



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

VARIABILIDADE ESPACIAL DO pH, P, K e MO CULTIVADO COM SOJA SOB PREPARO CONVENCIONAL

José Marcílio da Silva¹

RESUMO

O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial do pH, fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica (MO) cultivado com soja em preparo convencional do solo, em solo argiloso, nas profundidades de 0-5 cm e 5-15 cm. O experimento foi conduzido em um talhão, em pontos de amostragem definidos segundo uma malha regular com dimensão de 30 x 45 m, totalizando 40 pontos espaçados 5 m. Análises estatísticas e geoestatística foram realizadas a fim de avaliar a variabilidade espacial e a presença de dependência espacial. Os atributos avaliados apresentaram forte dependência espacial na profundidade de 0-5 cm para o pH e P, moderada para o P na profundidade de 5-15 cm, fraca e forte dependência espacial para o K nas profundidades de 0-5 cm e 5-15 cm, respectivamente. A MO ajustou-se ao modelo esférico nas duas profundidades, com moderada dependência espacial.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill; geoestatística; dependência espacial; manejo do solo.

SPATIAL VARIABILITY OF pH, P, K AND MO WITH SOYBEAN CULTIVATION UNDER CONVENTIONAL-TILLAGE

ABSTRACT

This work was developed with the objective of evaluating the spatial variability of pH, phosphorus (P), potassium (K) and organic matter (MO) with soybean cultivation in soil conventional-tillage, in clayey soils, in depths of 0-5 cm and 5-15 cm. The experiment was carried in one plots in sampling points defined accordingly to a grid with dimension of 30 x 45 m, totaling 40 points spaced 5 m. Statistical and geostatistical analysis were performed to monitor the range of the spatial variability and its spatial dependence. The appraised attributes presented strong spatial dependence in the 0-5 cm depth for the pH and P, moderate for P in the depth of 5-15 cm, weak and strong spatial dependence for K in the 0-5 cm depths and 5-15 cm, respectively. The organic matter was adjusted to the spherical model in the two depths, with moderate spatial dependence.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill; geostatistic; spatial dependence; management soil.

Trabalho recebido em 06/01/2012 e aceito para publicação em 15/12/2012.

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, Dep. Tec. Rural, UFRPE. Recife, PE. Prof. do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), *Campus* Barreiros, Fazenda Sapé S/N Caixa Postal 21, Zona Rural, CEP 55560-000. e-mail: marciliocilo@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos é particularmente importante em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos. O uso da geoestatística constitui importante ferramenta na análise e descrição da variabilidade das propriedades do solo (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002), Permitindo a aplicação de insumos no local correto e na quantidade exata, promovendo o aumento da produtividade das culturas (CAVALCANTE et al., 2007), mostrando que a variabilidade do solo, através das técnicas geoestatísticas, não é puramente aleatória, ela apresenta correlação e também dependência espacial (SALVIANO et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1999). Portanto, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é importante para o refinamento das práticas de manejo do solo (CAMBARDELLA et al., 1994), auxiliando na escolha do manejo mais adequado a ser utilizado na área, em relação à aplicação de fertilizantes (SILVA e CHAVES, 2001).

Os sistemas agrícolas praticados nos solos sob vegetação de cerrado, apresentam baixos índices de produtividade das culturas, decorrentes do inadequado sistema de manejo do solo

adotado, interferindo diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas se desenvolverem. (SILVA, 2006). Os sistemas de preparo do solo modificam os atributos do solo por promoverem o revolvimento da camada superficial explorada pelas raízes e o acúmulo de matéria orgânica, interferindo diretamente na distribuição dos nutrientes ao longo do perfil do solo.

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) uma das espécies cultivadas mais antiga do mundo, tem sido conduzida com alto nível tecnológico em todas suas operações, constituindo-se em uma “commodity” de grande importância comercial para o desenvolvimento da agricultura brasileira, sendo cultivada em todas as regiões.

Os solos da região dos cerrados em condições naturais são bastante intemperizados, apresentam baixa disponibilidade de fósforo (P) e uma reserva insuficiente de potássio (K) para suprir a quantidade extraída pela cultura da soja por longo tempo (SOUZA et al., 1998).

