



## Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo sob manejo orgânico<sup>(1)</sup>.

Vinicius Ribamar Alencar Macedo<sup>(2)</sup>; Alex Silva de Oliveira<sup>(3)</sup>; Alirya Magda Santos do Vale Gomes<sup>(4)</sup>; Fernanda Karollyne Saboia do Nascimento<sup>(5)</sup>; Altamiro Souza de Lima Ferraz Junior<sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA).

<sup>(2)</sup> Doutorando em Agroecologia; Universidade Estadual do Maranhão - UEMA; São Luís; Maranhão; viniram@hotmail.com; <sup>(3)</sup> Mestrando em Agroecologia; UEMA; <sup>(4)</sup> Mestranda em Agroecologia; UEMA; <sup>(5)</sup> Mestranda em Agroecologia; UEMA; <sup>(6)</sup> Professor Doutor do Programa de Pós Graduação em Agroecologia; UEMA.

**RESUMO:** Considerando a importância do conhecimento da distribuição espacial dos atributos físicos do solo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial quanto a resistência a penetração e umidade do solo sob cultivo orgânico em comparação com mata nativa adjacente. O estudo foi realizado na empresa Alimentum Ltda, certificada para a produção orgânica. Para a avaliação da umidade e resistência a penetração, foram coletados de forma aleatória 36 pontos na mata nativa e 60 pontos nas áreas sob manejo orgânico. Os dados foram analisados utilizando técnicas de estatística descritiva e geoestatística. A umidade foi positivamente influenciada pelo manejo orgânico quando comparado a mata nativa, no entanto, a resistência a penetração tal influência não foi observada. O manejo orgânico tem potencial para melhorar os atributos físicos do solo, porém, os resultados sugerem tal melhoria em longo prazo.

**Termos de indexação:** Qualidade do solo, geoestatística, atributos físicos.

### INTRODUÇÃO

O solo é um recurso essencial responsável pelas boas produtividades da agropecuária, pela manutenção e/ou melhoria da qualidade do ar e da água e conseqüentemente, pela sanidade de plantas, animais e seres humanos (Iwata et al., 2012). No entanto, o manejo inadequado deste recurso, pode alterar seus atributos físicos, químicos e biológicos e afetar o desempenho de suas funções.

Segundo Leite et al. (2010), a utilização inadequada do solo, sobretudo por meio da adoção de sistemas convencionais, tem ocasionado a degradação de suas propriedades, a exemplo a desestruturação e compactação, redução da fertilidade, oxidação acelerada da matéria orgânica e a diminuição da quantidade e diversidade de organismos do solo.

Diante da problemática de acelerada degradação dos solos agrícolas, Thomazini et al. (2015) aponta

o cultivo orgânico como um sistema sustentável, capaz de garantir boas produções e simultaneamente manter e /ou melhorar a qualidade do solo.

Usualmente a qualidade do solo é considerada sob três aspectos: físico, químico e biológico, sendo todos importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo, bem como na identificação da sustentabilidade dos sistemas de manejo. Apesar disto, o aspecto físico merece destaque, uma vez que possíveis alterações em seus atributos podem afetar a química e biologia do solo (Papadopoulos et al., 2013). A análise da geoestatística para determinação da variação espacial dos atributos físicos do solo é uma técnica que visa representar a área em maior detalhamento. São criados mapas de isolinhas, que asseguram avaliar a qualidade do solo para devidas correções, com intuito de garantir maior rendimento das culturas (Amirinejad et al., 2011). Com base neste enfoque o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial quanto à resistência a penetração e umidade do solo sob cultivo orgânico em comparação com mata nativa adjacente, por meio da geoestatística.

### MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na empresa Alimentum Ltda, certificada para a produção orgânica, localizada na cidade de São Luís/MA. O clima da região na classificação de Koppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido. O solo da área experimental da Empresa Alimentum Ltda é classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico, segundo Embrapa (2006). A área experimental constituiu-se de mata nativa com aproximadamente 15 anos de pousio e áreas sob manejo orgânico com cultivo de hortaliças em canteiros, de milho-verde e área sem cultivo. Na mata nativa, foram coletados de forma aleatória 36 pontos e nas áreas sob cultivo orgânico, 60 pontos.

