



ABORDAGEM DE ESPAÇO DE ESTADOS APLICADA AO ESTUDO DO RELACIONAMENTO ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS, HÍDRICOS E QUÍMICOS DE SOLOS DE VÁRZEA

AQUINO, Leandro Sanzi¹; BARTELS, Guilherme Kruger²; OLIVEIRA, Márcio Paulo³; MIRITZ, Guilherme Kunde²; VIEGAS, Lucas Souza²; TIMM, Luís Carlos⁴; PARFITT, José Maria Barbat⁵; NEBEL, Álvaro Luiz Carvalho⁶, PAULETTO, Eloy Antonio⁷

¹ Eng. Agrônomo, Mestrando do PPGA – Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Campus Universitário – Caixa Postal 354, CEP 96010-900 Capão do Leão-RS. Bolsista CAPES – leandrosoaq@gmail.com .

² Graduando em Agronomia, FAEM, UFPEL, Bolsista IC, Departamento de Engenharia Rural (DER).

³ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UNIOESTE/Cascavel – PR.

⁴ Professor Adjunto, DER – FAEM/UFPEL

⁵ EMBRAPA Clima Temperado – Estação Terras Baixas.

⁶ Professor Assistente, Conjunto Agrotécnico Visconde da Graça (CAVG)/UFPEL.

⁷ Professor Associado, Departamento de Solos – FAEM/UFPEL

1. INTRODUÇÃO

As variáveis que compõem o Sistema Solo-Água-Planta-Atmosfera, na maioria das situações se relacionam de forma dinâmica principalmente devido ao fato de que elas variam no tempo e no espaço. Dessa forma, a aplicação de ferramentas estatísticas que procuram levar em consideração a dinamicidade do sistema, bem como o comportamento local das variáveis em estudo tem aumentado nas últimas décadas (REICHARDT; TIMM, 2008). Dentre essas ferramentas, a abordagem de espaço de estados tem sido aplicada com sucesso por vários pesquisadores: Dourado Neto et al. (1999) estudaram a variabilidade espacial da umidade e da temperatura do solo usando um modelo autoregressivo de primeira ordem; Warrick et al. (1986) e Ahuja & Nielsen (1990) estudaram o relação entre a umidade do solo, temperatura do solo, salinidade, infiltração e produção da cultura; Cassel et al. (2000) estudaram a relação entre a produção de trigo, saturação de bases do solo e armazenamento de água no solo; Timm et al. (2004), estudaram a relação entre a umidade do solo, matéria orgânica, conteúdo de argila e estabilidade de agregados; Wendroth et al. (2006), estudaram a relação entre as propriedades hídricas do solo com a condutividade elétrica da solução do solo e a sua textura.

Para ambientes de solos de várzea, onde é produzido a maior parte do arroz consumido pela população brasileira (IRGA, 2008), poucos estudos têm sido conduzidos no intuito de avaliar o comportamento dinâmico entre as diferentes variáveis que compõem esse ambiente. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo estudar o relacionamento entre o conteúdo de água no solo na capacidade

de campo (θ_{CC}), porosidade total do solo (Pt) e carbono orgânico (Corg) por meio de um modelo auto-regressivo de espaço de estados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Em uma área experimental pertencente à EMBRAPA Clima Temperado, Estação Experimental Terras Baixas foi instalada uma malha regular com 100 pontos espaçados de 10 m entre si, em ambas as direções, i.e., na direção das coordenadas X e Y. Em cada ponto foram retiradas amostras de solo deformadas e com estrutura preservada na camada de 0 – 0,20 m de profundidade e determinados os atributos θ_{CC} , Pt e Corg seguindo metodologias descritas em Embrapa (1997) e Tedesco et al. (1995). Para a aplicação da metodologia de espaço de estados a malha experimental foi linearizada e transformado em uma transeção espacial de 100 pontos, de cada variável, espaçados de 10 entre si.

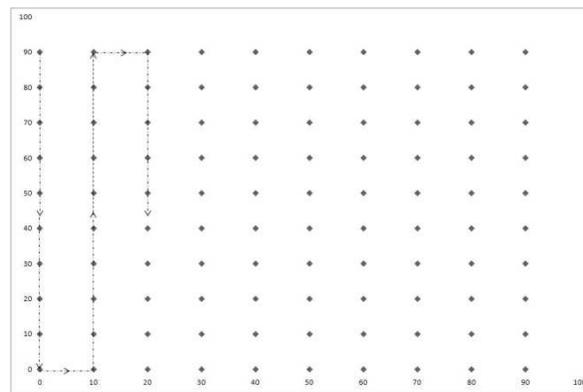


Figura 1. Malha experimental indicando os pontos amostrais e o caminho realizado para a construção da transeção espacial.

