



Variabilidade espacial de atributos físicos do solo por análise de agrupamento de pontos amostrais

Spatial variability of physical soil attributes by cluster analysis of sample points

Renato Paiva de Lima¹, Anderson Rodrigo da Silva², Jaqueline Aparecida Raminelli²

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Departamento de Tecnologia Rural, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP:52171-900, Recife, PE. renato_agro_@hotmail.com

² Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências Exatas, Piracicaba, SP

Recebido em: 06/05/2013

Aceito em: 27/08/2013

Resumo. O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo constitui-se em uma importante ferramenta para o emprego do manejo adequado para elaboração do planejamento experimental. O objetivo deste trabalho foi analisar, via análise de agrupamento, a variabilidade espacial de atributos físicos do solo de uma área utilizada para planejamento experimental agrônômico. O trabalho foi desenvolvido no município de Areia, Paraíba, em área experimental de Latossolo Amarelo. As amostras foram coletadas nas camadas de 0,0-0,2 m, em uma malha amostral de 30 × 30 m, com um total de 49 pontos espaçados em 5 m. Os atributos físicos analisados foram: densidade do solo, umidade, teor de argila, porosidade total, além da resistência à penetração. Houve formação de cinco grupos distintos, apontando indícios de variabilidade dos atributos físicos na área experimental, sendo observados grupos com características favoráveis e desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas. A variação nas médias de resistência à penetração foi a mais evidente na separação dos grupos.

Palavras-chave. Análise de agrupamento, mecânica do solo, resistência à penetração

Abstract. Knowledge of the variability of soil properties constitutes an important tool for employment of adequate management of the experimental design. The goal of this study was to investigate, through cluster analysis, the spatial variability of soil physical properties from an area used for experimental design. The work was developed in Areia, Paraíba, at experimental area of Oxisol. The samples were collected in layer 0.0-0.2 m, in a grid of 30 × 30 m, with 49 points spaced at 5 m. The physical attributes analyzed were: bulk density, moisture content, clay content, total porosity, and penetration resistance. There were five distinct groups, indicating evidence of physical attributes variability at the experimental area, being observed groups with favorable and unfavorable to plant development. The variation in average penetration resistance was the most evident on the separation of groups.

Keywords. Cluster analysis, soil mechanics, penetration resistance

Introdução

O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo constitui-se numa importante ferramenta para o emprego do manejo adequado, estratégias de amostragem e planejamento de delineamento de pesquisa em campo (Cavalcante et al., 2007). Sabe-se que esta variabilidade ocorre em função de vários fatores, como: diferentes classes de solo, manejo adotado no solo e nas plantas, da cultivar, processos erosivos, do relevo, entre outros (Leão et al., 2010; Skorup et al., 2012; Bottega et al., 2013).

Carneiro et al. (2009) explicam que o desempenho das culturas agrícolas está relacionado

a fatores que envolvem a dinâmica dos componentes do solo, e modificações em sua estrutura, causadas principalmente pelo manejo, que refletem em diferentes manifestações de seus atributos físicos, os quais poderão ser desfavoráveis à conservação do solo. No entanto, a qualidade física do solo pode ser avaliada pelo comportamento de suas propriedades (Pignataro Netto et al., 2009; Kato e Goedert, 2009).

Ribon & Tavares Filho (2008) destacam que atributos importantes como a resistência à penetração, densidade do solo, umidade, juntamente com outros componentes indicadores da qualidade física do solo, podem favorecer no diagnóstico do grau de compactação, sendo de fundamental

importância para escolha do sistema de preparo mais adequado ao crescimento e desenvolvimento das culturas.

Para o acompanhamento desses atributos físicos do solo de forma precisa, Carvalho et al. (2010) explicam que o conhecimento espacial dos atributos do solo em determinada área pode ser importante para a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental, assim como é importante para a definição da grade de amostragem do solo para sua caracterização, possibilitando, desta maneira, reduzir o erro padrão da média, maximizando a eficiência. É possível, portanto, que, dentro de uma mesma área, formem-se grupos ou frações do perfil com características similares, por ação natural do solo, ou por efeito do próprio manejo (Leão et al., 2010; Skorup et al., 2012; Bottega et al., 2013). A formação destes grupos por efeito da heterogeneidade da área pode ser prejudicial para o planejamento agrícola e experimental, afetando futuras conclusões.

A análise de agrupamento pode separar os elementos amostrais em grupos de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com relação aos atributos neles mensurados (Mingoti, 2007). Assim, o objetivo é dividir um conjunto original de dados em grupos, segundo critérios de similaridade ou dissimilaridade (Cruz; Ferreira & Pessoní, 2011), que contribuiria para identificação de fontes potenciais de variabilidade da área, facilitando o planejamento agrícola.

