



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8º ENEPE UFGD • 5º EPEX UEMS

Variabilidade espacial da resistência à penetração em área sob sistema plantio direto

Kamila Borges Castilho¹, Jorge Wilson Cortez², Anamari V. A. Motomiya²

¹ Mestranda em Engenharia Agrícola, UFGD-FCA, Dourados-MS.

² Professor(a) Adjunto FCA/UFGD.

Resumo

Compactação é o ato ou ação de forçar a agregação das partículas do solo e, por sua vez, reduzir o volume ocupado, é problema antigo e intensificou-se com a modernização da agricultura, principalmente pelo uso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas. O objetivo deste trabalho é avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração no perfil de um Latossolo Vermelho Distroférrico em área sob sistema plantio direto. Os dados foram coletados em quatro parcelas experimentais, sendo a coleta transversal ao deslocamento da máquina a cada 0,10 m nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50; 0,50-0,60 m, totalizando 66 pontos no perfil do solo. Os dados foram analisados pela estatística descritiva e pela geoestatística. Ocorreu baixa variação dos dados em relação à média, o que se confirma com os valores de mínima e do máxima. O grau de dependência espacial foi classificado como forte e por meio do coeficiente de variação pode-se classificar como homogênea. O efeito pepita foi praticamente zero, o que proporcionou maior confiança na estimativa. Com a validação cruzada se é possível atestar a qualidade da modelagem, sendo que este possui um coeficiente de regressão próximo de um e um erro padrão baixo. No mapa há uma variação dos dados do perfil do solo, sendo possível observar valores críticos de RP (>2 Mpa), que podem causar restrição ao desenvolvimento radicular das plantas. Já os menores valores de RP estão nas camadas superficiais.

Palavras-chave: compactação; resistência a penetração; geoestatística

Introdução

Do ponto de vista ecológico e global, a particularidade principal do solo é a sua capacidade de possibilitar o crescimento das plantas, sustentando a produção primária contínua (VARGAS, et al., 1997). Para LANZANOVA (2005), o ambiente solo, compreendido por suas fases sólida, líquida e gasosa, originalmente, encontra-se num estado de equilíbrio, onde organismos vivos (micro, meso e macro) se desenvolvem, raízes de plantas retiram nutrientes da matéria orgânica e dos minerais do solo para o seu desenvolvimento, e o ar e a água movimentam-se sem maiores impedimentos.

Nos tempos atuais, a agricultura moderna é caracterizada pela busca constante do aumento da produtividade das culturas agrícolas por meio da utilização da mecanização, irrigação, adubação química e aplicação de pesticidas, aliadas ao melhoramento dos genótipos vegetais. Entretanto, apesar desse cenário otimista, o impacto ambiental causado pela intensificação da exploração agrícola nem sempre recebeu a atenção necessária. A constatação do aumento de áreas agrícolas degradadas tem levado a uma mudança de concepção do uso da terra, baseada em uma visão holística do processo agrícola, onde os recursos naturais (solo, água e biodiversidade) são explorados de forma mais sustentável. (ZILLI, et al 2003).

A compactação pode ser descrita em termos da tensão aplicada no solo e as mudanças resultantes nas condições do mesmo. As mudanças que ocorrem nas propriedades físicas do solo incluem: aumento na densidade natural do solo; decréscimo no volume de macroporos; infiltração e movimento interno de água mais lentos; aeração mais pobre; e maior resistência mecânica do solo ao crescimento de raízes. A intensidade de compactação do solo vai depender da pressão exercida pelos pontos de apoio dos veículos, suas cargas e equipamentos, o número de vezes que os caminhos são atravessados e da textura e agregação do solo (SEIXAS, 1988).