O sistema de preparo convencional do solo (PC) promove maior aeração, quebra dos agregados do solo e a incorporação dos resíduos vegetais provocando rápida decomposição e perda do carbono orgânico no solo, assim como uma mineralização do nitrogênio e do fósforo orgânico existente no solo.

Normalmente, consiste na combinação de uma aração e duas gradagens feitas com a finalidade de criar condições favoráveis para o estabelecimento e desenvolvimento da cultura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos teores de pH, fósforo, potássio e matéria orgânica em um LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico cultivado com soja em preparo convencional no cerrado, sob a égide da estatística clássica e da geoestatística na análise dos dados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Monte Alegre, cujas coordenadas estão situadas geograficamente entre 17°29'24'' a 17°30'36'' de Latitude Sul (S) e 51°23'24'' a 51°24'36'' de Longitude Oeste (W), com altitude média de 748 m e topografia plana a levemente ondulada com declividade próximo de 3%. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima predominante na região é do tipo tropical de Savana (Aw), com precipitação média anual de 1.500 mm.

A área estava sendo cultivada com soja por quinze anos, sendo dez anos em monocultivo e nos últimos cinco anos a soja foi cultivada no verão e sucedida pelo milho na safrinha, sob plantio direto. Após este período, selecionou-se um talhão

onde foi realizado o preparo do solo, quatro meses antes da instalação da soja cultivar CD 219 RR, com auxílio de uma grade aradora na profundidade de aproximadamente 0,20 m e realizada a aplicação a lanço de 1,5 t ha⁻¹ do calcário calcítico, uniformemente em toda a área, com PRNT de 82% para elevar o teor de cálcio (Ca) para 2,5 cmol_c dm⁻³.

Foi realizado um levantamento por amostragem em uma malha regular (*grid*) com as dimensões de 30 x 45 m. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006), e amostrado nos pontos de cruzamento com intervalos regulares de 5 m, perfazendo um total de 40 pontos. O espaçamento de 5 m foi adotado para se garantir a existência de estacionaridade intrínseca e gerar um número mínimo de 30 pares para cada distância estudada, para utilizar a geoestatística (CRESSIE, 1991). Para cada ponto do *grid* foram coletados amostras de solo deformadas utilizando a pá de corte reta, pelo método regionalizado nas profundidades de 0-5 cm e 5-15 cm, segundo metodologia adotada por Silva (2006). Na caracterização química do solo foi determinada, a acidez ativa (pH em CaCl₂), o fósforo disponível (P) e potássio (K) pelo extrator Mehlich-1, e o teor de matéria orgânica (MO), conforme Embrapa (1997).

A análise descritiva das variáveis química do solo foi analisada pela estatística clássica, onde foram calculados a média, mediana, desvio padrão, valores mínimos e máximos, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Para análise da hipótese de normalidade dos dados foi utilizado o teste Shapiro-Wilk's (W) ao nível de 5% de probabilidade.

A dependência espacial foi realizada usando as técnicas da geoestatística, utilizando-se para o cálculo da semivariância a Equação 1, no *software* GS⁺ (ROBERTSON, 1998).

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

em que: $\gamma^*(h)$ é a semivariância estimada, obtida pelos valores amostrados $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$; $N(h)$ é o número de pares de valores medidos; h é a distância entre pontos amostrais.

No ajuste dos semivariogramas teóricos aos dados testaram-se os seguintes modelos: esférico, exponencial, gaussiano e linear. Os semivariogramas foram escalonados pela variância dos dados no sentido de padronizar a escala, determinando os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e

alcance (a). A escolha do modelo foi segundo a menor soma de quadrados dos resíduos, maior coeficiente de determinação múltipla (R^2) e da validação cruzada.

