

Variabilidade Espacial do Carbono Orgânico num Planossolo Cultivado com Arroz Irrigado

J.M.B. PARFITT⁽¹⁾, F.C. GONÇALVES⁽²⁾, N.L. RECKZIEGEL⁽³⁾, L.S. AQUINO⁽⁴⁾, L.C. TIMM⁽⁵⁾, D.D. CASTILHOS⁽⁶⁾ & A.L.C. NEBEL⁽⁷⁾

RESUMO – O carbono orgânico do solo é um atributo de grande importância, pois influencia praticamente todos os processos que ocorrem no solo, principalmente aqueles ligados aos indicadores de qualidade do solo. Desta forma, o estudo de sua variabilidade espacial e possível correlação com outras variáveis torna-se importante no entendimento do Sistema Solo-Planta-Atmosfera. Em vista disso, este trabalho teve como objetivos estudar a variabilidade espacial do carbono orgânico num Planossolo Háplico, com histórico de cultivo de arroz irrigado, bem como sua correlação espacial com o modelo de elevação da área experimental. Para tal, foi demarcada e estabelecida uma malha de 100 pontos (10 m x 10 m) em uma área de 1 ha pertencente à Estação Experimental de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, situada no município do Capão do Leão, RS. Ao redor de cada ponto foram coletadas cinco sub-amostras de solo, na profundidade de 0-0,20 m, formando uma amostra composta na qual foi determinado o conteúdo de carbono orgânico. Para a determinação do modelo de altitude do terreno foi realizado o levantamento topográfico da área registrando-se diferenças mínimas de altura de 1cm por ponto. A variabilidade espacial foi estudada por meio do software geoestatístico GS+. A partir do ajuste do semivariograma teórico ao experimental foi construído o mapa de contorno para a variável carbono orgânico, por meio da técnica de Krigagem. A correlação espacial entre os mapas de carbono orgânico e do modelo de elevação do terreno foi, visualmente, analisada sobrepondo-se os mapas. Resultados mostram que a Geoestatística permitiu detectar a estrutura de variabilidade espacial da variável carbono orgânico, indicando uma faixa de dependência espacial de 48,0 m, sendo o grau de dependência considerado

moderado. Não foi constatada uma correlação espacial entre a distribuição do conteúdo de carbono orgânico e o modelo de elevação do terreno da área experimental, sugerindo um estudo mais detalhado ao nível de micro-relevo nesta área.

Introdução

Métodos clássicos de análise estatística de dados pressupõem que as realizações das variáveis aleatórias são independentes entre si, ou seja, que observações vizinhas não exercem influência umas sobre as outras. Entretanto, fenômenos naturais apresentam-se, freqüentemente, com uma certa estrutura de correlação espacial entre vizinhos, desta forma, pode-se dizer que a variabilidade espacial de uma determinada variável não é aleatória e, portanto, apresenta algum grau de dependência espacial (Guimarães [1]). Baseado nisto, torna-se importante avaliar a estrutura de dependência espacial entre as variáveis do Sistema Solo-Planta-Atmosfera. Dentre as variáveis desse sistema, o carbono orgânico do solo (C-org) é de grande importância, pois, influencia praticamente todos os processos que ocorrem no solo, principalmente aqueles ligados aos indicadores de qualidade do solo (Carter *et al.* [2]). Silva *et al.* [3] destacam a importância do C-org sobre os atributos do solo e, em especial, sobre a disponibilidade de nutrientes para as plantas. A variabilidade espacial do solo, segundo McGraw [4], ocorre em diferentes escalas e está relacionada às variações do material de origem, clima, relevo, organismos e tempo, ou seja, relacionada aos processos de formação do solo e/ou aos efeitos das práticas de manejo adotadas na área.

Reichardt & Timm [5] mencionam que várias ferramentas estatísticas têm sido utilizadas para estudar a variabilidade espacial dos atributos de um solo, dentre elas pode-se destacar a Geoestatística que permite detectar a

⁽¹⁾ Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Caixa Postal 354, Capão do Leão, RS, CEP: 96010-900. E-mail parfitt@cpact.embrapa.br (apresentador do trabalho).

⁽²⁾ Mestranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Caixa Postal 354, Capão do Leão, RS, CEP: 96010-900. Bolsista do CNPq.

^(3,4) Graduandos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas – Caixa Postal 354, Capão do Leão, RS, CEP 96010-900.

⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas – Caixa Postal 354, Capão do Leão, RS, CEP 96010-900.

⁽⁶⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas - Caixa Postal 354, Capão do Leão, RS, CEP: 96010-900.