Portanto, o objetivo deste trabalho, foi analisar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo de uma área utilizada para planejamento experimental agrônômico utilizando análise de agrupamento.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado no período de agosto de 2010 a maio de 2011, na Fazenda Experimental Chã-de-Jardim, município de Areia, localizado na microrregião do Brejo Paraibano, sob as coordenadas geográficas 6° 58' 12" S e 35° 42' 15" W, com altitude média de 619 m.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como As⁷, quente e úmido com chuvas de outono-inverno com precipitações médias anuais de 1.200 a 1.400 mm (sendo que mais de 75% destas estão concentradas no período de março a agosto), temperatura média anual oscilando entre 22 e 26 °C e umidade relativa do ar entre 75 e 87% (Brasil, 1972).

O estudo foi conduzido em área experimental de Latossolo Amarelo, classificado segundo Embrapa (2006), cujos valores de argila, silte e areia, são, 420, 90 e 490 g kg⁻¹, respectivamente, textura argilo-arenosa. A área em estudo vinha sendo utilizada sob intervalos de cultivos nos últimos 25 anos, com rotação das culturas do milho e feijão, e no momento da amostragem estava sob pousio após colheita de milho. No último cultivo, o preparo do solo foi realizado de forma convencional, com uma aração e uma gradagem até a profundidade de 0,2 m, e a semeadura realizada manualmente, bem como a colheita. Não houve escarificação ou revolvimento do solo após a implantação da última cultura, no caso, o milho.

As amostras foram coletadas nas camadas de 0,0-0,2 m, em uma malha de 30 × 30 m, com um total de 49 pontos espaçados em 5 m (Figura 1).

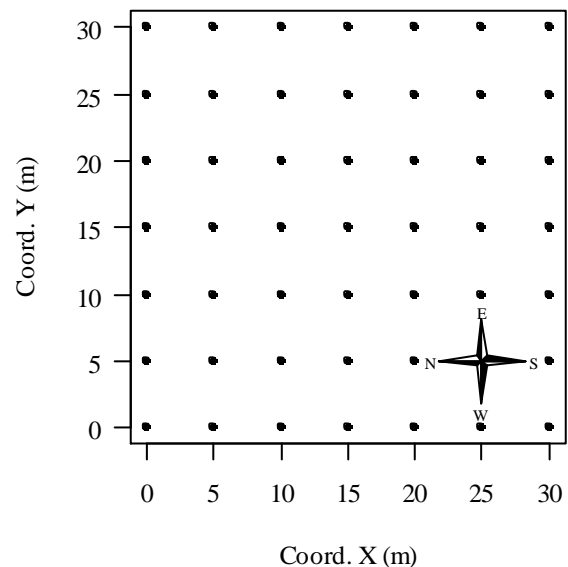


Figura 1. Grade amostral utilizada na área experimental.

Os atributos físicos analisados foram: resistência à penetração (MPa), porosidade total (m³ m⁻³), umidade do solo (cm³ cm⁻³), densidade do solo (Mg m⁻³) e teor de argila (g kg⁻¹), além da densidade de partículas (Mg m⁻³) para o cálculo da porosidade do solo.

Amostras com estrutura preservada foram coletadas em anéis de volume conhecido, utilizando um trado tipo Uhlund. Estas amostras foram embaladas em papel filme e encaminhadas até o laboratório. A partir das mesmas foram determinadas a densidade do solo, umidade do solo e

as frações granulométricas (areia, silte e argila), ambas seguindo metodologia proposta por Embrapa (1997). Amostras deformadas também foram coletadas para análise da densidade de partículas, segundo Embrapa (1997). A porosidade do solo foi calculada com base na expressão, apresentada em Embrapa (1997), apresentada abaixo:

$$PT = \left[1 - \left(\frac{DS}{DP} \right) \right],$$

em que:

PT = porosidade total;

DS = densidade do solo;

DP = densidade de partículas.

Para coleta dos dados de resistência mecânica à penetração foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, com metodologia sugerida por Stolf (1991).

A distância quadrada generalizada de Mahalanobis foi adotada como medida de dissimilaridade entre os pontos amostrais para realizar o agrupamento com o algoritmo de Ward (1963).