Com vistas à caracterização do grau de variabilidade espacial, analisaram-se valores de coeficiente de variação (CV) dos atributos, adotando critério de classificação sugerido por Warrick e Nielsen (1998), o qual considera baixa variabilidade para $CV < 15\%$; média para o intervalo ($15\% \leq CV < 50\%$) e alta variabilidade quando $CV \geq 50\%$. O grau de dependência espacial (RD) foi classificado segundo Cambardella et al. (1994), na qual um atributo pode ser considerado exibindo forte dependência espacial para valores inferiores a 25%; moderada entre 25% e 75% e acima de 75% baixa dependência espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Para as variáveis que apresentaram efeito pepita puro (EPP), ou seja, ausência de dependência espacial e aquelas com alcance reduzido realizou-se o teste t-Student ao nível de 5% de probabilidade, com intuito de comparar as médias de tais variáveis entre as duas profundidades estudadas.

Os mapas de distribuição espacial das variáveis foram elaborados de acordo Robertson (1998), através do *software* GS⁺ utilizando-se as informações provenientes

dos semivariogramas durante o processo de krigagem ordinária na interpolação das variáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise química do solo sob preparo convencional, obtidos através da forma regionalizada, a partir da média de 40 pontos de amostragem estão apresentados na Tabela 1. Com estes resultados observa-se que os atributos químicos pH, P, K e a MO apresentam valores maiores na profundidade de 0-5 cm do solo com diferença significativa em nível de 5% pelo teste t, sendo provavelmente favorecidos pela aplicação e incorporação do calcário e de melhores condições do espaço poroso do solo devido

ao seu revolvimento, ou seja, proporcionando melhor arejamento e homogeneização do seu perfil, disponibilizando maiores quantidades de cátions trocáveis e reduzindo a toxidez de Al. Segundo Bertol e Fischer (1997), o preparo do solo por meio de revolvimento proporciona maior rendimento de grãos de soja em relação a outras práticas como o plantio direto. De acordo com Souza et al. (1998) os valores encontrados para os atributos químicos avaliados neste trabalho, indicam que é necessário intensificar a prática de calagem e adubação fosfatada e potássica para obtenção de produções satisfatórias da cultura da soja, visando tornar o solo mais produtivo.

Tabela 1 - Análise química do solo sob preparo convencional nas profundidades de 0-5 cm e 5-15 cm.

| Profundidades (cm) | pH | P ⁽¹⁾ | K ⁺⁽¹⁾ | MO |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| | CaCl ₂ | mg dm ⁻³ | | g dm ⁻³ |
| 0 – 5 | 4,85 a | 9,34 a | 95,53 a | 38,59 a |
| 5 – 15 | 4,66 b | 8,45 b | 35,11 b | 36,88 b |

Medias seguida de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ Extrator Mehlich 1.

Os valores médios da análise descritiva para as variáveis estão apresentados na Tabela 2. As variáveis avaliadas apresentaram nas duas profundidades, coeficiente de assimetria

positivo com distribuição de frequência mesocúrtica, ou seja, apresentam média maior que a mediana; exceto o pH na profundidade de 0-5 cm. Resultados semelhantes foram reportados por Souza et

al. (2008) em trabalho realizado sobre fósforo, potássio e necessidade de calagem sob pastagem. Este resultado indica uma tendência para concentração de valores menor que a média, o que foi confirmado pelos valores da mediana menores que os valores médios, exceto para o pH nas duas profundidades e para K e MO na profundidade de 5-15 cm. Estas tendências são pequenas, uma vez que os valores da média e mediana estão próximos, indicando distribuição simétrica, o que pode ser confirmado pelos valores do coeficiente de assimetria próximos de zero.

Os atributos químicos pH nas duas profundidades e P e K na profundidade de 0-5 cm (Tabela 2), apresentaram coeficiente de curtose com valor positivo com distribuição de frequência leptocúrtica, mostrando uma tendência de maior homogeneidade das variáveis, com maior concentração em torno da média. Resultados semelhantes foram obtidos por Azevedo (2004) e Silva (2006). Os atributos químicos MO nas duas profundidades, o P e K na profundidade de 5-15 cm, apresentaram coeficiente de curtose com valor negativo, apresentando distribuição de frequência platicúrtica, demonstrando uma tendência de apresentar maior variabilidade em torno da média. Resultados semelhantes foram verificados por Souza et al. (2008).