A compactação do solo é um problema antigo e intensificou-se com a modernização da agricultura, principalmente pelo uso de máquinas cada vez maiores e mais pesadas. Quando o solo é compactado, sua resistência é aumentada e a porosidade total é reduzida às custas dos poros maiores. Com isso, o conteúdo volumétrico de água e a capacidade de campo são aumentados, enquanto a aeração, a taxa de infiltração de água e a condutividade hidráulica do solo saturado são reduzidas. Consequentemente, o escoamento superficial de água pode aumentar e o crescimento das plantas ser reduzido

em virtude da diminuição da disponibilidade de água, restrição ao crescimento das raízes e aeração deficiente. (REICHERT, et al., 2007).

Existem diversos fatores que ocasionam um crescimento deficiente do sistema radicular de plantas cultivadas, podendo ser citados: danos causados por insetos e moléstias, deficiências nutricionais, acidez do solo, drenagem insuficiente, baixa taxa de oxigênio, temperatura imprópria do solo, compactação do solo e dilaceramento radicular. Dentre essas limitações, a compactação do solo toma, muitas vezes, dimensões sérias, pois ao causar restrição ao crescimento e desenvolvimento radiculares, acarreta uma série de problemas que afetam direta e indiretamente a produção das plantas (CAMARGO et al., 2006).

Os sistemas de manejo alteram as propriedades físicas e químicas do solo; sendo aqueles em que há maior revolvimento de terra os que apresentam maiores índices de alteração. O menor revolvimento do solo no sistema plantio direto reduz o contato do solo com os materiais vegetais e diminui a velocidade de decomposição, comparado ao sistema convencional, no qual ocorre revolvimento do solo, fragmentação, incorporação e exposição dos restos vegetais à ação mais intensa dos microrganismos, que atuam na sua decomposição (SOUZA NETO et al., 2008).

O objetivo deste trabalho é de avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração no perfil de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto.

Metodologia

O estudo foi realizado na fazenda experimental da UFGD, no município de Dourados, localizado no estado do Mato Grosso do Sul. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 1999) com os dados da granulometria apresentados na Tabela 1. O clima é caracterizado como Cwa, conforme Köppen (AYOADE, 1986), com precipitação média anual de 1.500 mm e temperatura média anual de 22°C.

A umidade do solo foi obtida por meio da análise termogravimétrica descrito em EMBRAPA (1997), a partir de amostras coletadas aleatoriamente nas profundidades correspondentes ao teste de resistência a penetração (Tabela 1).

Tabela 1. Granulometria e umidade do Latossolo Vermelho da área experimental

Camadas	Argila	Silte	Areia	Umidade
(m)	-----%-----			kg kg ⁻¹
0,00-0,10	59,78	21,73	18,49	21,58
0,10-0,20	59,26	22,24	18,50	21,87
0,20-0,30	62,31	19,79	17,91	22,70
0,30-0,40	62,83	20,23	16,94	30,94
0,40-0,50	64,31	18,90	16,79	27,82
0,50-0,60	64,86	19,72	15,42	29,01

Antes da instalação deste experimento a área foi preparada com arado de discos (0,30 m de profundidade), seguido de gradagem destorroadora-niveladora (0,15 m de profundidade), seguido de subsolagem com equipamento de 5 hastes (0,50 m de profundidade) e nova gradagem destorroadora-niveladora (0,15 m de profundidade) para eliminar problemas físicos do solo e nivelar o terreno. Para estabelecer uma cultura de cobertura na área foi semeada aveia (60 sementes por metro a 0,04 m de profundidade e espaçamento de 0,20 m entre linhas) no dia 21 de maio de 2013, que posteriormente foi dessecada e manejada com triturador de palhas. Em outubro de 2013 semeou-se a cultura da soja e em março de 2014 a cultura do milho para a safrinha. Assim, a área estava sob semeadura de inverno com a cultura do milho safrinha, sendo utilizado na semeadura uma semeadora-adubadora de 5 linhas, com espaçamento de 0,90 m. Os dados foram coletadas na fileira central da parcela.

