



**Eficiência de Malhas Amostrais na
Caracterização da Variabilidade Espacial de Atributos Físicos do Solo**
Efficiency of Sample Knittings on the
Characterization of Space Variability of Physical Attributes of Soil

Fabiane Pereira Machado Dias¹; João Rodrigo de Castro¹; Flávia de Jesus Nunes²;
Ana Carolina Rabelo Nonato²; Fábio Botelho Júnior²; Jondson Augusto Rebouças Fé²;
Davi Ney Santos² & Júlio César Azevedo Nóbrega²

¹ Universidade Federal de Goiás,

Rodovia Goiânia – Nova Veneza, Km 0, s/n, Campus Samambaia, 74.690-900, Goiânia - Goiás

² Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,

Rua Rui Barbosa, 710, Centro, 44.380-000, Cruz das Almas - Bahia

E-mails: fabianemachadodias@hotmail.com; joaorodrigo2005@gmail.com; faujnunes@hotmail.com; eng.anacarol@gmail.com;

fabiototelhojunior@yahoo.com.br; jondsonaugusto_27@hotmail.com; davineysantos@gmail.com; jcanobrega@ufrb.edu.br

Recebido em: 05/04/2017 Aprovado em: 04/06/2017

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_31_36

Resumo

O avanço do conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo, por meio do uso de ferramentas da agricultura de precisão e geoestatística, tem sido considerado como uma estratégia de manejo que visa maximizar a produtividade agrícola. Objetivo foi avaliar a eficiência de malhas amostrais na caracterização da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo na cultura do fumo. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Capivari, no município de Governador Mangabeira, Bahia. Avaliou-se: resistência do solo à penetração de raízes e condutividade hidráulica em duas malhas regulares, de 15x15 e 25x25 m, georreferenciadas. A resistência à penetração foi avaliada mediante o uso de penetrômetro de impacto. A determinação da condutividade hidráulica foi realizada por meio de ensaios em permeâmetro de carga constante. Os valores de resistência à penetração da malha 1 (15x15m) concentraram-se na faixa de pouca limitação a penetração de raízes, enquanto que na malha 2 (25x25m) no perfil abaixo dos 0,40 m valores superiores a 2,6 MPa, o que já implica em algumas limitações à penetração de raízes. Os dados demonstram que a malha amostral de maior dimensão apresenta grande potencial em detectar diferentes escalas de variabilidade espacial dos atributos físicos avaliados em Latossolos sob cultivo de fumo.

Palavras-chave: Compactação do solo; condutividade hidráulica; fumo

Abstract

The improvement in the knowledge of the spatial variability of soil attributes through the use of precision agriculture and geostatistics tools, have been considered as a management strategy to maximize agricultural productivity. The aim of this study was to evaluate the efficiency of sample meshes in characterizing the spatial variability of soil physical attributes in the tobacco crop. The work was developed at Fazenda Capivari, in the municipality of Governador Mangabeira, Bahia. It was evaluated: soil resistance to root penetration and hydraulic conductivity in two regular meshes, 15x15 and 25x25 m, georeferenced. The penetration resistance was evaluated using an impact penetrometer. The determination of hydraulic conductivity was made by means of constant load permeability tests. The values of resistance to penetration by the mesh 1 (15x15m) were concentrated in the range of little limitation to root penetration, whereas in the mesh 2 (25x25m) in the profile below 0,40 m values greater than 2,6 MPa, the Which already implies in some limitations to the roots penetration. The data demonstrated that the larger sampling mesh shows great potential in detecting different scales of spatial variability of the physical attributes evaluated in Oxisols under tobacco cultivation

Keywords: Soil compaction; hydraulic conductivity; tobacco

1 Introdução

A agricultura de precisão é considerada uma tecnologia agrícola que visa potencializar a produtividade e o rendimento econômico das culturas. Quando surgiram as primeiras indicações de amostragem de solo sistematizada em malhas, o objetivo era focar o manejo da variabilidade dos solos de acordo as necessidades de aplicação, visando a otimização dos insumos agrícolas (Coelho, 2005) e redução dos danos ambientais (Tschiedel & Ferreira, 2002).

Atualmente o geoprocessamento tem sido uma ferramenta essencial no desenvolvimento da agricultura de precisão, viabilizando a coleta de solos por meio de malhas amostrais, permitindo determinar a variabilidade dos atributos do solo (Cherubin *et al.*, 2015), de forma que permita otimizar o manejo agrícola localizado. A variabilidade espacial dos atributos físicos do solo pode ser afetada por diversos fatores, a exemplo do clima, relevo, material de origem, tempo (Carvalho *et al.*, 2003) e práticas de manejo e uso do solo. Neste sentido, a identificação dos pontos de dependência espacial em áreas agrícolas é de suma importância para otimização do manejo localizado.