Os pontos foram georreferenciados com GPS de precisão de 3 m. Para determinar a umidade do



solo, as amostras foram coletadas com auxílio de trado tipo caneco a uma profundidade de 0-20 cm. A resistência à penetração foi determinada na camada de 0 a 20 cm, com duas amostragens por ponto, utilizando um penetrômetro digital da marca Falker. As análises de dados foram feitas em quatro etapas: estatística descritiva, testes de normalidade (Kolmogorov-Smirnov), parâmetros do semivariograma e mapas das variáveis, que foram produzidos pela técnica de krigagem (Isaaks & Srivastava, 1989).

A semivariância é definida como a metade da esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados pelo vetor distância  $h$  (lag) (Trangmar et al., 1985). A semivariância estimada no lag  $h$  é

Equação 1:

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

em que,  $N(h)$  - o número de pares de valores experimentais medidos em  $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ , separados pelo vetor  $h$  (espaço lag). Os valores de  $Z$  foram os atributos físicos do solo estudado, enquanto os valores de  $x_i$  e  $x_i + h$  foram definidos de acordo com a localização geográfica das amostras feitas no campo.

Foram testados os modelos de semivariogramas: (a) esférico,  $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1,5 (h/a) - 0,5 (h/a)^3]$  para  $(0 < h < a)$  e  $\gamma^*(h) = C_0 + C_1$  para  $h \geq a$ ; (b) exponencial,  $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h/a)]$  para  $(0 < h < d)$ ; e (c) gaussiano,  $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h^2/a^2)]$  para  $(0 < h < d)$ , em que  $d$  é a distância máxima na qual o semivariograma é definido. O ajuste dos semivariogramas possibilitou definir os valores do efeito pepita ( $C_0$ ), do alcance ( $A$ ) e do patamar ( $C + C_0$ ).

A seleção do modelo ajustado dos semivariogramas foi feita com base na menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e maior grau de dependência espacial (GDE). Segundo Robertson (2008), a proporção obtida utilizando-se a Equação 2, o GDE pode ser classificado em: dependência espacial fraca em  $GDE \leq 25\%$ , dependência espacial moderada quando  $25\% < GDE \leq 75\%$  e dependência espacial forte em  $GDE > 75\%$ .

Equação 2:

$$(2) \quad GDE = \left[ \frac{c}{c + c_0} \right] \times 100$$

A validação cruzada foi feita para analisar a qualidade do modelo matemático ajustado dos

semivariogramas para cada uma das propriedades do solo estudado. A interpolação dos valores foi feita pelo método geoestatístico da Krigagem Ordinária, de modo a definir o padrão espacial das variáveis estudadas, o que permitiu a elaboração dos mapas de isolinhas, com o auxílio da Equação 3:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

em que:  $Z^*(x_0)$  = variável interpolada;  $\lambda_i$  = peso da  $i$ -ésima localidade vizinha;  $Z(x_i)$  = valor da variável para a  $i$ -ésima localidade; e  $N$  = número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto (Paz-González et al. 2000). O software GS+ 7.0 (Gamma Software Design) foi usado para a construção de semivariogramas e análise da estrutura espacial para variáveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao examinar os semivariogramas experimentais, as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial e a natureza da variação dos dados foi do tipo isotrópica (**Tabela 1**). Segundo Burgos et al. (2006) dependência espacial isotrópica é quando não há dependência direcional, ou seja o valor da variável varia de forma semelhante em todos os sentidos e a semivariância depende apenas da distância entre os pontos de amostragem. Foi encontrado um grau de dependência espacial forte ( $GDE > 75\%$ ) e moderado ( $25\% < GDE < 75\%$ ) apenas para resistência à penetração nas profundidades de 0-5 cm e 16-20 cm e umidade do solo. O grau de dependência espacial foi fraco ( $GDE < 25\%$ ) para a resistência à penetração nas profundidades 6-10 cm, 11-15 cm e 0-20 cm.