O método de Mojena (1977), que é baseado no tamanho relativo dos níveis de fusão do dendrograma, foi utilizado para indicação do ponto de corte. A proposta é selecionar o número de

grupos no estágio j que, primeiramente, satisfizer a $\alpha_j > \theta$, em que α_j é o nível de fusão correspondente ao estágio j ($j = 1, 2, \dots, g - 1$), θ é o valor referencial de corte, dado por: $\theta = \bar{\alpha} + k\hat{\sigma}_\alpha$, em que $\bar{\alpha}$ e $\hat{\sigma}_\alpha$ são, respectivamente, a média e o desvio padrão dos valores de α ; k é uma constante cujo valor a ser adotado, conforme sugerido por Milligan e Cooper (1985), é de $k = 1,25$ como regra de parada na definição do número de grupos.

A análise de agrupamento foi realizada com a função “hclust”, pacote *stats*, do software R versão 2.15.2 (R Core Team, 2012).

Resultados e Discussão

Na Figura 2 é apresentado o dendrograma com o resultado da análise de agrupamento dos pontos amostrais da área experimental. De acordo com o critério Mojena (1977), foi possível detectar a formação de cinco grupos, com base no corte realizado a uma dissimilaridade de 30, que representa cerca de 42% do último nível de fusão, indicando que os grupos formados apresentam internamente, no máximo, 42% de dissimilaridade, em relação a maior dissimilaridade.

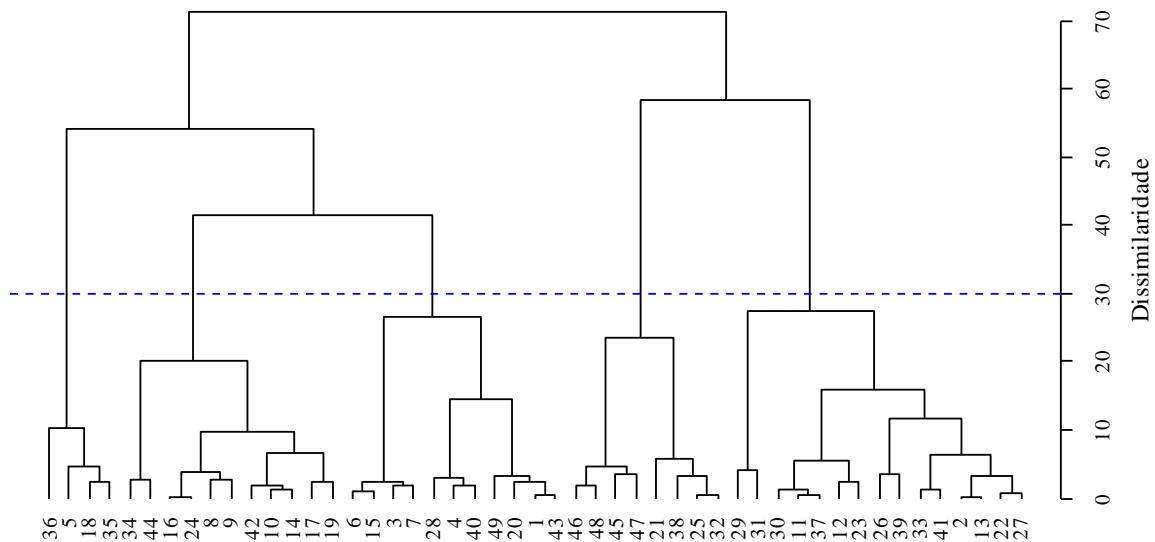


Figura 2. Dendrograma obtido com o algoritmo de Ward com base na distância quadrada generalizada de Mahalanobis.

Em relação aos pontos amostrais, os grupos identificados no dendrograma são constituídos da seguinte forma: Grupo 1 (G1) (34, 44, 16, 24, 8, 9, 42, 10, 14, 19); Grupo 2 (G2) (46, 48, 45, 47, 21, 28, 35, 32); Grupo 3 (G3) (36, 5, 18, 35); Grupo 4 (G4)

(6, 15, 3, 7, 28, 4, 40, 49, 20, 1, 43) e Grupo 5 (G5) (29, 31, 30, 11, 37, 12, 23, 26, 39, 33, 41, 2, 13, 22, 27).

Na Tabela 1 observam-se as médias das variáveis físicas analisadas por grupo. Pela variação

das médias de cada variável, verifica-se que a variação nas médias de resistência à penetração foi a mais evidente na separação dos grupos. Com essa

formação de grupos, verifica-se que na área experimental há indícios de variabilidade, principalmente da resistência à penetração.

Tabela 1. Média \pm desvio padrão das variáveis físicas do solo para os grupos de pontos amostrais da área experimental.