A normalidade dos dados foi confirmada pelo teste Shapiro-Wilk's ($p < 0,05\%$). Segundo Carvalho et al. (2002), valores de assimetria e curtose de zero e três, indicam a normalidade dos dados, respectivamente. Entretanto, de acordo com Cressie (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que no gráfico de distribuição normal, os atributos não apresentem extremidades muito alongadas, o que poderia comprometer as análises. O fato da MO nas duas profundidades e o P na profundidade de 0-5 cm não apresentarem distribuição normal, fica evidente a importância da geoestatística no complemento da estatística clássica, neste caso a média não pode ser tomada como medida representativa da população amostral.

O maior coeficiente de variação (CV) foi observado para a variável P (35,74%) na profundidade de 5-15 cm. Adotando critério de classificação para o CV proposto por Warrick e Nielsen (1998), os valores mostraram-se médio ($15\% \leq CV < 50\%$) para P e K nas duas profundidades, e para pH e MO nas duas profundidades os valores apresentam baixa variabilidade ($CV < 15\%$). As maiores variabilidades, medidas através do CV, segundo Silva e Chaves (2001) foram observadas para o fósforo e matéria orgânica, enquanto que o potássio

apresentou moderada dependência espacial. Para Cavalcante et al. (2007) as maiores variabilidades medidas por meio do CV foram observadas para o fósforo e

potássio, sendo que a matéria orgânica apresentou CV médio nos diferentes usos e manejos do solo.

Tabela 2 – Análise estatística descritiva a partir da média de 40 pontos amostrados no preparo convencional nas profundidades de 0-5 cm e 5-15 cm.

| Variáveis | Média | Mediana | δ | Valores | | Coeficientes | | | W |
|---------------------------------------|-------|---------|----------|---------|--------|--------------|----------------|----------------|----|
| | | | | Mínimo | Máximo | CV | C _s | C _k | |
| Profundidade de 0-5 cm | | | | | | | | | |
| pH (CaCl ₂) | 4,85 | 4,90 | 0,20 | 4,30 | 5,30 | 4,12 | -0,32 | 0,27 | * |
| P (mg dm ⁻³) | 9,34 | 8,94 | 2,74 | 5,50 | 16,68 | 29,34 | 1,00 | 0,64 | ** |
| K ⁺ (mg dm ⁻³) | 95,53 | 93,8 | 22,78 | 54,70 | 156,40 | 23,85 | 0,92 | 0,54 | * |
| MO (g dm ⁻³) | 38,59 | 37,10 | 2,55 | 34,00 | 42,80 | 6,61 | 0,27 | -1,00 | ** |
| Profundidade de 5-15 cm | | | | | | | | | |
| pH (CaCl ₂) | 4,66 | 4,70 | 0,17 | 4,30 | 5,20 | 3,65 | 0,45 | 1,88 | * |
| P (mg dm ⁻³) | 8,45 | 8,10 | 3,02 | 2,81 | 15,41 | 35,74 | 0,45 | -0,07 | * |
| K ⁺ (mg dm ⁻³) | 35,11 | 35,20 | 7,96 | 19,60 | 54,70 | 22,67 | 0,08 | -0,26 | * |
| MO (g dm ⁻³) | 36,88 | 36,90 | 2,65 | 32,70 | 42,80 | 7,19 | 0,26 | -0,50 | ** |

δ : Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; C_s: Coeficiente de assimetria; C_k: Coeficiente de curtose; *: Distribuição normal; e **: Distribuição não definida pelo teste Shapiro-Wilk's ao nível de 5% de probabilidade.

Na análise geoestatística dos atributos avaliados, foram usados os semivariogramas escalonados, onde se verifica diferentes graus de dependência espacial.

