

# SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

## AMOSTRAGEM E VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM MOSSORÓ, RN<sup>(1)</sup>

Joaquim Amaro Filho<sup>(2)</sup>, Ronnie Fábio Delmiro de Negreiros<sup>(3)</sup>, Raimundo Nonato de Assis Júnior<sup>(4)</sup> & Jaedson Cláudio Anunciato Mota<sup>(5)</sup>

### RESUMO

Os solos, mesmo aqueles considerados homogêneos, exibem alguma variabilidade espacial e temporal em seus atributos físicos, químicos e biológicos. A definição dessa variabilidade é muito importante para um eficiente manejo do solo. Este trabalho objetivou estudar a variabilidade espacial de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho, em Mossoró-RN, a fim de estabelecer o melhor procedimento na coleta de amostras de solo. Em uma área com dimensões de 100 x 100 m, marcada a cada 10 m em duas direções perpendiculares entre si, fez-se a coleta de amostras de solo na camada de 0,0–0,2 m de profundidade, totalizando 100 amostras. As análises compreenderam granulometria, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e retenção de água nas tensões de 0,033 e 1,500 MPa. Os dados foram analisados por estatística descritiva e geoestatística. Concluiu-se que a variabilidade do solo, medida pelo coeficiente de variação, mostrou-se baixa para areia, densidade do solo, densidade de partículas e volume total de poros e média para silte, argila, capacidade de campo e ponto de murcha permanente; a maioria das variáveis analisadas segue distribuição normal de frequências, excetuando-se areia, densidade do solo e volume total de poros; o mapeamento das variáveis estudadas sugere o estabelecimento de subáreas homogêneas, a fim de tornar o manejo dos recursos mais eficiente, especialmente o de água.

**Termos de indexação:** física do solo, geoestatística, krigagem, agricultura de precisão.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em dezembro de 2004 e aprovado em março de 2007.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Caixa Postal 137, CEP 59625-970 Mossoró (RN). E-mail: jamaro@ufersa.edu.br

<sup>(3)</sup> Engenheiro-Agrônomo, UFERSA.

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará – UFC. Campus do PICI, Bloco 807, CEP 60021-970 Fortaleza (CE). E-mail: assisjr@ufc.br

<sup>(5)</sup> Engenheiro-Agrônomo, Ms. UFERSA. E-mail: jaedsonmota@yahoo.com.br

**SUMMARY:** *SAMPLING SIZE AND SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL ATTRIBUTES OF AN ARENIC KANDIUSTULTS IN MOSSORÓ, RIO GRANDE DO NORTE STATE, BRAZIL*

*The soils, some those considered homogenous, show some spatial and temporal variability of its physical, chemical and biological attributes. To define this variability is very important to efficient soil management. This study had the objective of investigating the spatial variability of some physical attributes of an Red Latosol in Mossoró, state of Rio Grande do Norte, Brazil, to determine the best procedure for soil sampling. Soil samples were collected on a 100 x 100 m area, in 10 m grid marking, from the 0–0.2 m soil layer, totaling 100 samples. The following soil attributes were analyzed: particle size, bulk density, particle density, total porosity, and water retention at tensions of 0.033 and 1,500 MPa. The data were analyzed through descriptive statistics and geostatistics. Results indicated that soil variability, measured by the coefficient of variation, was low for sand, bulk density, particle density and total porosity and intermediary for silt, clay, field capacity, and permanent wilting point. The distribution frequency for most analyzed variables was normal, with exception of sand, bulk density and total porosity. The mapping of the studied variables suggested that the establishment of homogeneous subareas would make the natural resources management, especially of water, more effective.*

*Index terms: soil physics, geostatistics, kriging, precision agriculture.*

## INTRODUÇÃO

O solo, normalmente, por mais uniforme que seja, apresenta variações nos atributos físicos e químicos. Mesmo em áreas consideradas homogêneas, até pertencentes a uma mesma classe de solo, existe variação espacial de determinados atributos a curtas distâncias, em grau suficiente para interferir na produtividade das culturas. Considerando que essa variabilidade deve, necessariamente, ser incorporada aos procedimentos e técnicas aplicados na agricultura, faz-se necessário conhecê-la para otimizar a aplicação de corretivos, fertilizantes, água, etc. e reduzir as despesas com coletas de amostras no campo e, conseqüentemente, com análises laboratoriais. Em se tratando de ensaios no campo, o conhecimento sobre a variabilidade é importante porque, em muitos casos, ela pode influenciar a interpretação de efeitos de tratamentos (Silva et al., 2003).