Grupos	RP	PT	U	DS	TA
	MPa	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	Mg cm ⁻³	g kg ⁻¹
1	1,45 \pm 0,23	0,52 \pm 0,02	0,24 \pm 0,02	1,28 \pm 0,06	362 \pm 26
2	1,50 \pm 0,37	0,55 \pm 0,02	0,24 \pm 0,02	1,15 \pm 0,06	399 \pm 40
3	1,75 \pm 0,29	0,48 \pm 0,02	0,24 \pm 0,01	1,35 \pm 0,06	426 \pm 32
4	2,00 \pm 0,31	0,46 \pm 0,03	0,31 \pm 0,02	1,41 \pm 0,10	369 \pm 38
5	2,10 \pm 0,37	0,47 \pm 0,02	0,25 \pm 0,01	1,40 \pm 0,06	362 \pm 28

RP: resistência à penetração; PT: porosidade total; U: umidade do solo; DS: densidade do solo; TA: teor de argila.

Cada grupo é formado por combinações semelhantes das cinco variáveis em análise, sendo possível destacar que um determinado conjunto de pontos que formam um grupo detém características semelhantes de resistência à penetração, porosidade total, umidade do solo, densidade e teor de argila. Dessa forma, os pontos que apresentam valores de resistência à penetração em torno de 1,45 MPa expressam valores de porosidade total próximos a 0,52 m³ m⁻³, bem como valores de umidade em torno de 0,24 m³ m⁻³.

As pesquisas têm demonstrado grande variação para resistência à penetração, como apontam Silva et al. (2009), que estudaram o comportamento desta variável em sistema convencional e verificaram ausência de dependência espacial. Os autores concluíram que mesmo com a uniformização da área pelo preparo do solo, a resistência à penetração variou ao ponto de não expressar dependência espacial.

Cavalcante et al. (2011) estudaram resistência à penetração em diversos sistemas de manejo, verificando altos valores no coeficiente de variação, bem como efeito pepita puro, ou seja, ausência de dependência espacial.

Embora haja uma separação clara entre as médias de resistência à penetração entre os grupos, outros atributos apresentam valores médios distintos, como pode ser visto na Figura 3.

No grupo 1, destacam-se as médias de densidade e porosidade, apresentando uma alta porosidade e densidade média em relação aos outros grupos. As médias de umidade, teor de argila e resistência à penetração são inferiores às dos outros grupos.

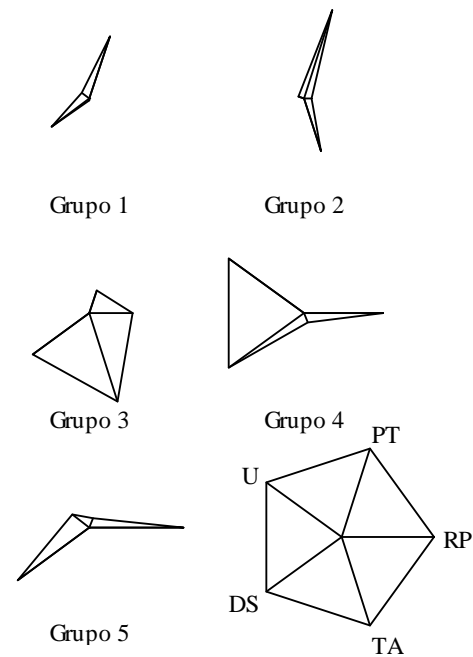


Figura 3. Representação em estrelas das médias de grupos para variáveis: resistência à penetração (RP), teor de argila (TA), densidade do solo (DS), umidade (U) e porosidade total (PT).

No grupo 2, foi observada a maior média da porosidade total, bem como um alto teor médio de argila e baixos valores de umidade, densidade e resistência a penetração. No grupo 3, observa-se a maior média de teor de argila, aliado a altos valores de densidade, porosidade e resistência à penetração.

No grupo 4, pode-se observar alta média de umidade, densidade e resistência à penetração e baixos valores nas médias de porosidade total e teor de argila. Já no grupo 5, destacam-se as variáveis densidade do solo e resistência a penetração,



apresentando também baixos valores de porosidade total, umidade e teor de argila.

Analisando o comportamento das variáveis, verifica-se que há uma tendência de acréscimo nos valores de densidade do solo e resistência à penetração quando ocorre diminuição no volume de poros, ou seja, porosidades mais baixas acarretaram em valores de densidades do solo e resistências à penetração mais altas, corroborando com os resultados encontrados por Cunha et al. 2010, que em estudo sobre atributos físicos do solo, verificou correlação negativa entre densidade e porosidade total. Schiavo et al. (2012) também obtiveram resultados semelhantes em estudos de agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária, obtendo

valores de -0,8 para correlações entre densidade e porosidade. Segundo Ribon et al. (2003), altos valores de resistência à penetração do solo reduzem os espaços vazios, aumentando a densidade dos solos e, em consequência, prejudicam a infiltração de água no solo e o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, aumentando o escoamento superficial.