Para avaliar os atributos físicos do solo, foram elaborados mapas de isolinhas da distribuição espacial apenas dos atributos que apresentaram moderado e forte grau de dependência espacial. O manejo orgânico favoreceu a umidade do solo quando comparado à mata nativa (**Figura 1-A**), o que pode ser explicado pelo aumento de matéria orgânica no solo que tende a aumentar sua área superficial específica, com o consequente aumento de retenção de água (Silva et al., 2006). Segundo Bengough et al. (2001) a resistência a penetração é inversamente proporcional a umidade do solo. As áreas em estudo apresentaram baixa resistência à penetração na profundidade de 0-5 cm (**Figura 1-B**), uma vez que apresentaram valores inferiores a 2 Mpa que de acordo Silveira et al. (2010) é o limite



crítico para o crescimento radicular da maioria das culturas agrícolas. Já na profundidade de 16-20 cm, a resistência à penetração na área de manejo orgânico sem cultivo foi alta (**Figura 1-C**), provavelmente devido à falta de cobertura e raízes. Neves et al. (2006) ressalta que a cobertura favorece a agregação do solo, que é uma das propriedades responsáveis pela manutenção da estrutura e redução da erodibilidade dos solos.

## CONCLUSÕES

A umidade foi positivamente influenciada pelo manejo orgânico se comparado à mata nativa. Com isso, o manejo orgânico tem potencial para melhorar os atributos físicos do solo estudados, no entanto, os resultados sugerem tal melhoria em longo prazo.