Em razão dessa variabilidade, é necessário estabelecer um critério rigoroso de amostragem que permita, a partir de técnicas de amostragem, extrair informações representativas de uma determinada área com nível de segurança preestabelecido. Sabe-se que, do erro total que possa vir embutido em um resultado analítico, 80–85 % são atribuídos à amostragem no campo e apenas 15–20 % aos procedimentos de laboratório (Embrapa, 1999a; Montesinos et al., 2002).

A fim de determinar o número necessário de amostras para representar uma variável do solo, a maioria dos estudos parte do pressuposto de que as amostras são independentes e que o número delas é grande o suficiente para se aplicar o teorema do limite central, ou assume-se que a variável amostrada tem

distribuição normal. O procedimento consiste em coletar, ao acaso, certo número de amostras individuais, analisar, calcular a média e o coeficiente de variação dos dados, encontrar o valor tabelado do “t” de Student, estabelecer a diferença permitida em torno da média e calcular o número mínimo de amostras individuais a serem coletadas em futuras amostragens (Warrick & Nielsen, 1980).

A aplicação das ferramentas da estatística clássica de Fisher na experimentação agrícola, com a finalidade de empregar testes para contrastes entre tratamentos, está vinculada à observação das pressuposições básicas da análise de variância, isto é, que exista independência entre as observações, independência e homogeneidade entre os erros das observações, aditividade dos efeitos e normalidade dos resíduos (Ortiz, 2004). Entretanto, vários estudos têm demonstrado que a variabilidade das propriedades do solo apresenta dependência espacial, ou seja, o valor em qualquer ponto amostrado depende, de algum modo, de seu vizinho (Vieira, 1997; Carvalho et al., 2001; Eguchi, 2002; Sousa et al., 2004).

Enquanto na estatística clássica as coletas de amostras são feitas ao acaso, ignorando-se sua posição geográfica, na geoestatística os locais de amostragem são importantes, porque se considera dependência espacial entre as medidas. Nesse contexto, a geoestatística é importante ferramenta a ser considerada, uma vez que é capaz de propiciar o desenvolvimento de técnicas para a amostragem e descrever a variabilidade das características do meio físico de um sistema (Libardi et al., 1986).

A partir dos dados amostrais, é possível gerar uma superfície contínua, expressa por mapas, por meio de

métodos de interpolação. Nesse caso, a geoestatística é usada como ferramenta auxiliar, visto que permite estabelecer um modelo de semivariograma que melhor descreve a variabilidade espacial dos dados, o qual é usado no processo de interpolação. É importante que o modelo ajustado represente a tendência da semivariância em relação à distância, sendo a krigagem o método de interpolação que confere maior exatidão às estimativas obtidas (Johann et al., 2004).

Em um semivariograma são estimados: (1) o efeito pepita ( $C_0$ ) - que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores que as amostradas, embora parte dessa descontinuidade possa ser devida a erros de medição; (2) o patamar ( $C_0 + C_1$ ) - que corresponde ao valor da semivariância correspondente ao seu alcance; (3) o alcance ( $A_0$ ) - que corresponde à distância-limite da dependência espacial, a partir da qual as amostras são consideradas independentes e, por conseguinte, a estatística clássica pode ser usada sem restrição; e (4) a contribuição ( $C_1$ ) - que corresponde à diferença entre o patamar e o efeito pepita e representa a semivariância espacialmente estruturada (Cambardella et al., 1994).