Na Tabela 2, observar-se as distâncias quadradas generalizadas de Mahalanobis entre os cinco grupos formados, em que a maior das distâncias pode ser verificada entre os grupos 2 e 4, provavelmente devido ao contraste anteriormente citado entre o aumento da densidade e resistência à penetração e diminuição da porosidade total.

Tabela 2. Distâncias quadradas generalizadas de Mahalanobis entre cinco grupos formados com o algoritmo de Ward.

	1	2	3	4
2	8,20			
3	4,94	9,91		
4	7,24	10,74	5,58	
5	3,78	9,71	4,29	5,75

Em termos de abrangência dos grupos formados, como apontado acima, o G5 é o que apresenta o maior número de pontos, quinze no total, contra 10 do G1, 7 do G2, 4 do G 3 e 11 do G4. Verifica-se ainda que o G5 demonstra as características mais desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas em relação aos demais, com maior resistência e densidade do solo e menor porosidade. Já o G1, apresenta menores médias de resistência à penetração e densidade do solo e maior média de porosidade total quando comparado com o G5, tornando-se um grupo com melhores condições físicas para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

O fato de alguns conjuntos de pontos apresentarem certas condições no que se refere a atributos físicos do solo, tais como, maiores valores de densidade e resistência à penetração, e conseqüentemente diminuição no volume de poros, pode ocasionar no ambiente, variações favoráveis e desfavoráveis ao crescimento das plantas, como apontaram Calonego et al. (2011) e Imhoff et al. (2000), em pesquisas realizadas sobre a relação entre atributos físicos e crescimento das plantas.

Conclusões

Houve formação de cinco grupos distintos, apontando indícios de variabilidade dos atributos físicos na área experimental, sendo observados grupos com características favoráveis e desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas.

A variação nas médias de resistência à penetração foi a mais evidente na separação dos grupos.

Referências

- BENEDETTI, M. M.; DUARTE, I. N.; MELO JUNIOR, H. B.; BORGES, E. N. Resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes usos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, p. 1-9, 2010.
- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; CARVALHO PINTO, F. A.; SOUZA, C. M. A.. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, p. 1-9, 2013.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. I – Levantamento exploratório reconhecimento de solos da Paraíba. II - Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: 1972.



670 p. (MA, Boletim Técnico, 15, Série Pedologia, 8).

CALONEGO, J. C.; GOMES, T. C.; SANTOS, C. H.. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 289-296, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S. AZEVEDO, W, R.. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, S. R. L.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação barreiras. **Cadernos de Geociências**, v. 7, p.63-79, 2010.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, 1329-1339, 2007.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.237-243, 2011.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 620p.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M.. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. i – atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589-602, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema**

brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, 2000.

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T.. O relevo na interpretação da variabilidade espacial dos teores de nutrientes em folha de citros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1152-1159, 2010.

MILLIGAN, G. W.; COOPER, M. C. **An examination of procedures for determining the number of cluster in a data set**. Psychometrika, v.50, p.159-179, 1985.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297p.

MOJENA, R. Hierarchical grouping method and stopping rules: an evaluation. **Computer J.**, v. 20, p. 359-363, 1977.

MOJENA, R. Hierárquical grouping method and stopping rules: an evaluation. **Computer Journal**, v.20, p.359-363, 1977.

PIGNATARO NETO, I. T.; KATO, E. GOEDERT, W, J.. Atributos físicos e químicos de um Latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1441-1448, 2009.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 04 nov., 2012.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; PEREIRA, G. T.. Densidade e resistência à penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum**, v. 25, p. 13-17, 2003.



RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J.. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1817-1825, 2008.

SCHIAVO, J. A.; COLODRO, G.. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, v. 71, p.406-412, 2012.

SILVA, J. M.; PASSOS, A. L. R.; BELTRÃO, F. A. S.. Análise espacial da densidade, umidade e resistência mecânica do solo à penetração sob sistemas de cultivo. **Engenharia Ambiental**, v. 6, p. 103-118, 2009.

SKORUP, A. L. A.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, C. P. C.; SCOLFORO, J. R. S.; MELO MARQUES, J. J. G. S.. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 11-22, 2012.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 229-235, 1991.

WARD, J. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of American Statistical Association**, v.58, p.236-244, 1963.