⁽⁷⁾ Professor do Colégio Agrícola Visconde da Graça, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas - Caixa Postal 354, Capão do Leão, RS, CEP: 96010-900.

existência da variabilidade e a distribuição espacial dos atributos do solo em análise.

No Brasil, e em particular no Rio Grande do Sul, nas áreas cultivadas com arroz irrigado onde predominam os Planossolos, poucos estudos têm sido conduzidos no intuito de estudar a estrutura de variabilidade espacial dos atributos do solo nos diferentes manejos adotados. Em vista disso, este trabalho teve como objetivos estudar a variabilidade espacial do C-org num Planossolo, com histórico de cultivo de arroz irrigado, bem como sua relação com o modelo de elevação da área experimental.

Palavras-Chave: Geoestatística, matéria orgânica, relevo.

Material e Métodos

Numa área de 7 ha pertencente a Estação Experimental de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, situada no município do Capão do Leão, RS, foi demarcada uma sub-área de 1 ha e estabelecida uma malha de 100 pontos (10 m x 10 m). O solo classificado como Planossolo Háptico vem sendo cultivado, nas últimas três safras agrícolas, com as culturas do arroz irrigado (dois anos) e sorgo granífero (um ano), ambas cultivadas no sistema convencional. Ao redor de cada ponto foram coletadas cinco sub-amostras de solo, na profundidade de 0-0,20 m, para formar uma única amostra composta na qual foi determinado o conteúdo de carbono orgânico, utilizando metodologia descrita em Tedesco *et al.* [6]. Para a determinação do modelo de altitude do terreno foi realizado o levantamento topográfico da área experimental registrando-se diferenças mínimas de altura de 1cm por ponto. A partir desse levantamento, foi utilizada a planilha eletrônica Excel para a construção do mapa (Fig. 1). Os dados de C-org foram analisados através da estatística descritiva calculando as medidas de posição (média e mediana), de dispersão (valor máximo, valor mínimo e coeficiente de variação) e da forma da distribuição dos dados (coeficientes de assimetria e curtose). A hipótese de normalidade dos dados foi testada utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov (Costa Neto [7]). Para a análise geoestatística foi utilizado o Software GS+, versão 7.0 (Gamma Design Software [8]), que calcula os semivariogramas experimental e teórico (modelo matemático) e os respectivos parâmetros de ajustes (efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C ; e alcance A_0). A escolha do melhor modelo de ajuste do semivariograma teórico foi baseada no menor valor da soma dos quadrados do resíduo (RSS) e no maior valor do coeficiente de determinação (r^2). Para analisar o grau de dependência espacial do C-org do solo, utilizou-se a classificação proposta por Cambardella *et al.* [9], a qual considera o grau de dependência espacial forte quando a relação $C_0/(C_0+C) \leq 25\%$, moderado quando a relação $25 < C_0/(C_0+C) \leq 75\%$, e fraco quando a relação $C_0/(C_0+C) > 75\%$.

A partir do semivariograma teórico foi construído o mapa de contorno para a variável carbono orgânico na área experimental, por meio da técnica de Krigagem (Vieira [10]). A correlação espacial entre o C-org e o modelo de elevação do terreno foi, visualmente, analisada sobrepondo-se os mapas.

Resultados e Discussão

Da Fig. 1 constata-se que a declividade média da área experimental é em torno de 0,3%, variando entre 0,4% no quadrante superior esquerdo da figura e 0,25% no restante da área, i.e., as curvas de nível se encontram mais próximas no quadrante superior esquerdo e mais afastadas no resto da área. Esse modelo é típico de áreas de Planossolo utilizados para a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Pela configuração das curvas de nível no quadrante inferior direito, nota-se a presença de zonas de depressão ao nível de micro-relevo, que apresentam armazenamento superficial de água (empoçamento de água na superfície do solo) nas épocas de chuvas intensas, devido à baixa condutividade hidráulica do horizonte B, restritivo ao movimento vertical de água no perfil do solo.

O conteúdo médio de carbono orgânico na área experimental foi de 1,21%, sendo os valores máximo e mínimo de 0,96% e 1,51% respectivamente. O coeficiente de variação foi de 8,4%, classificando, segundo Wilding & Drees [11], a variabilidade dos dados em torno da média como baixa. De acordo com Spinelli *et al.* [12] para os solos de várzea do Sul do Brasil, esse valor encontra-se dentro da faixa de variação do conteúdo de carbono orgânico. O valor da mediana (= 1,22%) é praticamente igual ao da média, indicando que a distribuição dos dados tende a normal, fato esse comprovado pelos coeficientes de assimetria (=0,29) e de curtose (=0,25). O exposto acima foi corroborado pela aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 10% de probabilidade, onde o valor calculado da estatística do teste (=0,072) foi menor que o valor tabelado (K-S crítico = 0,121) (Costa Neto [7]). Desta forma, aceita-se a hipótese de que os dados possuem distribuição normal.

