



VARIABILIDADE ESPACIAL DO RENDIMENTO DE CULTURAS E DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB SEMEADURA DIRETA

Oswaldo Guedes Filho^(1,*); Sidney Rosa Vieira^(1,); Glécio Machado Siqueira⁽²⁾ & Célia Regina Grego⁽³⁾**

(1) Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, Bolsista AGRISUS, Bolsista em Produtividade CNPq, Instituto Agronômico (IAC), Av. Barão de Itapura, 1481 CP 28, Campinas, SP CEP 13020-902. _____ (apresentador do trabalho) e _____; (2) Doutorando em Engenharia para o Desenvolvimento Rural, Bolsista MAEC-AECID, Departamento de Engenharia Agroflorestal, Universidade de Santiago de Compostela, Lugo, Espanha, 27002. _____; (3) Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite Av. Soldado Passarinho, 303 Fazenda Chapadão CEP 13070-115 Campinas, SP
Apoio: AGRISUS, CNPq, MAEC-AECID.

RESUMO: O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo relacionados com o seu estado de compactação favorece o manejo específico dos fatores de produção. Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo e da produtividade de distintas culturas em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta em Campinas (SP). A área em estudo está localizada no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico. A área de 3,42 ha vem sendo manejada desde 1985 com semeadura direta em rotação de culturas. Os atributos físicos do solo estudados foram: textura (g kg^{-1}), densidade (kg dm^{-3}), porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e resistência do solo à penetração (MPa). As culturas envolvidas neste estudo foram: labelabe (2002), milho (2003), triticale (2004) e mamona (2005). Os resultados indicam que a área de estudo não apresenta problemas de compactação. A parte lateral esquerda da área apresentou os maiores valores de produtividade e os menores valores de densidade e os maiores valores de porosidade total.

Palavras-chave: manejo do solo; agricultura de precisão; geoestatística

INTRODUÇÃO

No sistema de semeadura direta, os solos apresentam em geral, na camada superficial após três ou quatro anos, maiores valores de densidade e microporosidade, e menores valores de

macroporosidade e porosidade total quando comparados com o preparo convencional (Spera et al., 2004). Isto decorre, principalmente, do arranjo natural do solo, quando não é mobilizado, e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade (Stone & Silveira, 2001).

Por outro lado, o aumento do estado de compactação de um determinado solo pode desfavorecer o pleno desenvolvimento das culturas. Desta maneira, o estudo da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo relacionados com o estado de compactação, favorece o entendimento da interação entre estes atributos e a produtividade dos cultivos.

A análise geoestatística avalia e modela a variabilidade espacial dos diferentes atributos de solo e planta, empregando técnicas apropriadas de estimativa com variância mínima, para a representação espacial das propriedades de interesse agrícola. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo e da produtividade de distintas culturas em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta em Campinas (SP).

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em uma área experimental de 3,42 ha localizada no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico em Campinas (SP). As coordenadas geográficas da área são: latitude $22^{\circ} 53'$ Sul e longitude $47^{\circ} 04'$ Oeste,



com altitude média de 600 com cerca de 6 % de declividade.

O solo da área é um Latossolo Vermelho (Embrapa, 1999). A área vem sendo manejada desde 1985 com semeadura direta em rotação de culturas. As amostras de solo e planta foram coletadas em uma grade com espaçamento regular de 10 m x 10 m, totalizando 302 pontos de amostragem.

Os atributos físicos analisados foram: textura, densidade, porosidade e resistência do solo à penetração. A textura do solo foi avaliada por meio do método da pipeta utilizando amostras de solo solto coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade (Camargo et al., 1986). A densidade e a porosidade total foram coletadas utilizando anéis volumétricos de 100 cm³ na camada de 0-10 cm e analisados de acordo com Camargo et al. (1986). A resistência do solo à penetração foi avaliada utilizando uma penetrômetro de impacto modelo Stolf-Planalsucar (Stolf et al., 1983) até 20 cm de profundidade. Os dados de produtividade envolvidos neste estudo compreendem a colheita de lablab 2002 (*Dolichos lablab* L.), milho 2003 (*Zea mays* L.), triticale 2004 (*Triticum secale* L.) e mamona 2005 (*Ricinus communis* L.). Os dados de produtividade apresentados neste estudo foram normalizados de acordo com a expressão (1), possibilitando desta maneira a comparação da produtividade das diferentes culturas.

$$VN = \left(\frac{VP - VMin}{VMax - Vmin} \right) * 100 \quad (1)$$

onde, VN é o Valor Normalizado, VP o Valor no Ponto, VMin o Valor Mínimo; VMax o Valor Máximo.