Observa-se na Figura 1, na profundidade de 0-5 cm que os teores de pH e P apresentam forte dependência espacial, ajustando-se ao modelo esférico com um alcance de 23,7 m para o pH, e os semivariogramas construídos para o P se

ajustaram ao modelo exponencial com alcance de 11,5 m, estando de acordo com os resultados obtidos por Silva e Chaves (2001). Segundo Souza et al. (2006) a elevada variabilidade espacial do P ocorre devido a sua baixa mobilidade no solo, contribuindo para redução do alcance. Para o potássio (K) foi observada fraca dependência espacial ajustando-se ao modelo linear sem patamar. Segundo Vieira (2000), este modelo pode indicar a

presença de um fenômeno com capacidade infinita de dispersão ou que o tamanho da malha não foi suficiente para exibir a estacionaridade da variável. Já a MO ajustou-se ao modelo esférico com 24,8 m

de alcance com moderada dependência espacial, segundo classificação proposta por Cambardella et al. (1994), mostrando dependência espacial ou tendência dentro da área experimental.

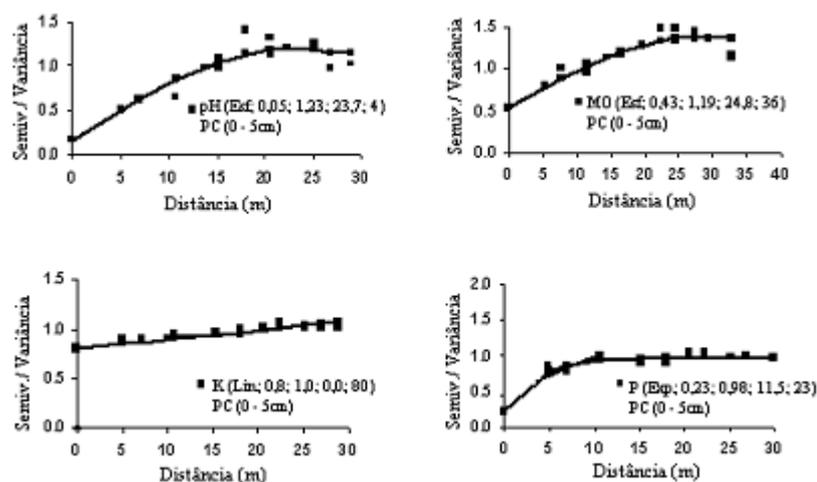


Figura 1 – Modelos e parâmetros (C_0 ; $C_0 + C_1$; a ; RD) dos semivariogramas escalonados do pH, MO, K e P no sistema de preparo convencional (PC) na profundidade de 0-5 cm.

Na Figura 2 observa-se que o pH na profundidade de 5-15 cm apresentou ausência de dependência espacial (EPP) entre o ponto de amostragem, demonstrando, segundo Vieira (2000) que o alcance é menor que o menor espaçamento entre amostras. Em trabalho realizado por Araújo e Oliveira (2003) o pH apresentou-se com menor variabilidade espacial em todos os solos estudados. Os semivariogramas construídos para o P, K e MO ajustaram-se ao modelo esférico com alcance de 16,6 m; 10,4 m e 32,0 m, respectivamente. Vários estudos mostram que do ponto de vista espacial, o modelo esférico apresenta uma melhor adaptação ao semivariograma das propriedades

químicas do solo (SALVIANO et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1999).

A razão de dependência espacial foi classificada, de acordo com Cambardella et al. (1994), em moderada para o P e MO e forte para o K. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva e Chaves (2001) em estudo sobre a avaliação dos teores de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. Salviano et al. (1998) e Oliveira et al. (1999) encontraram forte dependência espacial para o K em trabalhos realizados sobre atributos químicos do solo. O alcance do P é maior que o alcance do K e menor do que o da MO, o que pode ser explicado pela maior mobilidade do K no solo. Para Costa

(2004) a baixa difusão do P é relacionada com a textura muito argilosa do solo, conforme o solo deste trabalho, resultados semelhantes foram reportados por Silva (2006) em avaliação de atributos químicos em dois sistemas de cultivo no cerrado.

Para garantir a dependência espacial, os pontos de amostragem deveriam ser coletados a uma distância equivalente à metade do alcance (CARVALHO et al., 2002; SOUZA et al., 2006).