Diversos estudos têm sido realizados a fim de identificar a dimensão da malha amostral mais adequada (Carvalho *et al.*, 2002; Grego & Vieira, 2005; Souza *et al.*, 2006). No Rio Grande do Sul, Cherubin *et al.* (2015) verificaram que malhas menores ou iguais a 100x100 m são as mais indicadas para caracterizar variabilidade espacial de atributos químicos do solo. Para os atributos físicos do solo estudos dessa natureza são poucos existentes na literatura.

No entanto, Oliveira *et al.* (2013) no sul do estado do Amazonas verificaram que os atributos físicos do solo possuem dependência espacial e que a variabilidade observada nos solos sob diferentes usos podem ser alterados em função do manejo adotado. É sabido que o sucesso da agricultura consiste no bom manejo do solo, entretanto, sua qualidade é totalmente dependente da amostragem do solo. Atualmente as áreas comerciais sob manejo da agricultura de precisão no Brasil têm feito uso de malhas regulares, que consistem em malhas de 100x100 ou 175x175 m, que por razões

econômicas geram uma amostra a cada 1 ha ou 3 ha, respectivamente (Cherubin *et al.*, 2014).

Na região do Recôncavo da Bahia, a produção de fumo ocorre desde meados do século XX, com destaque para os municípios de Cruz das Almas e Governador Mangabeira considerados a capital do fumo, com foco no mercado de exportação. A Bahia responde por 12 % da produção total de fumo na região nordeste do país com uma área total de 6.422 hectares plantados correspondendo a 6.274 toneladas produzidas (IBGE, 2006). Historicamente o manejo de solos adotado nestas áreas tem sido o convencional com o uso de práticas de aração e gradagem no preparo do solo, o que segundo Cavalcante *et al.* (2011) são práticas que contribuem para a variabilidade de atributos físicos do solo.

Dado a carência de trabalhos caracterizando a variabilidade espacial de atributos físicos do solo em áreas sob produção de fumo na região do Recôncavo da Bahia, predominantemente constituída por Latossolos Amarelos coesos, e visando a recomendação de uma malha amostral mais apropriada para o monitoramento agrícola em áreas comerciais produtoras de fumo, visto que, a resistência a penetração e a condutividade hidráulica limitam a produtividade das culturas, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de duas malhas amostrais na caracterização da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo na cultura do fumo.

2 Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido em 2015 na Fazenda Capivari, localizada no município de Governador Mangabeira, região do Recôncavo da Bahia, cujas coordenadas geográficas são 12 ° 36 ' 00 " S, 39 ° 02 ' 00 " W, altitude de 200 m e temperatura média anual de 25 °C. As análises de solo foram realizadas no laboratório de física do solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB. Na tabela 1 são apresentados os dados de caracterização textural do solo sob estudo.

| PROFUNDIDADE (m) | %ARGILA | %AREIA | %SILTE |
|------------------|---------|--------|--------|
| 0,0-0,10 | 17,3 | 75,8 | 6,8 |
| 0,10-0,20 | 17,6 | 73,6 | 8,7 |

Tabela 1 Caracterização textural da área de amostragem de solo nas profundidades de 0,0–0,10 e 0,10-0,20 m de um Latossolo Amarelo coeso sob cultivo de fumo.

Em uma área comercial sob cultivo de fumo, por décadas produzindo sob sistema de manejo convencional do solo, foram demarcadas duas malhas amostrais para avaliação georeferenciada da resistência à penetração (RP) e condutividade hidráulica do solo: malha 1 estabelecida nas dimensões de 15 x 15 m (49 pontos de coleta) e malha 2 nas dimensões de 25 x 25 m (16 pontos de coleta). Em cada um dos pontos de amostragem das duas malhas foram obtidos os valores de resistência à penetração, umidade gravimétrica e condutividade hidráulica em três repetições. A medida da resistência à penetração foi avaliada até 0,70 m de profundidade.