Os semivariogramas experimental e teórico são apresentados na Fig. 2. Analisando a figura, verifica-se que o modelo esférico foi o que melhor ajustou-se aos dados de semivariância experimental, com valor do coeficiente r^2 de 0,954 e soma dos quadrados dos resíduos (RSS) de $9,05 \times 10^{-7}$, estatística essa usada pelo software GS+ para a seleção do modelo matemático (Guimarães [1]). Também verifica-se que o alcance da dependência espacial A_0 é de 48,0 m, i.e., dados separados a uma distância igual ou inferior a 48,0 m são dependentes entre si. Já a relação $C_0/(C_0+C) = 45\%$ indica que o grau de dependência espacial pode ser considerado moderado (Cambardella *et al.* [9]). Resultados similares foram encontrados por Angelico [13], onde o conteúdo de carbono orgânico do solo apresentou um grau de dependência espacial moderado e o modelo ajustado foi o esférico, embora o alcance A_0 tenha sido de 103,0 m.

Carvalho & Assad [14] mencionam que o interpolador geoestatístico Krigagem utiliza a estrutura de dependência

espacial entre vizinhos, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro da área experimental, ou seja, quanto melhor a qualidade de ajuste do modelo matemático ao semivariograma experimental melhor serão as estimativas em termos de interpolação espacial utilizando a Krigagem. Baseado neste fato, foi construído o mapa de contorno da variável carbono orgânico, na profundidade de 0-0,20 m (Fig. 3), utilizando a Krigagem já que, segundo Vieira [10], esse interpolador é considerado um estimador ótimo, sem tendência e com variância mínima.

Analisando conjuntamente as Figs. 1 e 3, nota-se que, visualmente a distribuição do conteúdo de carbono orgânico (Fig. 3) na área experimental não apresentou correlação espacial com o modelo de elevação do terreno (Fig. 1), ou seja, seriam esperados conteúdos mais elevados de C-org nas zonas de menor declividade da área, devido a valores maiores da umidade do solo nestas zonas e vice-versa. Esse comportamento, conforme Vahl & Sousa [15], seria explicado pelo fato de que a decomposição da matéria orgânica (carbono orgânico), bem como as assimilações de seus produtos são mais lentas nos solos encharcados que nos bem drenados. Este resultado obtido da variável carbono sugere um estudo mais aprofundado ao nível de micro-relevo na área experimental, já que nas áreas de várzeas podem ocorrer significativas variações nas altitudes a este nível.

Conclusões

A Geoestatística permitiu detectar a estrutura de variabilidade espacial da variável carbono orgânico, profundidade de 0-0,20 m, indicando uma faixa de dependência espacial de 48,0 m, sendo o grau de dependência considerado moderado.

Não houve uma correlação espacial entre a distribuição do conteúdo de carbono orgânico e o modelo de elevação do terreno da área experimental, sugerindo um estudo mais detalhado ao nível de micro-relevo nesta área.

AGRADECIMENTOS

A Embrapa e ao CNPq pelo auxílio financeiro e pela concessão de bolsas.

REFERÊNCIAS

- [1] GUIMARÃES, E.C. Geoestatística básica e aplicada. Uberlândia: Faculdade de Matemática-Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 77p. (Apostila).
- [2] CARTER, M.R., GREGORICH, E.G., ANDERSON, D.W., DORAN, J.W., JANSEN, H.H. & PIERCE, F.J. Concepts of soil quality and their significance. In: GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R. Soil quality for crop production and ecosystem health. Amsterdam: Elsevier, 1997. cap. 1. p. 1-19.
- [3] SILVA, L.S., CAMARGO, F.A.O. & CERETA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.