A análise geoestatística foi realizada utilizando os procedimentos para ajuste e validação do semivariograma, conforme descrito por Vieira (2000). O método de interpolação krigagem foi utilizado para estimar valores para os locais não amostrados no campo. O software SURFER 7.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999) foi utilizado para construção dos mapas de isolinhas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística (Tabela 1) dos atributos físicos do solo demonstra que os maiores valores de coeficiente de variação (CV) estão atribuídos a

resistência do solo à penetração, concordando com Silva et al. (2004). A presença de elevados valores de variância e de coeficiente de variação para os atributos de planta já eram esperados em função da interação destes parâmetros com o ambiente. Valores de coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero, são um indicativo de distribuição de frequência normal, nesse sentido apenas, textura, densidade e RP_{0,5} cm apresentaram distribuição de frequência normal.

Os valores de média indicam haver um aumento dos valores de resistência do solo à penetração (RP) em profundidade. Todavia, Silva et al. (2004) estudando a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em Latossolo, encontraram maiores valores de média na camada superficial do solo. Camargo & Alleoni (1997) descrevem que valores de RP entre 1 MPa e 2,5 MPa não são considerados como restritivos para o desenvolvimento radicular. Todavia, verifica-se que a média da RP nas camadas mais profundas está acima de 2,5 MPa. Os mesmo autores descrevem ainda um valor de densidade do solo de 1,55 kg dm⁻³ como crítico. Por outro lado, Erickson (1982) descreve que um valor de porosidade total menor que 0,10 m³ m⁻³ são prejudiciais para os cultivos. Com isso, se confirma a sustentabilidade do sistema de semeadura direta com rotação de culturas para a área de estudo, Página: 2 [0]uma vez que os valores médios de densidade e porosidade encontrados, respectivamente 1,12 kg dm⁻³ e 0,59 m³ m⁻³ não estão dentro do limite crítico descrito na literatura.

Os parâmetros de ajuste do semivariograma (Tabela 2) permitem descrever que os atributos físicos do solo apresentam uma menor aleatoriedade entre amostras, uma vez que os valores de efeito pepita (C₀) são muito mais elevados para os atributos de planta, ou seja, representando uma variabilidade espacial que não foi detectada pelo processo de amostragem. Os valores de alcance (a) demonstram que as maiores manchas de variabilidade espacial estão presentes nos atributos texturais do solo (argila, silte e areia). Os valores de alcance para a densidade e a porosidade total estão em torno dos 75 metros. Os demais atributos apresentam valores de alcance baixos, indicando uma maior variabilidade dos dados. Apenas a resistência à penetração na camada de 5-10 cm de profundidade apresentou efeito pepita puro, ou seja, o espaçamento entre amostras não foi suficiente para detectar a variabilidade espacial deste atributo (Vieira, 2000). Todos os atributos que



apresentaram dependência espacial se ajustaram ao modelo esférico, confirmando este modelo como o que mais se ajusta aos parâmetros de solo e planta (Siqueira et al., 2008).

Os mapas de variabilidade espacial do conteúdo de argila, densidade e porosidade do solo apresentam similaridade de padrão espacial (Fig. 1), pois a parte lateral direita da área apresenta os maiores valores de argila, com conseqüente maiores valores de densidade do solo e menores valores de porosidade total, coincidindo com os resultados encontrados por Spera et al. (2004). No entanto, não há uma relação clara nos mapas de variabilidade espacial do conteúdo de argila no solo e os mapas de variabilidade espacial da resistência do solo à penetração, contudo de acordo com Stone & Silveira (2001), as zonas com maiores conteúdos de argila apresentam maior compactação, e, por conseguinte, maiores valores de resistência do solo à penetração. Os mapas da resistência à penetração demonstram uma menor uniformidade deste parâmetro na camada superficial (RP_{0-5}). Contudo em profundidade ocorre uma maior homogeneidade e um incremento dos valores de RP. Nesse sentido, pode-se descrever que este aumento da RP em profundidade, pode relacionar com uma camada de solo mais estruturada, onde são esperados maiores valores de densidade do solo e de microporosidade. Percebe-se também que os mapas de variabilidade espacial da densidade e da porosidade do solo, apresentam valores distintos dos limites críticos propostos por Camargo & Alleoni (1997) e Erickson (1982).