Todos os conjuntos de dados foram normalizados segundo a equação (1):

$$X_i = \frac{x_i - (m - 2s)}{4s} \quad \text{Eq. (1)}$$

sendo X_i a variável normalizada, x_i a variável observada, m a média amostral e s o desvio padrão. O software *Applied Statistical Time Series Analysis* (ASTSA) (SHUMWAY, 1988) foi utilizado para construir os autocorrelogramas, crosscorrelogramas e as equações de espaço de estados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentados os autocorrelogramas (Fig. 2-A), que indicam a distância de dependência espacial entre as observações adjacentes para cada uma das variáveis analisadas e os crosscorrelogramas (Fig.2-B) que apontam a faixa de dependência espacial entre essas variáveis. As observações adjacentes de θ_{CC} (Fig. 2-A₁) apresentam dependência espacial ao longo da transeção de até 10 *lags*, i.e., 100 m nesse estudo. Já as observações adjacentes de Pt (Fig. 2-A₂) são correlacionadas entre si de até 4 *lags* (40 m), enquanto que as de Corg (Fig. 2-A₃) são espacialmente dependentes de até 1 *lag* (10 m), ou seja, observações separadas de distâncias superiores a essas faixas são independentes entre si e a estatística clássica, que pressupõe a independência entre as amostras, deve ser aplicada. Analisando o comportamento dos crosscorrelogramas, verifica-se que

observações de θ_{CC} correlacionam-se espacialmente com as de Pt até 4 lags (40 m) (Fig 2-B₁) e com as de Corg até 2 lags (Fig 2-B₂), em ambas as direções. Já a relação de dependência espacial entre as observações de Corg e Pt foi de 10 m, em ambas as direções. Os resultados apresentados nos autocorrelogramas (Fig. 2-A) e nos crosscorrelogramas (Fig. 2-B) permitem a aplicação da abordagem de espaço de estados, por meio da construção de modelos autoregressivos de primeira ordem (Equações 2, 3 e 4), que explicam o comportamento dinâmico dos dados de θ_{CC} , Pt e Corg em uma dada posição i em função dos seus valores observados em uma posição $i-1$, i.e., vizinho de ordem 1.