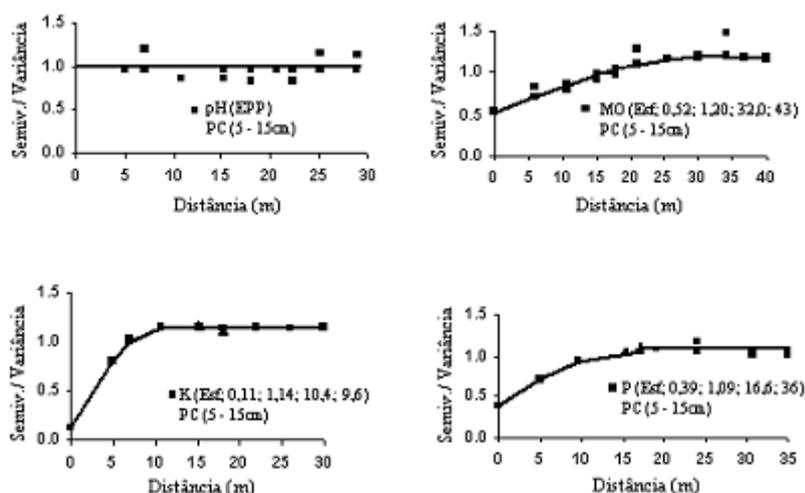


Figura 2 – Modelos e parâmetros (C_0 ; $C_0 + C_1$; a ; RD) dos semivariogramas escalonados do pH, MO, K e P no sistema de preparo convencional (PC) na profundidade de 5-15 cm.

As Figuras 3 e 4 apresenta os mapas temáticos dos atributos que apresentaram distribuição espacial dos teores de pH, fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica (MO) nas profundidades de 0-5 cm e 5-15 cm, que foram obtidos por intermédio da interpolação das variáveis através do método da krigagem ordinária. Observa-se que o pH e a MO apresentaram maiores valores nas áreas escuras caracterizando maior variabilidade espacial da direita para a esquerda. O comportamento espacial do P nas duas profundidades estudadas está

concentrado na região de cor branca próximos da média dos dados, ou seja, compondo mais da metade da área, e para o K na cor cinza claro. Segundo Azevedo (2004), o uso de mapas de variabilidade permite localizar geograficamente as áreas problemáticas; áreas estas que apresentam deficiência do atributo avaliado. No planejamento do manejo da fertilidade do solo, segundo Oliveira et al. (1999) é importante o conhecimento da localização das áreas onde estão concentradas as variáveis químicas.