A análise conjunta dos mapas de variabilidade espacial da produtividade normalizada das culturas favorece a determinação de zonas de manejo com maior ou menor produtividade. Percebe-se que as colheitas de 2002, 2003 e 2005 a maior produtividade está relacionada com a parte lateral esquerda da área, que é a zona que apresenta o maior conteúdo de areia, a maior porosidade total e os menores valores de resistência à penetração. Nesse sentido, Abreu et al. (2004) descrevem a interação entre o estado de compactação de um solo, e a dinâmica da água no solo. Com isso, zonas com menores valores de compactação possuem uma maior quantidade de água infiltrada e armazenada, pois o fluxo de água no solo não está comprometido pela compactação. Desta maneira, corroborando para a manutenção dos maiores valores de produtividade na parte lateral esquerda da área para as culturas de labelabe, milho e mamona (Fig.1), o mapa de

produtividade de triticales apresentou um padrão comportamental diferente das demais culturas, devido ao ataque da lagarta do trigo (*Pseudaletia sequax Franclemont*) justamente no lado esquerdo da área. No entanto, pode-se ressaltar que algumas culturas se desenvolvem melhor em solos com maiores ou menores valores de compactação, e por esse motivo é difícil descrever valores críticos de atributos físicos do solo relacionados com o estado de compactação de um solo.

CONCLUSÕES

Os atributos físicos do solo apresentaram valores estatísticos e geoestatísticos mais estáveis que os atributos de planta envolvidos neste estudo. Os valores dos atributos físicos do solo demonstram não haver problemas de compactação para a área em estudo, após os 22 anos de manejo do solo sob o sistema de semeadura direta. A parte lateral esquerda da área apresentou a maior relação espacial entre produtividade e os atributos físicos do solo, favorecendo o manejo diferenciado na área.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 28(3): 519-531, 2004.
- CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Potafós, Piracicaba, 1997. 132 p.
- ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. Predicting tillage effects on infiltration. In: VAN DOREN, D.M. et al. (Ed.). Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Madison: ASA, 1982. cap.6, p.91-104. (ASA. Special Publication, 44).
- SILVA, V.R.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. Ciênc. Rural, 34(2): 399-406, 2004.
- SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R. & CEDDIA, M.B. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. Bragantia, 67: 693-699, 2008.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos



atributos físicos de solo e na produtividade. R. Bra. Ci. Solo, 28(3): 533-542, 2004.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. R. Bra. Ci. Solo, 28(3): 533-542, 2004.

STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto iaa/planalsucar-stolf: recomendação para seu uso. STAB, 1983, 18-23.

STONE, L.F. & SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. R. Bra. Ci. Solo, 25 (2): 395-401, 2001.



Tabela 1. Parâmetros estatísticos para os atributos de solo e planta.

| | Unidade | Média | Variância | CV (%) | Assimetria | Curtose |
|----------------------------------|--------------------------------|-------|-----------|--------|---------------------|----------------------|
| Atributos físicos do solo | | | | | | |
| Argila | g kg ⁻¹ | 561.1 | 31.40 | 9.99 | -0.280 | -0.960 |
| Silte | g kg ⁻¹ | 193.3 | 28.82 | 27.77 | 0.279 | -1.272 |
| Areia | g kg ⁻¹ | 245.3 | 4.02 | 8.17 | 0.970 | 1.867 |
| Densidade | kg dm ⁻³ | 1.12 | 0.006 | 7.13 | 0.070 | 0.333 |
| Porosidade total | m ³ m ⁻³ | 0,59 | 18.29 | 7.18 | -0.186 | 1.743 |
| RP 0-5 | MPa | 1.41 | 0.41 | 44.92 | 0.75 | 0.160 |
| RP 5-10 | MPa | 3.09 | 0.53 | 23.53 | 7.56E ⁻² | 1.692 |
| RP 10-15 | MPa | 3.32 | 0.69 | 24.99 | 5.77 | 62.090 |
| RP 15-20 | MPa | 3.23 | 0.57 | 23.32 | 2.92 | 17.760 |
| Atributos de Planta | | | | | | |
| Labelabe | kg ha ⁻¹ | 36.44 | 367.90 | 52.64 | 0.396 | 5.83E ⁻² |
| Milho | kg ha ⁻¹ | 54.73 | 270.90 | 30.08 | -0.607 | 1.713 |
| Triticale | kg ha ⁻¹ | 44.93 | 321.40 | 39.90 | 0.290 | -8.81E ⁻² |
| Mamona | kg ha ⁻¹ | 41.67 | 501.00 | 53.72 | 0.196 | -0.5722 |