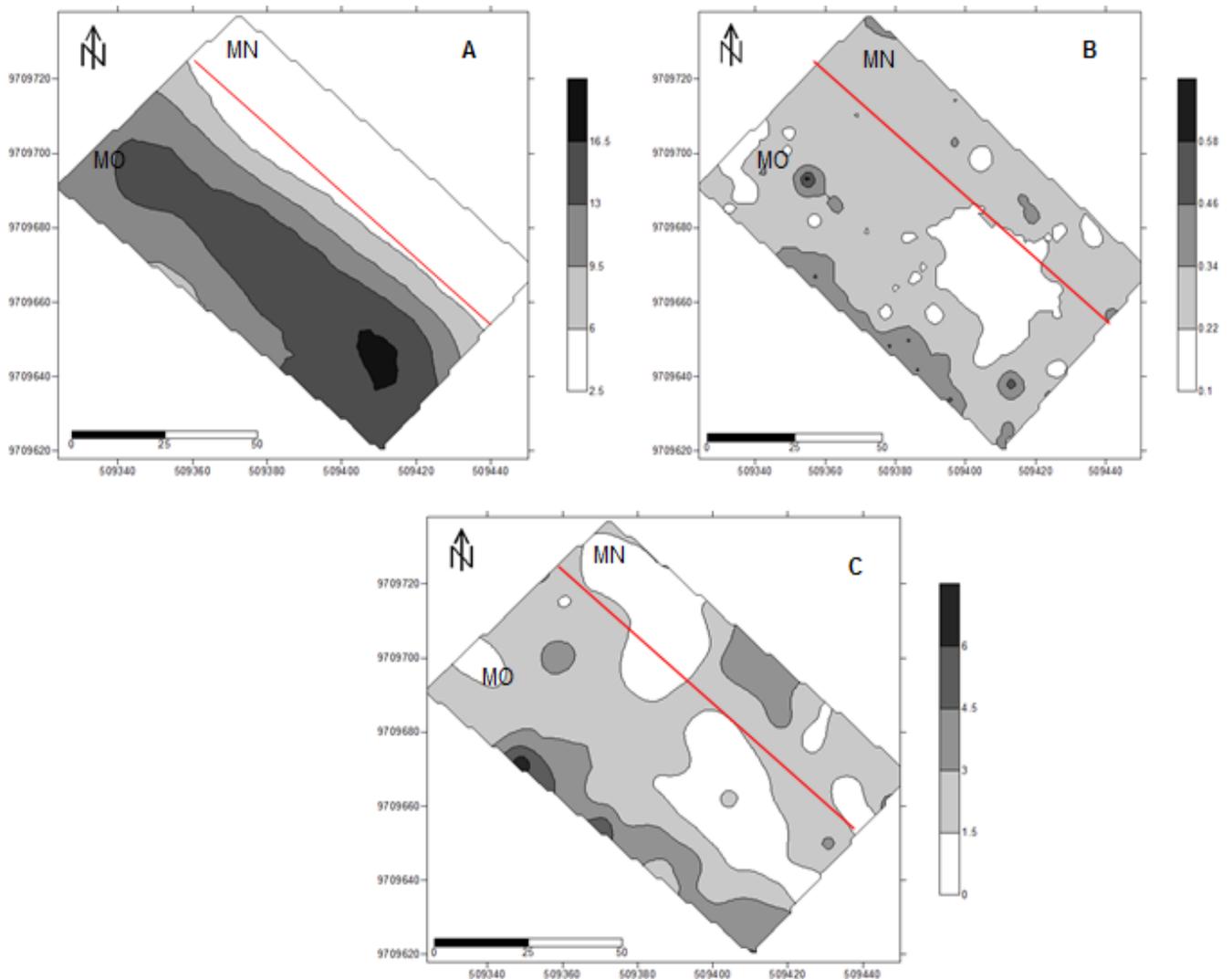
## REFERÊNCIAS

- AMIRINEJAD, A. A.; KAMBLE, K.; AGGARWAL, P.; CHAKRABORTY, D.; PRADHAN, S. & MITTAL, R. B. Assessment and mapping of spatial variation of soil physical health in a farm. *Geoderma*, 160:292-303, 2011.
- BENHOUGH, A. G.; CAMPBELL, D. J. & O'SULLIVAN, M. F. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods*, 2:377-404, 2001.
- BURGOS, P.; MADEJÓN, E.; PÉREZ-DE-MORA, A. & CABRERA, F. Spatial variability of the chemical characteristics of a trace-element-contaminated soil before and after remediation. *Geoderma*, 130:157-175, 2006.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Embrapa solos, 2006, 412 p.
- ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA, R. M. An Introduction to Applied. *Geostatistics*. Oxford University Press, 1989, 561p.
- IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C. & CAMPOS, L. P. Sistemas agrofloreais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16:730-738, 2012.
- LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAUJO, A. S. F.; GALVÃO, S. R. S.; LEMOS, J. O. & SILVA, E. F. L. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, 48:258-265, 2010.
- NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C. & KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um latossolo argiloso. *Ciência Rural*, 36:1410-1415, 2006.
- PAPADOPOULOS, A.; BIRD, N. R. A.; WHITMORE, A. P. & MOONEY, S. J. Does organic management lead to enhanced soil physical quality? *Geoderma*, 2013:435-443, 2013.
- PAZ-GONZÁLEZ, A.; VIEIRA, S. R. & TABOADA CASTRO, M. T. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*, 97:273-292, (2000).
- ROBERTSON, G. P. *GS+: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 2008. 152p.
- SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. & CARVALHO, F. G. Matéria orgânica propriedades físicas de um Argissolo amarelo coeso sob sistema de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10:579-585, 2006.
- SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S. & SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência do solo a penetração para um Argissolo amarelo distrocoeso no Reconcavo da Bahia. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 34:659-667, 2010.
- THOMAZINI, A.; MENDONÇA, E. S.; SOUZA, J. E. CARDOSO, I. M. & GARBIN, M. L. Impacto of organic no-till vegetables systems on soil organic matter in the Atlantic Forest biome. *Sci Horticulture-Amsterdam*, 182:145-155, 2015.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S. & UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 38:45-94, 1985.

**Tabela 1** – Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos físicos de um solo sob manejo orgânico em comparação com mata nativa adjacente.

Atributos	MOD	C <sub>0</sub>	C+C <sub>0</sub>	Alcance	R <sup>2</sup>	VC	GDE	Classe
Umidade (%)	Gaussiano	16,07000	41,680000	49	0,82	1,06	0,61	Moderada
RP (MPa) 0-5 cm	Exponencial	0,00001	0,02272	7	0,88	0,39	1	Forte
RP (MPa) 6-10 cm	-	-	-	-	-	-	0	Fraca
RP (MPa) 11-15 cm	-	-	-	-	-	-	0	Fraca
RP (MPa) 16-20 cm	Exponencial	0,001	2,206	39	0,90	0,73	1	Forte
RP (MPa) 0-20 cm	-	-	-	-	-	-	0	Fraca

RP = resistência a penetração; MOD = modelo do semivariograma; C<sub>0</sub> = efeito pepita; C+ C<sub>0</sub> = patamar; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; VC = coeficiente de determinação da validação cruzada; GDE = grau de dependência espacial.



**Figura 1** – Mapas de isolinhas da distribuição espacial da umidade do solo (%) (A), resistência à penetração (MPa) nas profundidades 0-5 cm (B), e 16-20 cm (C), de um solo sob manejo orgânico (MO) em comparação com mata nativa adjacente (MN).