A RP foi avaliada mediante o uso de penetrômetro de impacto – modelo IAA/Planalsucar; a massa de impacto de quatro quilos sofreu uma queda livre de 40 cm. Os obtidos da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) foram convertidos em resistência dinâmica à penetração (MPa) por meio da fórmula dos “holandeses”, segundo Stolf (1991), a seguir:

$$R(\text{kgf cm}^{-2}) = \frac{(Mg + mg) + \frac{M}{M+m} \times Mg \times h/X}{A} \quad (1)$$

Sendo R a resistência à penetração em kgf cm^{-2} ($\text{kgf cm}^{-2} \times 0,098 = \text{MPa}$), M é a massa do embolo (4kg), Mg corresponde a 4 kgf, m é a massa do aparelho sem embolo (3,2 kg), mg corresponde a 3,2 kgf, h é a altura de queda do embolo (0,4 m), x é a penetração da haste do aparelho (cm/impacto), A é a área do cone ($1,29 \text{ cm}^2$) e g é a aceleração da gravidade. Para cada área e profundidade foram coletadas amostras deformadas de solo para determinação da umidade. A conversão da RP em kgf cm^{-2} para MPa se deu através da fórmula (Stolf, 1991):

$$RP = 5,6 + 6,89(N) \quad (2)$$

sendo obtidos em kgf cm^{-2} e depois multiplicando o resultado da equação 1 pela constante 0,0981.

A determinação da condutividade hidráulica nas amostras de solo foi realizada por meio de ensaios em permeâmetro de carga constante. O volume da água percolado na unidade de tempo foi anotado, até ficar constante, sendo calculada a condutividade hidráulica através da seguinte equação:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times H \times t} \quad (\text{cm/h}) \quad (3)$$

Em que: K = condutividade hidráulica em cm h^{-1} ; Q = volume do percolado em mL, ou seja, o valor da última leitura quando não há variação entre os valores anteriores, ou a média das duas leituras quando há alguma variação; L = altura do bloco do solo em cm; H = altura do bloco do solo e da coluna em cm; A = área do cilindro em cm^2 ; t = tempo em horas.

A elaboração dos mapas espaciais com os valores determinados a partir dos atributos físicos se deu por meio da IDW (Inverse Distance Weighted – Ponderação do Inverso da Distância), utilizando-se a análise geoestatística, importante para análise da variabilidade espacial dos dados, de acordo com a superfície modelada. Os pontos georreferenciados foram divididos em malha 1, cujo espaçamento foi de 15m^2 , contendo 49 pontos e malha 2 com 25m^2 e 16 pontos.

Os dados foram analisados via estatística descritiva, obtendo-se média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose, para se ter uma visão geral de como se comportavam os dados. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a análise descritiva dos dados foi realizada com auxílio do programa ASSISTAT 7.7 (SILVA & AZEVEDO, 2006).

3 Resultados e Discussão

Os resultados referentes à análise descritiva dos atributos avaliados (Tabela 2), indicam ajuste de distribuição normal, com exceção dos dados de condutividade hidráulica da malha 1. Nos dados de resistência a penetração pode-se observar que os valores das médias e medianas estão bastante próximos, o que indica distribuições simétricas, confirmados pelos valores de assimetria próximos a zero. O teste Kolmogorov-Smirnov confirmou normalidade para a variável de resistência à penetração de raízes no solo em todas as profundidades estudadas, em ambas as malhas amostrais.

Todos os valores de resistência à penetração da malha 1 concentraram-se na faixa de pouca limitação a penetração de raízes. De acordo com os valores de

classificação de limites críticos citados por Ribeiro *et al.* (2013), o solo pode apresentar resistência à penetração de até 2,5 MPa sem ocasionar em nenhum estresse para planta. Já na malha 2 observa-se no perfil abaixo dos 0,40 m valores superiores a 2,6 MPa, o que já implica em algumas limitações à penetração de raízes (Figura 1).