A resistência à penetração (RP) foi avaliada por meio de um penetrômetro de impacto - Stolf. Foram coletados cinco pontos a direita e cinco pontos a esquerda da linha central, mais o ponto na linha, espaçados a cada 0,10 cm, totalizando 11 pontos de amostragem transversal. Cada ponto foi amostrado nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50; 0,50-0,60 cm, totalizando 66 pontos. O valor da RP em cada camada foi considerado um ponto. Nos gráficos e mapas foi considerado o valor médio da camada para representação (0,05; 0,15; 0,25; 0,35; 0,45; 0,55 m).

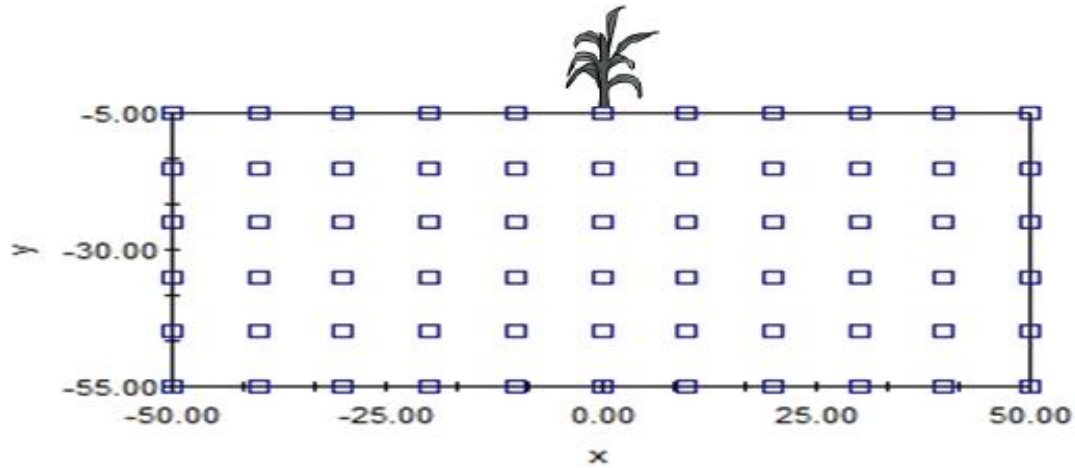


Figura 1. Grde com indicaão dos pontos amostrais.

Para visualizaão geral do comportamento dos dados de RP, foi utilizado à estatística descritiva para obtenão de média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variaão, mínimo, máximo, assimetria e curtose. No ajuste do semivariograma os modelos teóricos foram testados e o que melhor se ajustou foi selecionado para o ajuste do semivariograma. Tais ajustes foram encontrados a partir do melhor coeficiente de determinação (R^2) e da menor soma de quadrados de resíduos.

A semivariância foi calculada para todos os pares de pontos possíveis a fim de determinar o índice de dependência espacial. A semivariância foi estimada por meio da seguinte equação (VIEIRA, 2000):

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

Em que,

$\gamma^*(h)$ = semivariância estimada para distância h;

$N(h)$ = número de pares de valores medidos;

h = vetor que separa a posição das mediões;

$Z(x_i)$ = valor da variável na posição x;

$Z(x_i+h)$ = valor da variável na posição x + h.

O IDE (índice de dependência espacial), que é a relação entre o efeito pepita (C_0) e o patamar (C_0+C), foi calculado utilizando-se a Equação 2 descrita por Guimarães (2004):

$$IDE (\%) = \frac{C_0}{C_0 + C} \times 100 \quad (2)$$

Para analisar o IDE, foi utilizado as seguintes proporções: (i) dependência forte menor que 25%; (ii) dependência moderada de 25% a 75%; (iii) dependência fraca maior que 75%; e (iv) independência entre as amostras, quando a relação for igual a 100%.

O modelo escolhido foi posto a prova por meio da validação cruzada. A validação mostra a idéia que se o fenômeno foi satisfatoriamente modelado, é possível reproduzir, com boa aproximação, a informação da amostra.

Em seguida à modelagem dos semivariogramas, foi realizada a interpolação por krigagem ordinária, sendo esta uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade em locais não amostrados. A krigagem, no entanto, faz uso de um interpolador linear não tendencioso e de variância mínima, que assegura a melhor estimativa dos dados não amostrados. Por meio de interpolação por krigagem os mapas de isolinhas (bidimensionais) foram construídos para o detalhamento espacial do perfil da RP.