O trabalho teve por objetivo estudar a variabilidade espacial de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho do município de Mossoró, RN, a fim de estabelecer o melhor procedimento na coleta de amostras de solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada está inserida no município de Mossoró, RN, com altitude de aproximadamente 13 m e relevo plano. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h', caracterizado por ser muito quente e semi-árido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono. A média pluviométrica é de 677 mm ano<sup>-1</sup> (Amaro Filho, 1991). Como a evaporação é sempre maior que a precipitação, as águas pluviais não são suficientes para formar mananciais perenes. A temperatura média anual é de 27,6 °C (Chagas, 1997; SERHID, 2001). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico psamítico (Embrapa, 1999b) e cultivado com meloeiro. As operações para preparo do solo são mecanizadas e seguem o modelo convencional, ou seja, aração e gradagem após cada ciclo da cultura. Os tratamentos culturais e a colheita também envolvem maquinaria e implementos agrícolas.

Selecionou-se uma área de 1 ha, com dimensões de 100 x 100 m, marcada a cada 10 m em duas direções perpendiculares entre si, totalizando 100 pontos (Figura 1). Em cada ponto fez-se a coleta de uma amostra deformada de solo na camada de 0,0–0,2 m de profundidade. As amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório de Física do Solo, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

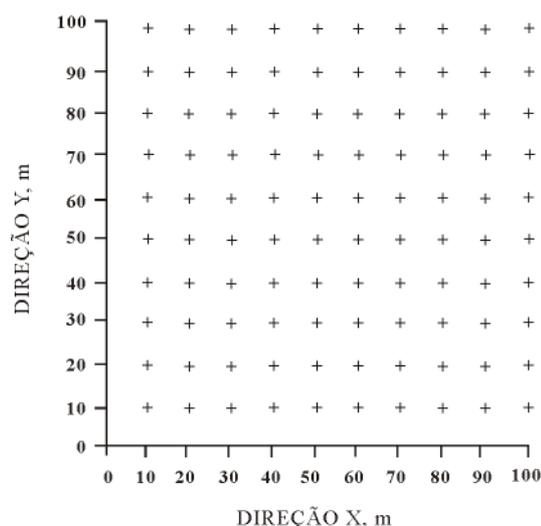


Figura 1. Croqui da área experimental (sinais + indicam os pontos amostrados).

A distribuição granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986), com dispersão de 20 g de terra fina seca ao ar com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>. As areias foram separadas em peneira de malha com 0,053 mm de diâmetro. A argila foi separada por sedimentação, com base na lei de Stokes, sendo o silte determinado por diferença. A densidade do solo ( $\rho_{\text{solo}}$ ) foi determinada pelo método da proveta (Embrapa, 1997). Para densidade de partículas ( $\rho_{\text{partículas}}$ ) utilizou-se o método do balão volumétrico, segundo Blake & Hartge (1986). O volume total de poros foi determinado de maneira indireta, pela equação VTP =  $[1 - (\rho_{\text{solo}}/\rho_{\text{partículas}}) \times 100]$ , proposta por Vomocil (1965). A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) foram determinados em extrator de placa porosa de Richards, nas tensões de 0,033 e 1,500 MPa, respectivamente (Klute, 1986).

Os dados foram analisados pela estatística descritiva clássica e geoestatística. Na análise descritiva foram determinados os valores mínimo e máximo, moda, média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose, usando o *software* Statística 5.0 (StatSoft, 1999). A hipótese da normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 5 %. Os dados que não se ajustaram à distribuição normal foram transformados em  $\sqrt{x}$  e submetidos a novo ajuste (*software* MINITAB® Release 14.20, 2005).

A partir dos dados obtidos na análise estatística descritiva, determinou-se o número de amostras a serem coletadas no campo para representar cada atributo estudado, levando em consideração o estabelecimento da percentagem de variação em torno da média (50, 40, 30, 20, 10, 5 e 3 %) e o nível de probabilidade (95 e 99 %), por meio da equação (Warrick & Nielsen, 1980):

$$N = (t_{\alpha}^2 \cdot s^2) \cdot d^{-2} \quad (1)$$

em que  $N$  é o número de amostras necessário em futuras amostragens;  $t$ , o valor tabelado da distribuição “t” de Student considerando o nível de significância ( $\alpha$ ) e o número de graus de liberdade com que se estimou a variância amostral;  $s$ , o desvio-padrão da amostra; e  $d$ , a variação aceitável em torno da média (corresponde ao produto entre a média aritmética e a percentagem de variação em torno dela).