| Estatística | Resistência à Penetração | | Condutividade Hidráulica | |
|---------------------|--------------------------|---------|--------------------------|---------|
| | Malha 1 | Malha 2 | Malha 1 | Malha 2 |
| 0,0-0,20 m | | | | |
| Média | 1,03 | 1,05 | 16,93 | 31,75 |
| Mediana | 1,03 | 1,05 | 12,92 | 28,85 |
| Desvio padrão | 0,05 | 0,05 | 13,67 | 18,41 |
| Assimetria | 0,52 | 0,48 | 1,16 | 0,26 |
| Curtose | 0,93 | -0,46 | 1,25 | -1,03 |
| ¹ CV (%) | 0,00 | 0,00 | 186,87 | 339,2 |
| ² d | 0,11 | 0,19 | 0,15 | 0,15 |
| 0,20-0,40 m | | | | |
| Média | 1,50 | 1,63 | - | - |
| Mediana | 1,50 | 1,62 | - | - |
| Desvio padrão | 0,11 | 0,15 | - | - |
| Assimetria | 0,52 | 0,56 | - | - |
| Curtose | 0,93 | -0,39 | - | - |
| ¹ CV (%) | 0,01 | 0,02 | - | - |
| ² d | 0,10 | 0,12 | - | - |
| 0,40-0,60 m | | | | |
| Média | 1,5 | 2,39 | - | - |
| Mediana | 1,5 | 2,34 | - | - |
| Desvio padrão | 0,11 | 0,50 | - | - |
| Assimetria | 0,52 | 0,73 | - | - |
| Curtose | 0,93 | 1,02 | - | - |
| ¹ CV (%) | 0,01 | 0,25 | - | - |
| ² d | 0,10 | 0,11 | - | - |
| 0,60-0,70 m | | | | |
| Média | 1,5 | 3,25 | - | - |
| Mediana | 1,5 | 3,49 | - | - |
| Desvio padrão | 0,11 | 0,69 | - | - |
| Assimetria | 0,52 | -1,22 | - | - |
| Curtose | 0,93 | 0,69 | - | - |
| ¹ CV (%) | 0,01 | 0,48 | - | - |
| ² d | 0,10 | 0,20 | - | - |

¹CV = coeficiente de variação; ²d = teste de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 2 Estatística descritiva para resistência à penetração e condutividade hidráulica em amostras coletadas nas malhas amostrais nas profundidades de 0,0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,70 m de um Latossolo Amarelo coeso sob cultivo de fumo.

Os dados demonstram também que o aumento da dimensão da malha amostral resulta em aumento da amplitude de valores máximos e mínimos encontrados para a resistência à penetração do solo. Isso indica que o aumento do número de amostras coletadas, não necessariamente, irá resultar em

maior variabilidade espacial no solo. Assim, tem-se que a menor malha amostral (malha 2 com 16 pontos de coleta) pode sim viabilizar a identificação de pontos com potenciais de restrição ao desenvolvimento das plantas, possibilitando a correção e o manejo localizado.

Cherubin *et al.* (2015) ao avaliarem dimensões de malhas amostrais adequadas para atributos químicos do solo no Sul do Brasil, sugeriram reduzir a dimensão da malha, pois segundo os autores, a densidade amostral pode promover maior precisão da variabilidade. Entretanto, há necessidade de identificar malhas amostrais menos densas que permitam gerar mapas espaciais com a mesma confiabilidade nos dados, visando, sobretudo, economia e praticidade no manejo da agricultura de precisão sem interferir no aumento da produtividade.

Para a condutividade hidráulica saturada (Figura 2) verifica-se que os dados variaram de 0,66 a 61,29 cm hora⁻¹ na malha 1 e de 5,04 a 59,80 cm hora⁻¹ na malha 2. Pode-se observar um comportamento oposto ao que ocorreu nos mapas das malhas de resistência à penetração, em que o aumento da dimensão da malha não resultou em aumento da amplitude dos valores. Entretanto, a análise dos dados através da construção dos mapas espaciais constatou que a malha 2 foi capaz de detectar variabilidade no solo tanto quanto a malha com menor distância entre os pontos, o que demonstra que mesmo com menor número de pontos é possível otimizar o manejo localizado do solo.

De acordo Melo Filho & Libardi (2005), a condutividade hidráulica está entre as propriedades do solo, que apresentam maior índice de variabilidade, podendo haver certa dificuldade quanto ao planejamento de amostragem, além da utilização e extrapolação de valores médios, em estudos de campo de dinâmica da água no solo. Desta maneira, a construção de mapas espaciais com malhas amostrais adequadas que possibilitem a visualização da variabilidade das áreas, pode-se configurar em uma ferramenta eficaz que permite identificar as falhas de manejo existentes na propriedade estudada, a fim de se ter um melhor planejamento e escolha de um manejo eficiente, assim como promover a conservação do solo.