CV: Coeficiente de variação.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos de solo e planta.

| | Modelo | C ₀ | C ₁ | a |
|----------------------------------|--------------------|----------------|----------------|------|
| Atributos físicos do solo | | | | |
| Argila | Esférico | 0.00 | 35.66 | 120 |
| Silte | Esférico | 4.55 | 27.03 | 120 |
| Areia | Esférico | 2.08 | 2.87 | 120 |
| Densidade | Esférico | 0.005 | 0.001 | 65 |
| Porosidade total | Esférico | 13.58 | 3.92 | 85 |
| RP 0-5 | Esférico | 0.25 | 0.15 | 20 |
| RP 5-10 | Efeito pepita puro | | | |
| RP 10-15 | Esférico | 0.3 | 0.3 | 27 |
| RP 15-20 | Esférico | 0.22 | 0.3 | 24 |
| Atributos de planta | | | | |
| Labelabe | Esférico | 120 | 228.0 | 41.0 |
| Milho | Esférico | 100 | 95.0 | 35.0 |
| Triticale | Esférico | 205 | 100.0 | 15.0 |
| Mamona | Esférico | 243.8 | 253.8 | 36.0 |

C₀: efeito pepita; C₁: variância estrutural; a: alcance (m).

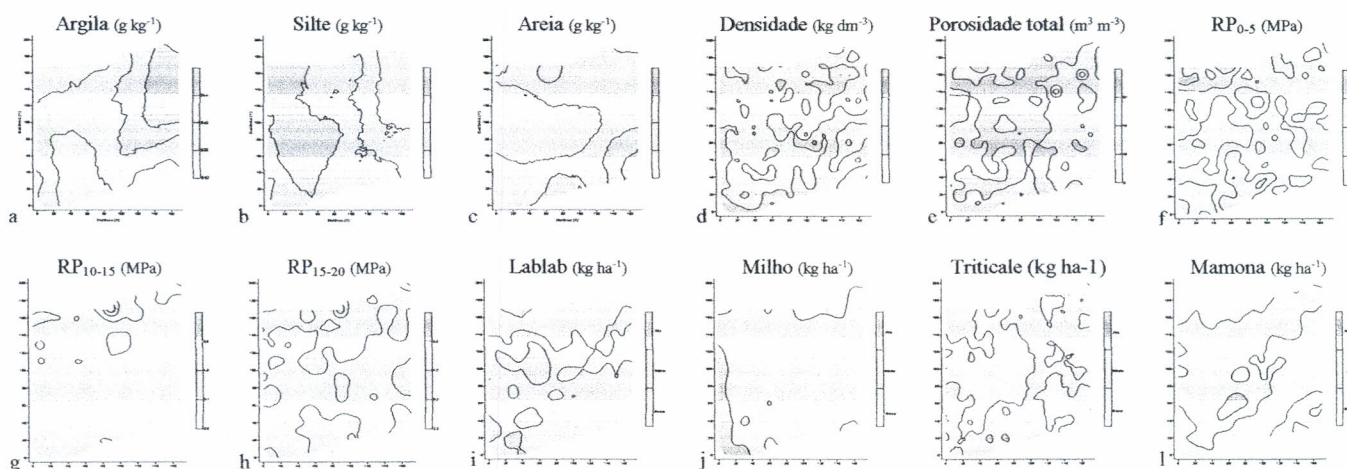


Figura 1. Mapas de variabilidade espacial para os atributos de solo e planta estudados.