nos teores de argila naturalmente dispersa encontram-se distribuídos por toda área. No entanto, seus maiores valores observados foram onde a argila não se encontrava floculada. Isto pôde ser verificado na porção central tendendo para o Norte, na profundidade de 0-0,2 m (FIG. 2e) e na porção Norte, na profundidade de 0,2-0,4 m (FIG. 3e).

O mapa da variabilidade espacial relacionado aos agregados estáveis, apresentou valores entre 540 e 940 g kg agregados<sup>-1</sup>, para profundidade de 0-0,2 m (FIG. 2f) e

660 a 980 g kg agregados<sup>-1</sup> (FIG. 3f) para a profundidade subsequente. Observa-se que a maior amplitude se deu nos agregados estáveis que se encontravam na camada mais subsuperficial, isto está relacionado ao fato dos agregados da referida camada apresentarem-se mais estáveis.

## Conclusões

1. A variável grau de floculação na camada de 0-0,2 m e agregados estáveis na camada de 0,2-0,4 m apresentaram

efeito pepita relativo de 100% (efeito pepita puro), havendo independência entre os pontos amostrados;

2. Houve predomínio do grau de dependência espacial forte para as variáveis analisadas, tanto para aquelas influenciadas pelos fatores de formação do solo, como aquelas influenciadas por fatores externos;
3. Os maiores alcances foram observados na camada de 0,2-0,4 m, onde o solo sofreu menor revolvimento mecânico.

## Agradecimentos

Os autores agradecem publicamente ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsa ao primeiro autor. Agradecem ainda ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará pela liberação de verbas para pesquisa. Aos doutores Ricardo Espíndola Romero e José de Arimatéia Duarte de Freitas pelas sugestões e ao estudante de pós-graduação Helon Hébano Freitas pela ajuda em campo.

## Referências

- CAMPOS, M. C., *et al.* Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 02, p. 149-157, 2007.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP) **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 04, p. 695-703, 2003.
- CUNHA, P. *et al.* Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma seqüência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 81-90, 2005.
- EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 06, n. 02, p. 242-246, 2002.
- EMPRESABRASILEIRADEPESQUISAAGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação - SPI. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FARIAS, L. N. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos dos solos da região Norte Fluminense**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-Size Analysis. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. American Society of Agronomy, 1986. p.383-411.
- GOLDEN SOFTWARE. SURFER for windows. Realese 8.0. **Contouring and 3D surface mapping for scientists't engineers**. User's Guide. New York: Golden software, Inc., 2006.
- GUIMARÃES, E.C. **Geostatística básica e aplicada**. Uberlândia, 2001. 48p.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. A. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., **Methods of soil analysis**. 2. ed. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America Journal, 1986. p.425-422.
- KILIÇ, K.; ÖZGÖZ, E.; AKBAS, F. Assessment of spatial variability in penetration resistance as related to some soil physical of two fluvents in Turkey. **Soil & Tillage Research**, v.76, p.1-11, 2004.
- LEÃO, A. B. *et al.* Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 01, p. 1-6, 2007.
- LEMOES FILHO, L. C. A. *et al.* Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 02, p. 193-202, 2008.
- LIMA, J. A. G., *et al.* Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 02, p. 192-199, 2006.
- MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do deserto salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 01, p. 19-27, 2008.
- NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W.; ERH, K. T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. **Hilgardia**, v. 42, p. 215-260, 1973.
- PERIN, A. *et al.* Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 713-720, 2002.
- SILVEIRA, P. M. *et al.* Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.
- SOUSA, J.R. **Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano**. 1999. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A. Variabilidade espacial do fósforo, potássio e da necessidade de calagem numa área sob pastagem. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 03, p. 384-391, 2008.
- SOUZA, Z. M. *et al.* Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 02, p. 309-319, 2004a.

- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 937-944, 2004b.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.491-499, 2004c.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Revista Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 05, p. 491-499, 2004d.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedoforma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 09, n. 01, p. 1-11, 2004e.
- SOUZA, Z. M. *et al.* Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 03, p. 669-707, 2001.
- STATSOFT for windows, versão 5.0. Tulsa, 1999.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., **Applications of soil physics**. San Diego: Academic Press, 1980. p.319-345.
- 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, p41-49, 2006.
- YOUNG, F. J.; HAMMER, R. D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. **Science Society American Journal**, v. 64, p. 989-998, 2000.