A dependência espacial foi analisada por meio de ajuste de semivariograma, com o uso do *software* GS+ 5.0.3 Beta (Gamma Design Software, 2000), baseado nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca (Vieira, 2000), estimado por:

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

em que,  $\gamma^*(h)$  é a estimativa da semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados  $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ ,  $h$  é a distância entre pontos amostrais e  $N(h)$  é o número total de pares de pontos possíveis, dentro da área de amostragem, com a distância  $h$ . Os modelos de ajuste considerados para os semivariogramas foram estabelecidos considerando o melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ), segundo Vendrusculo (2003). A classificação do grau da dependência espacial foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar  $[C_0/(C_0 + C_1)]$ , expressa em percentagem, sendo considerada forte se a razão for  $\leq 25\%$ , moderada quando  $> 25\%$  e  $\leq 75\%$  e fraca se  $> 75\%$  (Cambardella et al., 1994). Os mapas de

distribuição espacial para as características estudadas foram obtidos por meio do *software* Surfer 7.0 (Golden Software, 1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela estatística descritiva dos dados (Quadro 1), observa-se que os valores das medidas de tendência central (moda, média e mediana) são relativamente semelhantes para a maioria das variáveis estudadas. Com base no critério de Warrick & Nielsen (1980) para classificar o coeficiente de variação – CV (baixo –  $CV < 12\%$ , médio –  $12\% < CV < 60\%$ , alto –  $CV \geq 60\%$ ), verificou-se que eles são baixos para as variáveis areia, densidade do solo, densidade de partículas e volume total de poros e médios para silte, argila, capacidade de campo e ponto de murcha permanente.

Quanto à normalidade dos dados, constatou-se pelo teste de Kolmogorov-Smirnov que as variáveis areia, densidade do solo e volume total de poros não se ajustam à distribuição normal de frequências, embora a média, moda e mediana apresentem valores próximos. Nesse caso, em razão da não-normalidade dos dados, assume-se que os desvios não são aleatórios e que a média não pode ser adotada como boa estimativa da tendência central dos valores da população, ou seja, a equação (1) não é adequada para

**Quadro 1. Medidas descritivas dos dados de variabilidade de atributos físicos do solo**

Medida descritiva	Variável							
	Granulometria			Densidade		Volume total de poros <sup>(1)</sup>	Retenção de água	
	Areia <sup>(1)</sup>	Silte	Argila	Solo <sup>(1)</sup>	Partícula		CC	PMP
	g kg <sup>-1</sup>			kg m <sup>-3</sup>		%	kg kg <sup>-1</sup>	
Máximo	30,66	80	120	38,99	2.740	7,31	0,13	0,04
Mínimo	28,46	10	20	35,07	2.530	6,46	0,04	0,01
Moda	30,33	30	50	35,92	2.600	6,60	0,07	0,02
Média	30,17	38	51	36,97	2.630	6,92	0,07	0,02
Mediana	30,33	40	50	36,33	2.630	7,03	0,07	0,02
Desvio-padrão	0,41	15,90	16,10	1,27	40,00	0,27	0,02	0,007
CV (%)	1,36	41,80	31,60	3,44	1,50	3,90	28,60	35,00
Assimetria	-1,31	0,53	0,96	0,32	0,52	-0,34	0,46	0,18
Curtose	2,40	-0,49	2,51	-1,68	0,17	-1,52	-0,20	-0,13
Teste K-S	0,093	0,059	0,035	0,204	0,088	0,189	0,038	0,045
Valor p	0,039	> 0,150	> 0,150	< 0,010	0,057	< 0,010	> 0,150	> 0,150

<sup>(1)</sup> Dados transformados em  $\sqrt{x}$ ; CC: capacidade de campo (tensão de 0,033 MPa); PMP: ponto de murcha permanente (tensão de 1,5 MPa); K-S: valores experimentais do teste de normalidade kolmogorov-Smirnov; Valor P: níveis de significância.

definir o número de amostras a serem coletadas na área, uma vez que as pressuposições de estacionariedade e independência dos valores amostrais não foram confirmadas (Queiroz et al., 1997). Para melhor definição de como amostrar o solo para as três características em discussão, torna-se necessário o uso de ferramenta auxiliar – a geoestatística –, que define, como será visto adiante, a distância amostral a partir da qual a independência espacial das amostras passa a ser satisfeita.