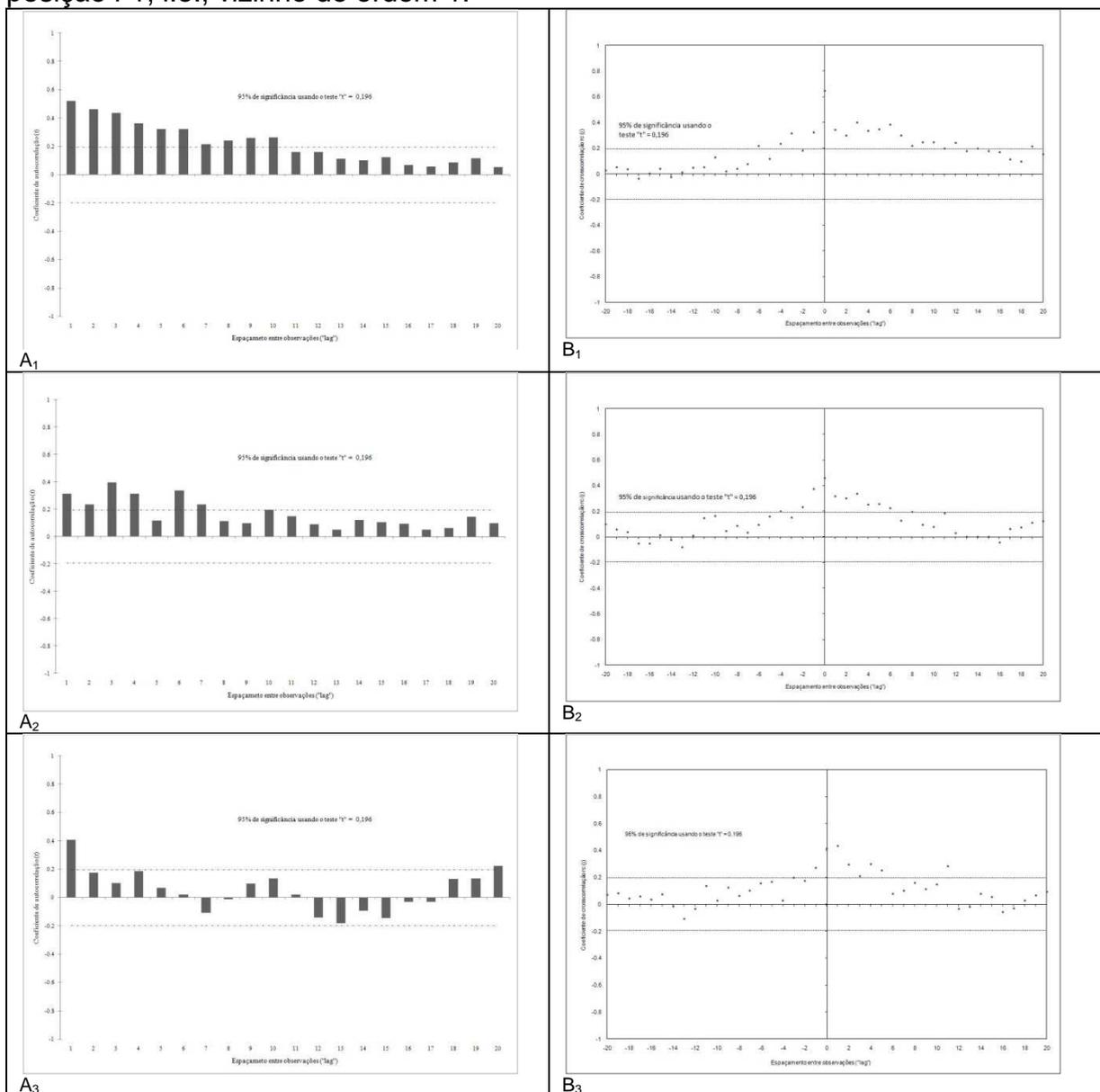


Figura 2. Autocorrelogramas para os dados de θ_{CC} (A₁), Pt (A₂) e Corg (A₃) e crosscorrelogramas entre θ_{CC} e Pt (B₁), θ_{CC} e Corg (B₂) e Pt e Corg (B₃).

Pela Equação 2 nota-se que as observações de θ_{CC} na posição $i-1$ contribuíram com 66,74% na estimativa de θ_{CC} na posição i , as de Pt com 41,54% e as de Corg com 73,96%, ou seja, as observações de Corg na posição $i-1$ possuem uma importância maior na estimativa dos valores de θ_{CC} na posição i em relação as demais. Na estimativa da variável Pt (Eq. 3), a maior contribuição foi da variável Corg na posição $i-1$, enquanto que para a estimativa da variável Corg na posição i

(Eq 4), a maior contribuição é dos seus valores observados na posição i-1 com 99,90%. Os coeficientes de determinação calculados entre os valores estimados, por meio dos modelos de espaço de estados, e os observados das variáveis θ_{cc} , Pt e C org foram de 0,873, 0,984 e 0,372, respectivamente, ou seja o melhor desempenho foi do modelo construído para estimar os dados de Pt.

$$\theta_{cc_i} = 0,6674*\theta_{cc_{i-1}} - 0,4154*Pt_{i-1} + 0,7396*C\ org_{i-1} \quad r^2 = 0,873 \quad \text{Eq. (2)}$$

$$Pt_i = 0,0233*Pt_{i-1} - 0,1279*\theta_{cc_{i-1}} + 1,0856*C\ org_{i-1} \quad r^2 = 0,984 \quad \text{Eq. (3)}$$

$$C\ org_i = 0,9990*C\ org_{i-1} - 0,0754*\theta_{cc_{i-1}} + 0,0643*Pt_{i-1} \quad r^2 = 0,372 \quad \text{Eq. (4)}$$

4. CONCLUSÕES

A variável carbono orgânico do solo foi a que apresentou as maiores contribuições nas estimativas das variáveis conteúdo de água no solo na capacidade de campo e porosidade total do solo. O modelo de espaço de estados construído para explicar o comportamento da variável porosidade total do solo na posição i com as demais variáveis na posição i-1 foi o que apresentou o melhor desempenho em termos de coeficiente de determinação.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo apoio financeiro e concessão de bolsas, à CAPES pela concessão de bolsas e à EMBRAPA pela concessão da área experimental.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHUJA, L.R.; NIELSEN, D.R. Field soil-water relations. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (eds.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, p. 143-190, 1990.
- CASSEL, D.K.; WENDROTH, O.; NIELSEN, D.R. Assessing spatial variability in an agricultural experiment station field: opportunities arising from spatial dependence. **Agronomy Journal**, 92: p.706-714, 2000.
- DOURADO NETO, D.; TIMM, L.C.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TOMINAGA, T.T.; CASSARO, F.A.M. State-space approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. **Scientia Agricola**, 56: p.1215-1221, 1999.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro,RJ. Embrapa Solos. 1997, 212p. il.(EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).
- IRGA. **Mercado do arroz**. Palestra Feliciano de Oliveira. Disponível em: < <http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/2008307103431.02>> Acesso em 10 jun. 2008.
- NIELSEN, D. R. & WENDROTH, O. **Spatial and temporal statistic - Sampling field soils and their vegetation**. Cremlingen-Desdedt, Catena-Verlag, 2003. 416 p.
- REICHARDT, K. & TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1ª reimpressão. São Paulo: Manole, 2008. 478p.
- SHUMWAY, R. H. **Applied statistical time series analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1988. 379p.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2a ed. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia. UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
- TIMM, L.C.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; CASSARO, F.A.M.; TOMINAGA, T.T.; BACCHI, O.O.S.; DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R. State-space approach

to evaluate the relation between soil physical and chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: p. 49-58, 2004.

WARRICK, A.W.; MYERS, D.E.; NIELSEN, D.R. Geostatistical methods applied to soil science. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of Soil Analysis*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy; **Soil Science Society of America**, cap. 3, p. 53-82., 1986.

WENDROTH, O.; KOSZINSKI, S.; PENA-YEWTUKHIV, E. Spatial Association among Soil Hydraulic Properties, Soil Texture, and Geoelectrical Resistivity. **Vadose Zone Journal**, 5: p. 341–355, 2006.