- J. (Ed.). Fundamentos de Química do Solo. 2ª ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290p.
- [4] MCGRAW, T. Soil test level variability in Southern Minnesota. Better Crops with Plant Foods, v.78, p.24-25, 1994.
- [5] REICHARDT, K. & TIMM, L.C. Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações. São Paulo: Editora Manole, 2004. 478p.
- [6] TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C.A., BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2ª ed. revisada e ampliada. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia. UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
- [7] COSTA NETO, P.L.O. Estatística. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 266p.
- [8] GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences. Plainwell: Gamma Design Software, 2004.
- [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 Science Society America Journal, v.58, p. 1501-1511, 1994.
- [10] VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R. (Eds.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.1-54.
- [11] WILDING, L.P. & DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P. & DREES, L.R. (Eds.). Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions. New York: Elsevier, 1983. p.83-116.
- [12] PINTO, L.F.S.; LAUS NETO, J.A. & PAULETTO, E.A. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A.S. & MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. (Eds.). Arroz Irrigado no Sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 3. p. 75-95.
- [13] ANGELICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 931-936, 2006.
- [14] CARVALHO, J.R.P. & ASSAD, E.D. Otimização de interpoladores espaciais para estimar chuva no Sistema AgriTempo. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2003. 17p (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 9).
- [15] VAHL, L.C. & SOUSA, R.O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A.S. & MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. (Eds.). Arroz Irrigado no Sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 4. p. 97-118.

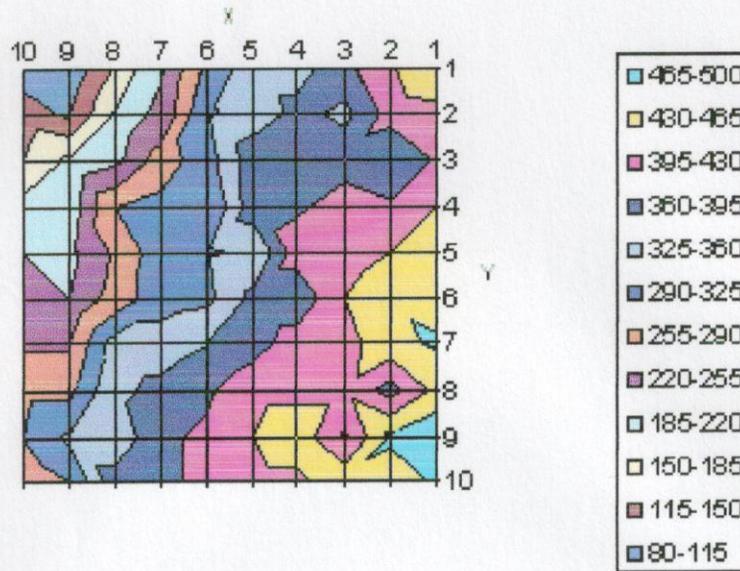
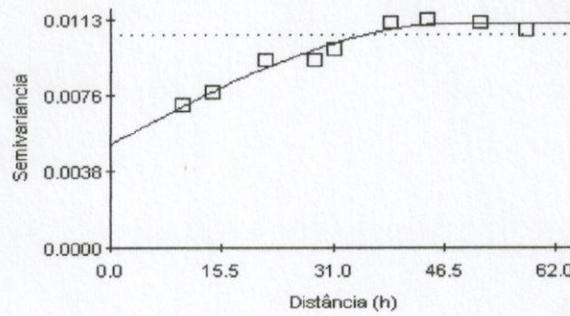


Figura 1. Modelo de elevação da área experimental.



Spherical model ($C_0 = 0.00512$; $C_0 + C = 0.01114$; $A_0 = 48.00$; $r_2 = 0.954$;
 RSS = $9.051E-07$)

Figura 2. Semivariograma esférico dos dados do carbono orgânico do solo na profundidade de 0-0,20 m

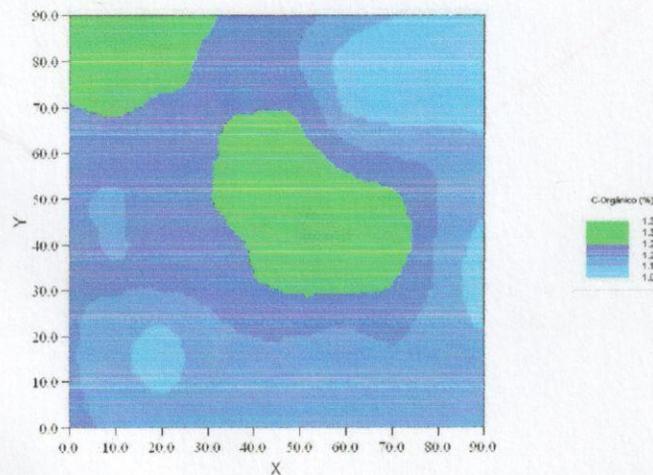


Figura 3. Mapa de distribuição espacial do carbono orgânico do solo na profundidade de 0-0,20 m.