Apesar de a estatística descritiva considerar os dados independentes espacialmente, fato não confirmado para as variáveis areia, densidade do solo e volume total de poros, Oliveira et al. (1999) consideram esse tipo de análise de grande importância, por permitir a identificação de dados atípicos, que podem exercer algum tipo de influência nas análises geoestatísticas, além de permitir comparação com resultados obtidos em outras investigações.

É importante ressaltar que, apesar de os Latossolos serem conceitualmente bastante intemperizados, portanto com características bastante estáveis no ambiente, foi constatada variabilidade considerável para determinados atributos, como silte, argila e água, na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. Sousa et al. (2004), também estudando um Latossolo Vermelho eutrófico no Estado de São Paulo, encontraram variabilidade para a granulometria, inclusive com dependência espacial.

A determinação do número de amostras necessário para estimar o valor de cada variável estudada, considerando os níveis de 95 e 99 % de probabilidade e erros de 50, 40, 30, 20, 10, 5 e 3 % em torno da média, encontra-se no quadro 2. Verifica-se que as variáveis silte, argila e retenção de água na capacidade de campo e ponto de murcha permanente são as que, em razão do elevado coeficiente de variação que apresentaram (Quadro 1), requerem maior número de amostras para

um mesmo erro em torno da média. Macedo et al. (1998), que obtiveram resultados semelhantes para a variável argila de um Podzólico, atribuíram o fato aos baixos teores dessa componente granulométrica, fazendo com que pequenas alterações gerassem altos coeficientes de variação. Como os conteúdos de silte e argila também são bastante baixos para o solo discutido, os quais têm relação direta com a retenção de água, boa parte da variabilidade observada pode ter a mesma explicação.

Considerando a necessidade de reduzir o número de coletas de amostras no campo sem, contudo, imprimir aos resultados um erro elevado em torno da verdadeira média populacional, é admissível que um erro de até 20 % em torno da média para solos arenosos (Montesinos et al., 2002) torna o processo econômico e tecnicamente viável. Posto isso, para 20 % de erro em torno da média, com 95 e 99 % de probabilidade, seriam necessárias coletas de, respectivamente, 18 e 31 amostras para estimar a média do atributo que apresentou maior variabilidade – a fração silte. Saraiva et al. (1992) consideraram satisfatória a coleta de 32 amostras para fins de análise granulométrica de um Podzólico Vermelho-Amarelo.

Os modelos de ajuste para os semivariogramas, com os respectivos parâmetros, encontram-se no quadro 3. Para as variáveis areia, argila e capacidade de campo, ajustou-se o modelo linear, enquanto silte, densidade de partículas e ponto de murcha permanente apresentaram melhor ajuste com o modelo exponencial. As variáveis densidade do solo e volume total de poros foram ajustadas ao modelo esférico. É importante ressaltar que o efeito pepita permite verificar o grau de descontinuidade da variação dos dados a distâncias menores que as amostradas. O patamar é alcançado quando a variância da diferença entre os pares de dados se torna constante entre estes, ou seja, no patamar a

**Quadro 2. Número de amostras de acordo com o nível de probabilidade e o erro estimado**

Variável	Nível de probabilidade (%) e erro estimado em torno da média (%)													
	95							99						
	50	40	30	20	10	5	3	50	40	30	20	10	5	3
Areia	1	1	1	1	1	2	4	1	1	1	1	1	3	6
Silte	3	5	8	18	69	275	763	5	8	14	31	121	481	1.336
Argila	2	3	5	10	40	157	435	3	5	8	18	69	275	7.62
Densidade do solo	1	1	1	1	2	8	21	1	1	1	1	4	14	37
Densidade de partículas	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3
Volume total de poros	1	1	1	1	3	9	25	1	1	1	1	4	16	44
Capacidade de campo	2	3	4	9	36	142	394	3	4	7	16	63	249	690
Ponto de murcha permanente	2	3	6	13	49	193	536	4	6	10	22	85	339	940

semivariância é aproximadamente igual à variância total dos dados. Para Cambardella et al. (1994), o patamar é importante na determinação do alcance, isto é, do limite entre a dependência e a independência espacial entre as amostras, sendo de grande utilidade para escolha do método estatístico a ser usado na análise dos dados, bem como na definição da distância mínima entre os pontos amostrais para garantia da independência entre amostras.