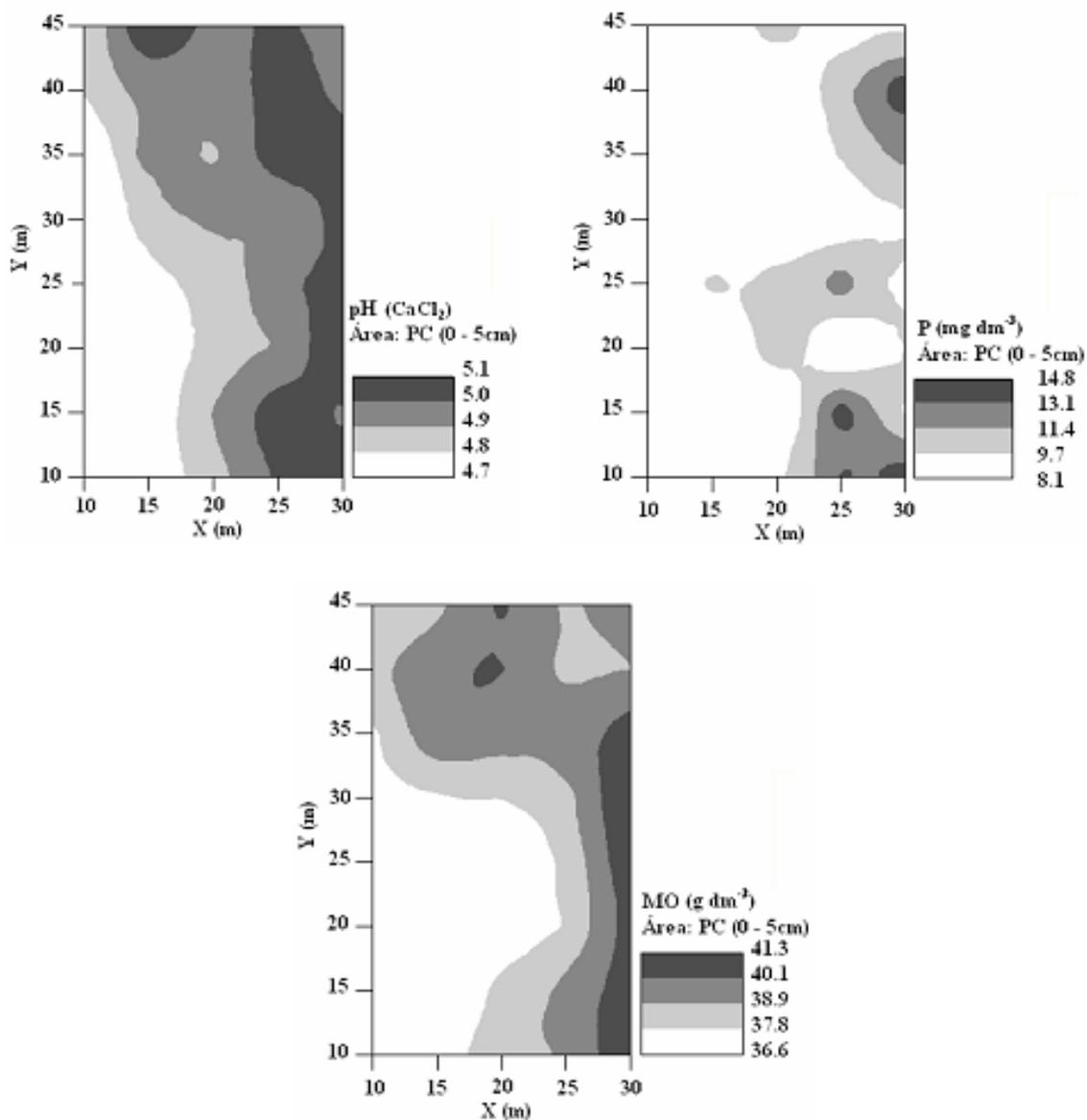


Figura 3 - Mapa da distribuição espacial dos teores de pH, fósforo (P) e matéria orgânica (MO) no preparo convencional do solo (PC) na profundidade de 0-5 cm.