Resultado e discussão

Pode-se observar que os dados de resistência à penetração (RP) apresentaram uma média de 3,90 MPa e uma dispersão média de 1,32 MPa, portanto uma variação de 33,96%, podendo se afirmar que os dados se dispersaram pouco em relação à média (Tabela 2). Esta afirmação se reforça pôr o menor valor observado (1,06 MPa) e do maior valor observado (6,29 MPa), que mostra que além de uma pouca variação, também não houve valores discrepantes. Também pode-se afirmar que há uma tendência simétrica dos dados, já que valores de assimetria e curtose próximos de zero indicam distribuição normal aproximada dos dados (GUIMARÃES, 2004).

Segundo Nogueira (2007), um coeficiente de variação maior que 35% revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado; se for maior que 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum, porém se for menor que 35% a

série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. Considerando esses dados, essa série pode ser considerada homogênea, já que o CV% 33,96%.

Tabela 2. Resultados da análise estatística descritiva dos dados da resistência do solo a penetração.

Parâmetros	Resistência à penetração
N	66
Desvio padrão	1,3251
Mínimo	1,060
Máximo	6,290
Média	3,9009
CV	33,96%
Assimetria	-0,22
Curtose	-0,67

N-Número de observações; CV%-Coeficiente de variação

O modelo do semivariograma que melhor se adequou foi o esférico (Tabela 3 e Figura 2). Concordando com os resultados obtidos por MCBRATNEY & WEBSTER (1986), citados em BOTTEGA et al. (2011), que verificaram que o ajuste do variograma para as propriedades do solo nos modelos esférico e exponencial foram os encontrados com maior frequência.

Em ZIMBACK (2003) é feita uma citação sobre CAMBARDELLA et al. (1994) que propôs os seguintes intervalos para avaliar a % da semivariância do Efeito Pepita: $\leq 25\%$ - forte dependência espacial; entre 25% e 75% - moderada dependência espacial e $\geq 75\%$ - fraca dependência espacial. De acordo com esta classificação, o GDE encontrado é forte, sendo este resultado semelhante ao encontrado por JUNIOR et al. (2008) ao caracterizar a dependência espacial da RP em relação a profundidade (até 0,50 m) sob preparo convencional e plantio direto.

Neste ajuste, o valor do alcance foi de 61,00, indicando que valores a distância inferiores a esta foram correlacionados entre si e um R^2 de 0,83, que é considerado alto.

Tabela 3. Parâmetros do semivariograma ajustado aos dados da resistência do solo a penetração.

Parâmetros	Resistência à penetração
Modelo	Esférico
C₀	0,00100
C	2,297

GDE	0,043
A₀	61,00
R²	0,83

C₀ – Efeito pepita; C – contribuição; A₀ - Alcance; GDE - Grau de Dependência Espacial; R²- Coeficiente de determinação.

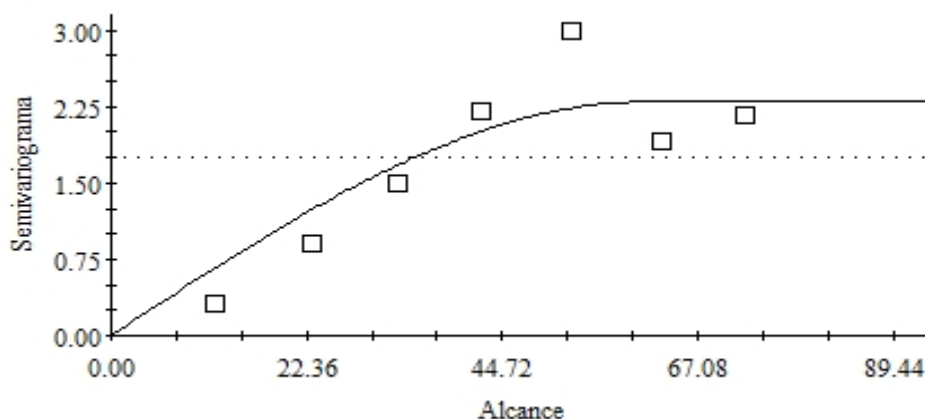


Figura 2. Semivariograma esférico correspondente a resistência à penetração.