A análise da relação  $[C_0/(C_0 + C_1)]$  evidenciou que existe forte dependência espacial para as variáveis silte, densidade do solo e volume total de poros, com alcances, respectivamente, de 30,3, 104,6 e 100,2 m. Já as variáveis densidade de partículas e ponto de murcha permanente mostraram dependência espacial moderada, com distâncias a partir das quais as amostras são independentes, da ordem de 32,1 e 39,9 m, respectivamente. Por sua vez, areia, argila e capacidade de campo apresentaram dependência espacial fraca, com alcance de 93,5 m. Evidentemente, essas variações no grau de dependência espacial são resultantes de fatores naturais de formação do solo e de fatores antrópicos (manejo, por exemplo), devendo ser levadas em consideração por ocasião da coleta de amostras no campo.

Os mapas de distribuição espacial (Figura 2) foram obtidos por interpolação (krigagem), a partir dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas, a fim de estimar valores em locais não amostrados. Para as variáveis areia, silte, argila, densidade de partículas, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, verificou-se, uma distribuição espacial em que não há variação que caracterize aumento ou diminuição do valor de um determinado atributo em uma dada direção, seja X ou Y.

Por outro lado, a densidade do solo e o volume total de poros apresentaram comportamento bastante diferenciado na direção X da área estudada. Até a distância de aproximadamente 40 m do marco inicial, os valores de densidade do solo são relativamente elevados e distribuídos de modo uniforme. A maior variabilidade para o referido atributo foi observada entre 40 e 50 m a partir do ponto inicial da direção X. Valores mais baixos e distribuídos uniformemente foram observados desde os 50 até os 100 m da área estudada, também na mesma direção. Como o volume total de poros tem relação inversamente proporcional com a densidade do solo, a distribuição para essa variável apresentou-se de modo inverso à observada na densidade do solo. Para essas duas propriedades, uma amostragem feita ao acaso falharia em apresentar as variações encontradas e esconderia uma variação que existe e deve ser considerada. Assim, esse comportamento sugere a divisão da área em duas, considerando a direção X, para definir, em cada uma delas, além da coleta, manejos diferenciados, principalmente no que tange ao manejo da irrigação.

Em linhas gerais, constatou-se variabilidade espacial considerável na área amostrada, evidenciando, inclusive, que os Latossolos, apesar de serem definidos como solos relativamente estáveis no ambiente, apresentam variação espacial de seus caracteres. Entretanto, é importante ressaltar que, na definição clássica, não são considerados fatores externos que interferem no estereótipo da classe, principalmente os de origem antrópica. A camada estudada no presente trabalho (0,0–0,20 m) é a parte arável, portanto fortemente alterada pelo manejo; por isso, não exprime de forma fidedigna os caracteres inerentes à classe a que pertence.

**Quadro 3. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos das variáveis estudadas no solo**

Variável	Modelo	Efeito pepita ( $C_0$ )	Patamar ( $C_0 + C_1$ )	Alcance	$R^2$	GDE <sup>(1)</sup>	Dependência espacial
				( $A_0$ )			
Areia	Linear	582,71	582,71	93,54	0,429	100,00	Fraca
Silte	Exponencial	57,00	262,30	30,30	0,409	21,73	Forte
Argila	Linear	256,17	256,17	93,54	0,349	100,00	Fraca
Densidade do solo	Esférico	10,00	13660,00	104,60	0,989	0,07	Forte
Densidade de partículas	Exponencial	479,00	1736,00	32,10	0,851	27,59	Moderada
Volume total de poros	Esférico	0,01	19,81	100,20	0,991	0,05	Forte
Capacidade de campo	Linear	0,00041	0,00041	93,54	0,260	100,00	Fraca
Ponto de murcha permanente	Exponencial	0,000014	0,00005	39,90	0,736	28,00	Moderada

Grau de dependência espacial =  $[C_0/(C_0 + C_1)] \times 100$ .