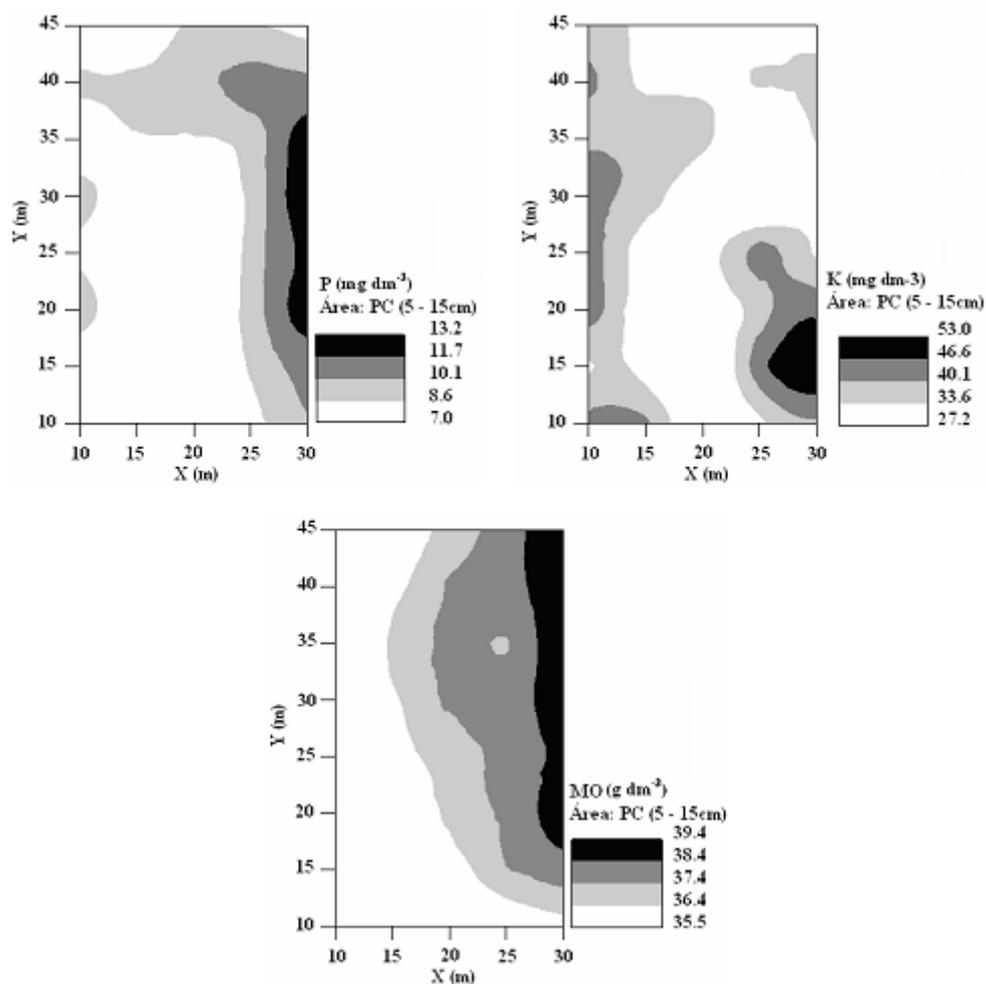


Figura 4 - Mapa da distribuição espacial dos teores de fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica (MO) no preparo convencional do solo (PC) na profundidade de 5-15 cm.

4. CONCLUSÕES

Com a utilização da análise geoestatística, foi possível verificar a presença de diferentes graus de dependência espacial nas variáveis consideradas, classificada como forte, moderada e fraca, nas duas profundidades estudadas, o que não poderia ser realizado através da análise convencional.

A análise de dependência espacial mostrou moderada variabilidade para a

matéria orgânica nas duas profundidades estudadas, ajustando-se ao modelo esférico.

As variabilidades medidas por intermédio do coeficiente de variação apresentaram-se, nas duas profundidades estudadas, com valores médios para o fósforo e potássio onde o solo sofreu maior revolvimento mecânico, e baixa variabilidade para o pH e a matéria orgânica do solo.

O maior alcance foi observado para o atributo matéria orgânica pela baixa e alta mobilidade do fósforo e potássio no solo, respectivamente.

5. AGRADECIMENTOS

À FESURV – Universidade de Rio Verde, GO pelo espaço físico para elaboração das atividades, e a COMIGO, Rio Verde, GO, pela concessão da área de estudo.

6. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P.M.D.B. de; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo e potássio em solos das regiões oeste e do baixo açu, estado do Rio Grande do Norte. **Caatinga**, v.16, n.1/2, p. 69-78, 2003.
- AZEVEDO, E.C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso**. 2004. 141f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- BERTOL, O.J.; FISCHER, I.I. Semeadura direta versus sistemas de preparo reduzido: efeito na cobertura do solo e no rendimento da cultura da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, p. 87-96, 1997.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.05, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- CAVALCANTE, E.G.S. et al. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p. 394-400, 2007.
- COSTA, J.A.; THOMAS, A.L. Potencial de rendimento da soja. **Revista Plantio Direto**, n.82, p.28-32, 2004.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997. 212 p.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.
- OLIVEIRA, J.J. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.783-789, 1999.
- ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences-GS+ User's Guide**. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152 p.
- SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.22, n.1, p.115-122, 1998.
- SILVA, J.M. **Métodos geoestatísticos no estudo de atributos químicos e físicos do solo em dois sistemas de cultivo da soja no cerrado**. Alegre - ES, 2006. 106f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Área de concentração: Fitotecnia. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

- SILVA, P.C.M. da; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.431-436, 2001.
- 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.3, p.384-391, 2008.
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.77-86, 1998.
- SOUZA, Z.M. et al. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, v.36, n. 03, p.829-836, 2006.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C.E.G. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000, v.1, p.1-54.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic, 1998. p.655-675.