O efeito pepita praticamente foi zero e segundo GUIMARÃES (2004), quanto menor for a proporção do efeito pepita para o patamar do semivariograma, maior será a continuidade do fenômeno e a variância da estimativa, e maior será a confiança que se pode ter na estimativa.

Para a confirmação do modelo dos dados apresentados foi feita a validação cruzada, afim de apresentação da qualidade da modelagem. O valor ideal do coeficiente de regressão deve ser igual a um (ROBERTSON, 1998), sendo esta validação considerada excelente por apresentar o coeficiente de regressão de 1,029 e coeficiente de determinação de 0,94 (Figura 3). O erro padrão (SE = 0,032) refere-se ao desvio-padrão do coeficiente de regressão, indicando um erro muito baixo.

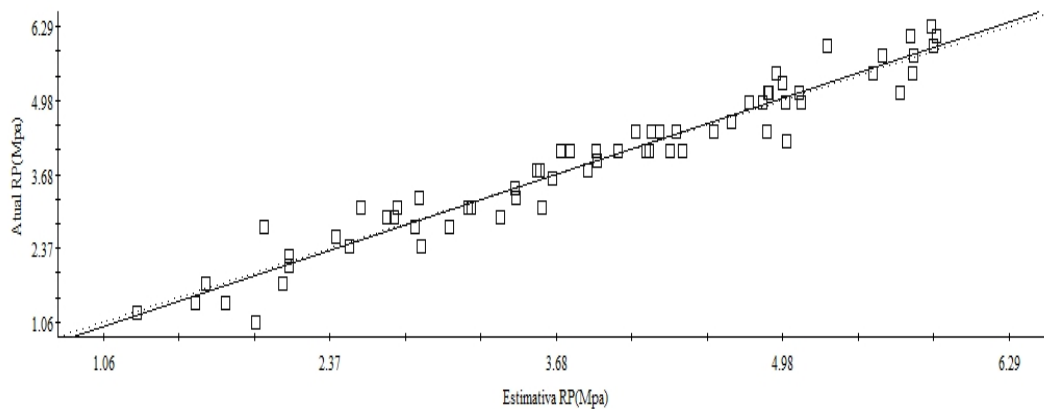


Figura 3. Validação cruzada dos dados de resistência à penetração.

Com o mapa da RP no perfil do solo pode-se perceber que houve variação dos valores de RP em relação as profundidade e espaçamentos (Figura 4). De maneira geral, os menores valores estavam na superfície até 0,10 m com valores de até 2,0 MPa. A partir de 0,10 m os valores de RP foram até 4,0 MPa na camada de 0,40 m, em alguns locais até 0,30 m, e abaixo desta camada os valores de RP foram de 4,0-6,0 MPa. Alguns autores citam que valores de resistência do solo à penetração acima de 2,0 Mpa são restritivos ao crescimento e ao funcionamento do sistema radicular (BENGHOUGH et al., 2011; TAYLOR et al., 1966; TORMENA et al., 1998).