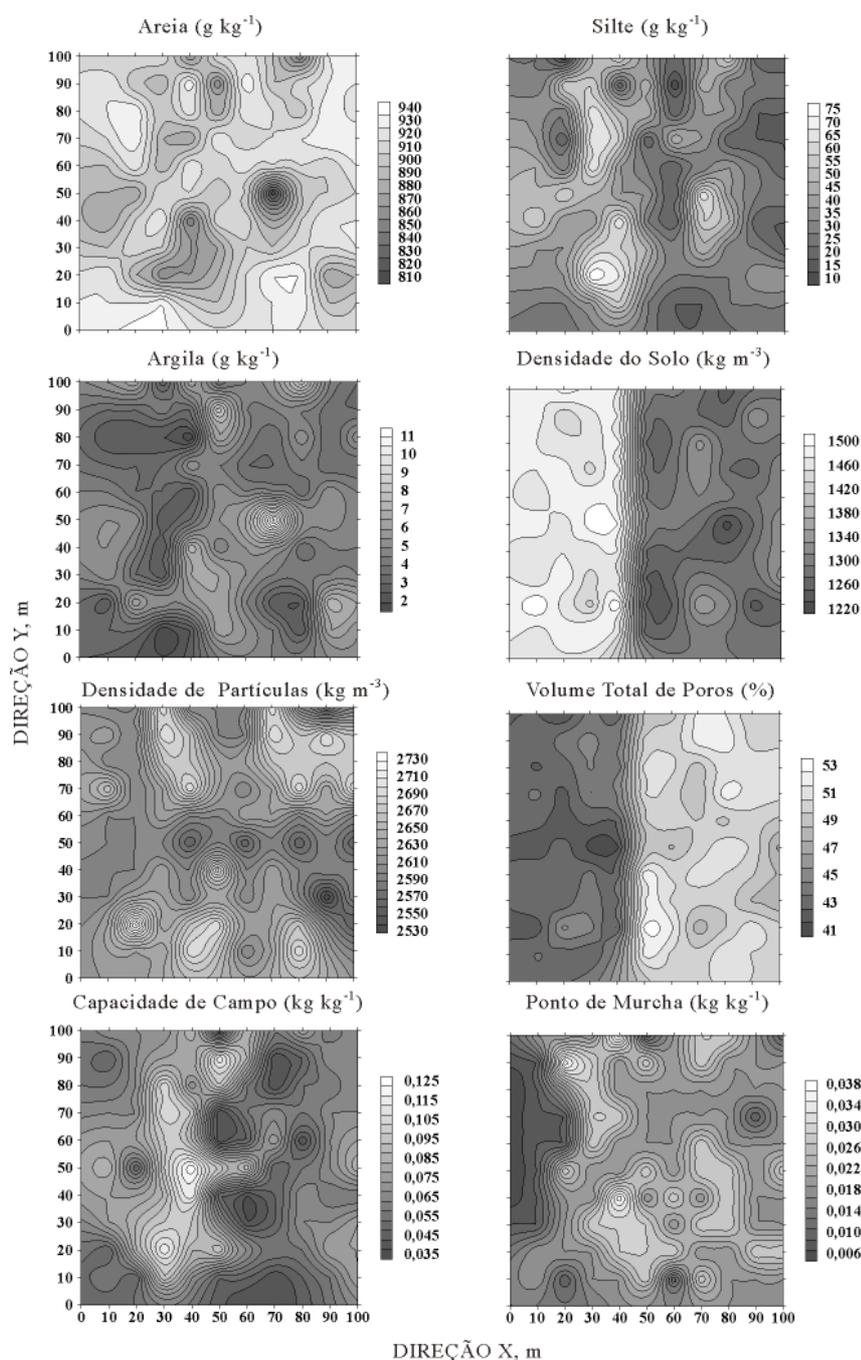


Figura 2. Distribuição espacial das variáveis estudadas no solo.