4 Conclusões

Os mapas espaciais de variabilidade de resistência à penetração podem ser úteis na delimitação de espaçamentos de plantio, uma vez que, o plantio em áreas com elevada compactação reduzem a

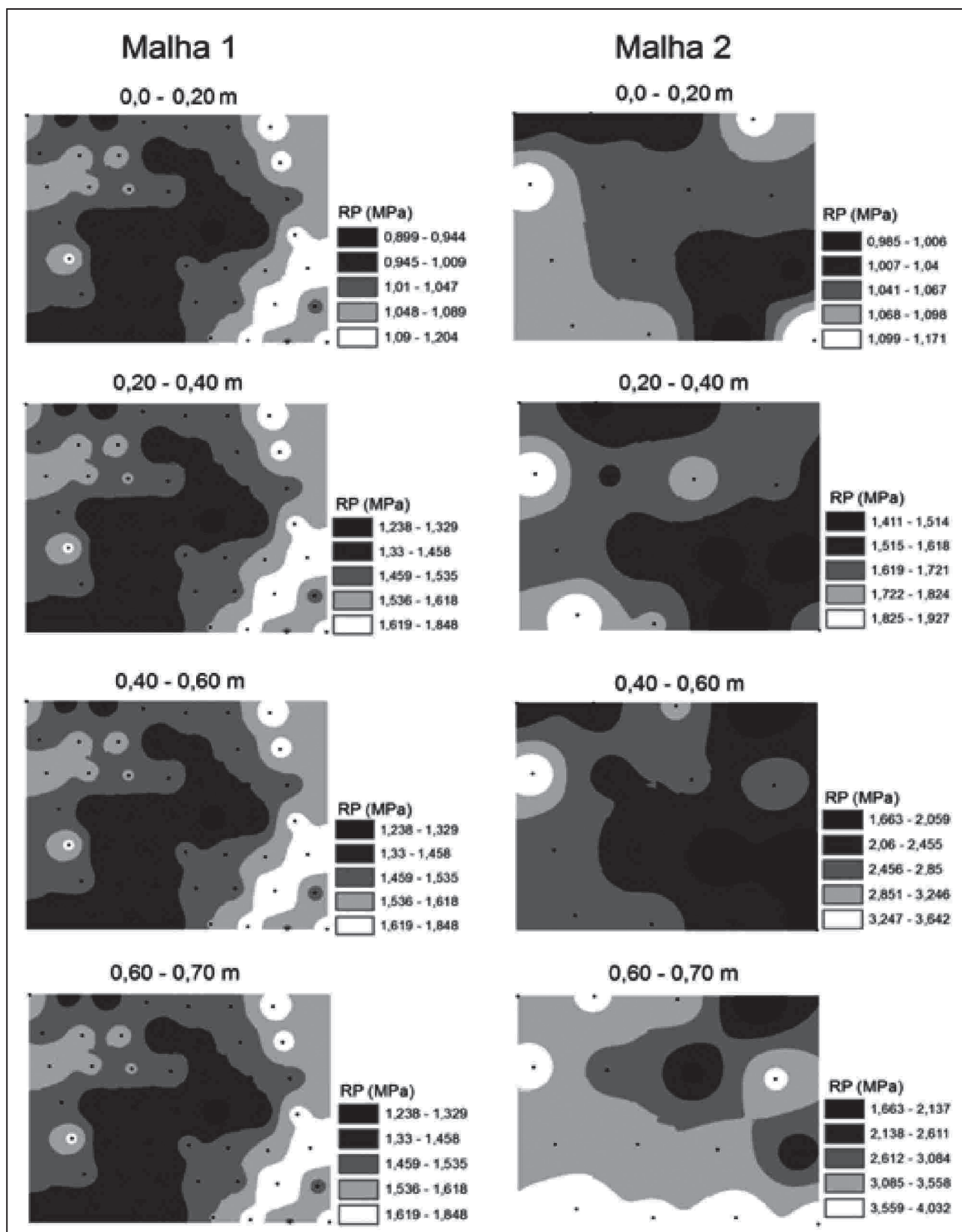


Figura 1 Mapas da distribuição espacial dos valores de resistência à penetração do solo com dois espaçamentos diferentes entre pontos amostrais em um Latossolo Amarelo coeso sob cultivo de fumo. Malha 1 – Composta por 49 pontos distanciados em 15m²; Malha 2 - Composta por 16 pontos distanciados a 25m².