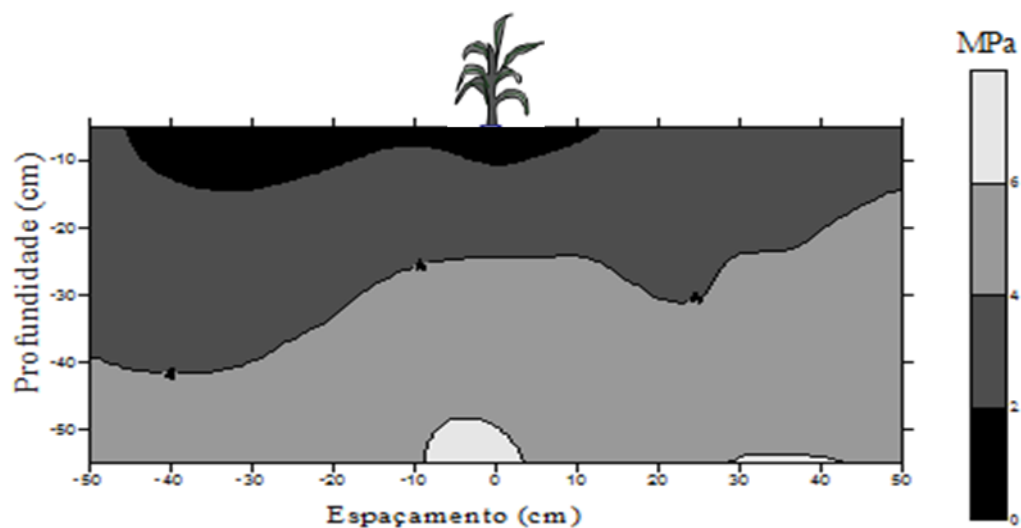


Figura 4. Mapa da resistência à penetração no perfil do solo.

Conclusão

Ocorreu baixa variação dos dados em relação à média, o que se confirma com os valores de mínima e do máxima.

O grau de dependência espacial foi classificado como forte e por meio do coeficiente de variação pode-se classificar como homogênea. O efeito pepita foi praticamente zero, o que proporcionou maior confiança na estimativa. Com a validação cruzada se é possível atestar a qualidade da modelagem, sendo que este possui um coeficiente de regressão próximo de um e um erro padrão baixo.

No mapa há uma variação dos dados do perfil do solo, sendo possível observar valores críticos de RP (>2 Mpa), que podem causar restrição ao desenvolvimento radicular das plantas. Já os menores valores de RP estão nas camadas superficiais.

Referências

BENGOUGH, A. G.; MCCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; VALENTINE, T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **J. exper. Bot.**, 62:59-68, 2011.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. de A.; de QUEIROZ, D. M.; de SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência a penetração em um Latossolo Vermelho Distroférrico. Recife. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. v.6, n.2, p.331-336, 2011.

CAMARGO de, O. A.; Alleoni, L.R.F. **Conceitos Gerais de Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/Comp1.htm>>.

de SOUZA NETO, E.L.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J.F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília. v.43, n.2, p.255-260. 2008.

GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 77p. (Apostila).

LANZANOVA, M. E. Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária. Brasil. 142 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.

JUNIOR, J. de D. G. dos S.; de SÁ, M. A. C.; HURTADO, S. M. C.; REIN, T. A.; SHIRATSUCHI, L. S. Variabilidade espacial da Resistencia a Penetração no perfil do solo sob semeadura direta e preparo convencional. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados. 2008. 14p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/ Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X; 208).

NOGUEIRA, M. C. S. Experimentação agrônômica I. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 463p.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Tópicos de Ciência do solo. n.5. p.49-134. 2007.

ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Michigan. Gamma Desing Software. 151p. 1998.

SEIXAS, F. Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos práticas de controle. Piracicaba, São Paulo. IPEF: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1988. 11p. (IPEF: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica, 163).

TAYLOR, H.M. *et al.* soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

TORMENA, C.A. *et al.* Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.22, p.573-581, 1998.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Biologia dos solos dos Cerrados. Planaltina. Embrapa-CPAC. p.524. 1997.

VIEIRA, S.R. Geoestatística Aplicada a Agricultura de Precisão. In: Borém, A.; Giudice, M.P.; Queiroz, D.M.; Mantovani, E.C.; Ferreira, L.R.; Valle, F.X.R.; Gomide, R.L. (ed.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: UFV, 2000. p. 93-108.

ZILLI, J. E. RUMJANEK, N. G; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. Cadernos de Ciência & Tecnologia. Brasília. v.20. n.3. p.391-411. 2003.

ZIMBACK, C. R. L. Geoestatística. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2003. 25p. (Apostila).