## CONCLUSÕES

1. A variabilidade do solo, medida pelo coeficiente de variação, é baixa para areia, densidade do solo, densidade de partículas e volume total de poros e média para silte, argila, capacidade de campo e ponto de murcha permanente.

2. A maioria das variáveis analisadas segue distribuição normal de freqüências, excetuando-se areia, densidade do solo e volume total de poros.

3. O mapeamento das variáveis estudadas sugere o estabelecimento de subáreas homogêneas, a fim de tornar o manejo dos recursos mais eficiente, especialmente o de água.

## LITERATURA CITADA

AMARO FILHO, J. Contribución al estudio del clima del Rio Grande do Norte. Madrid, ETSIA/UPM, 1991. 311p. (Tese de Doutorado)

- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt.1, p.377-382. (Agronomy Monography, 9)
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J.R.P.; VIEIRA, S.R.; MARINHO, P.R.; DECHEN, S.C.; MARIA, I.C.; POTT, C.A. & DUFRANC, G. Avaliação da variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo sob plantio direto em São Paulo – Brasil. Campinas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2001. (Comunicado Técnico, 12)
- CHAGAS, F.C. Normais climatológicas para Mossoró-RN (1970-1996). Mossoró, Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1997. 40p. (Monografia de Graduação)
- 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. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 6:242-246, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999a. 370p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999b. 412p.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. *Geostatistics for the environmental sciences (Version 5.0.3 Beta for Windows)*. Michigan, 2000.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt.1, p.383-411. (Agronomy Monography, 9)
- GOLDEN SOFTWARE. *Surfer for Windows, version 7.0: Software de geração de mapas de contorno e superfícies contínuas*. Colorado, 1999.
- JOHANN, J.A.; OPAZO, M.A.U.; SOUZA, E.G. & ROCHA, J.V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 8:212-219, 2004.
- KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt.1, p.635-662. (Agronomy Monography, 9)
- LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, C.L.; PAULETTO, E.A. & MORAES, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:85-90, 1986.
- MACEDO, J.R.; OTONNI FILHO, T.B. & MENEGUELLI, N.A. Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Seropédica, RJ. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:2043-2053, 1998.
- MINITAB® RELEASE 14.20. Minitab® Release 14.20 Statistical Software (Versão Demo for Windows), Pennsylvania, 2005.
- MONTESINOS, M.G.; CÁMARA, J.M.F.; TOMÉ, J.M.; CÁMARA, M.A.O.; GARCÍA, F.H.; VICENTE, R.M. & DÍEZ, M.B. Número de submuestras necesarias para la obtención de una muestra de suelo representativa. *Agríc. Vergel*, 241:9-18, 2002.
- OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L.H.G.; QUEIROZ, J.E. & LUNA, J.G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:783-789, 1999.
- ORTIZ, J.L. *Geostatística*. Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br/Artigos/Geostat.html>>. Acesso em 20 set. 2004.
- QUEIROZ, J.E.; GONÇALVES, A.C.; SOUTO, J.S. & FOLEGATTI, M.V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E. & MEDEIROS, J.F., orgs. *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande, 1997. p.69-111.
- SARAIVA, O.F.; ALVAREZ V., V.H. & COSTA, L.M. Variabilidade de algumas características físicas e químicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo cámbico distrófico. *R. Ceres*, 39:529-541, 1992.
- SERHID. Bacia 01 - Apodi-Mossoró. Disponível em <<http://www.serhid.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=137>>. Acesso em 22 ago. 2001.
- SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L. & FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1013-1020, 2003.
- SOUSA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & BARBIERI, D.M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutrófico sob cultivo de cana-de-açúcar. *Eng. Agríc.*, 24:309-319, 2004.
- STATSOFT. *Statistica for Windows versão 5.0*. Tulsa, 1999.
- VENDRUSCULO, L.G. Uso de índices de desempenho e do critério de Akaike para ajuste de modelos de semivariograma. Campinas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2003. (Comunicado Técnico, 58)
- VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos de uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). *Bragantia*, 56:181-190, 1997.
- VIEIRA, S.R. *Geoestatística em estudos de variabilidade espacial 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.
- VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1965. pt.1. p.299-314. (Agronomy Monography, 9)
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.