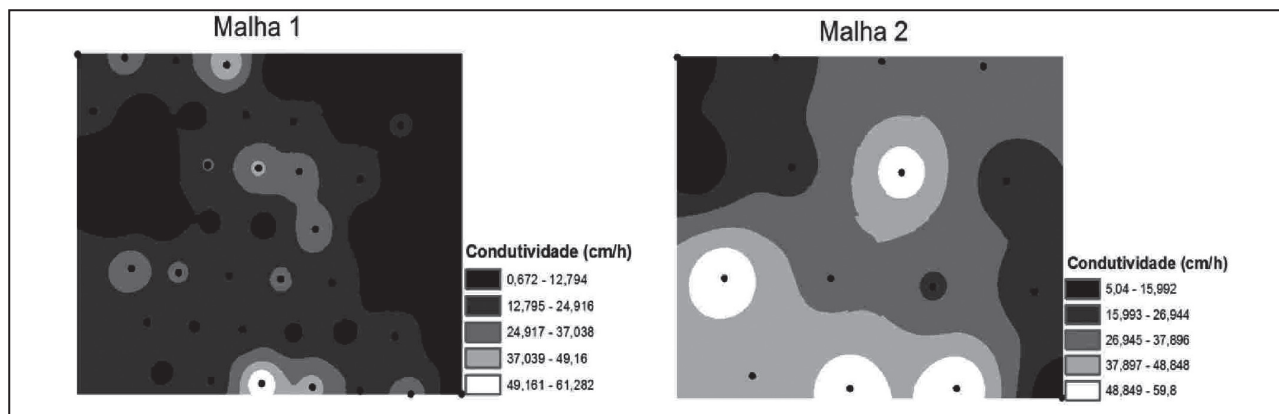


Figura 2 Mapas da distribuição espacial dos valores de condutividade hidráulica do solo saturado com dois espaçamentos diferentes entre pontos amostrais em um Latossolo Amarelo coeso sob cultivo de fumo. Malha 1 – Composta por 49 pontos distanciados em 15m²; Malha 2 - Composta por 16 pontos distanciados a 25m².

produtividade da cultura, bem como podem facilitar intervenções localizadas. A malha amostral de maior dimensão demonstrou grande potencial em detectar diferentes escalas de variabilidade espacial dos atributos físicos avaliados em Latossolos sob cultivo de fumo.

5 Agradecimentos

À Empresa DANCO Comércio e Indústria de Fumo LTDA pela concessão da área de estudo e apoio técnico-logístico durante a condução das atividades no campo. Ao programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB pelo apoio na execução desse trabalho e pela infraestrutura de laboratórios disponibilizada. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das bolsas de graduação e pós-graduação aos autores e equipe de pesquisa.

6 Referências

Carvalho, M.P.; Takeda, E.Y. & Freddi, O.S. 2003. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27(4): 695-703.

Carvalho, J.D.; Silveira, P.D. & Vieira, S.R. 2002. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(8): 1151-1159.

Canarache, A. 1991. Factors and indices regarding excessive compactness of Agricultural soil. *Soil & Tillage Research*, 19: 145-165.

Cavalcante, E.G.; Alves, M.C.; Souza, Z.M. & Pereira, G.T. 2011. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e*

Ambiental, 15(3): 237-243.

Coelho, A.M. 2005. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 60p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 46).

Cherubin, M.R.; Santi, A.L.; Eitelwein, M.T.; Amado, T.J.C.; Simon, D.H. & Damian, J.M. 2015. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(2): 168-177.

Cherubin, M.R.; Santi, A.L.; Eitelwein, M.T.; Menegol, D.R.; Ros, C.O.; Castro Pias, O.H. & Berghetti, J. 2014. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. *Ciência Rural*, 44(3): 425-432.

Grego, C.R. & Vieira, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(2): 169-177.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006 Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?z=t&o=24&i=P>. Acesso em: 17 nov. 2016

Melo Filho, J. & Libardi, P.L. 2005. Estabilidade temporal de medidas do teor e dopotencial mátrico da água no solo em uma transeção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(4): 497-506.

Oliveira, I. A.; Campos, M.C.C.; Soares, M.D.R.; Aquino, R.E.; Marques Júnior, J. & Nascimento, E.P. 2013. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37: 1103-1112.

Ribeiro, A.I.; Longo, R.M.; Peche Filho, A.; Medeiros, G.A.; Fengler, F.H. & Mello, G.F. 2013. Análise da resistência mecânica a penetração do solo na avaliação de áreas em estágios avançado de recuperação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4. Salvador, BA. 2013. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/VI-053.pdf>. Acesso em: 26 set 2014.

Silva, F.A.S. & Azevedo, C.A.V.A. 2006. New Version of The Assisat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE; Orlando-FL-USA. *Anais.. Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers*, p. 393-396.

Souza, Z.M.; Marques Júnior, Z.M.S.J.; Pereira, G.T. & Montanari, R. 2006. Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevos. *Ciência Rural*, 36(3): 829-836.

Tschiedel, M. & Ferreira, M.F. 2002. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*, 32(1): 159-163.