

Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo

Zigomar Menezes de SOUZA^{1,2}; José MARQUES JÚNIOR³; Gener Tadeu PEREIRA⁴; Rafael MONTANARI⁵; Milton César Costa CAMPOS⁵

¹Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, financiado pela FAPESP

²Professor Doutor, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI. Cidade Universitária Zeferino Vaz, Caixa Postal: 6011, CEP 13083-875, Campinas - SP. E-mail:zigomarms@feagri.unicamp.br

³Professor Doutor, Departamento de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP

⁴Professor Doutor, Departamento de Ciências Exatas, FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP

⁵Mestrandos em Ciência do Solo, Departamento Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP

Resumo

Em uma paisagem natural, os solos apresentam uma ampla variação dos atributos químicos e físicos, tanto vertical como horizontal, resultante da interação dos diversos fatores de formação envolvidos. Este trabalho foi desenvolvido em Jaboticabal-SP, com o objetivo de avaliar a variabilidade e o número mínimo de subamostras de solo para caracterização de atributos químicos e físicos em um Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) sob cultivo de cana-de-açúcar. As amostras para análises química e física foram coletadas no compartimento I (linear) e compartimento II (linear, côncavo e convexo), em uma malha quadrada de 50 pontos em cada compartimento, na profundidade de 0,0-0,2 m. Para uma variação de 10% em torno da média, os valores das variáveis pH, matéria orgânica, CTC, porosidade total, microporosidade, densidade do solo, argila, silte e areia podem ser obtidos utilizando-se de baixo número de subamostras (< 15). Para as variáveis H+Al, V% e resistência do solo à penetração, é necessário um número de subamostras variando entre 15 a 30, e as variáveis P, K, Ca, Mg, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada necessitam de um número de subamostras alto (> 30). Todos os atributos estudados apresentaram maior variabilidade e, conseqüentemente, maior número de subamostras no compartimento II em relação ao compartimento I.

Palavras-chave adicionais: krigagem; cana-de-açúcar; Latossolo.

Abstract

SOUZA, Z. M. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Soil sampling viewing the determination of chemical and physical attributes in areas with different pedoforms. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.2, p.249-256, 2006.

In a natural landscape, soils present a wide variation of chemical and physical attributes at the vertical and horizontal directions as a result of the interaction among several soil formation factors. This work was developed in Jaboticabal, a county of the state of São Paulo, Brazil, with the objective of evaluating the variability of chemical and physical attributes in a Red Latosol (eutrustox) under sugarcane cultivation as well of determining the minimum number of samples to be taken for the analysis of those characteristics. The samples for chemical and physical attributes analysis were collected from compartment I (linear) and compartment II (linear, concave and convex), in a grid of 50 points in each compartment, at the 0.0-0.2 m depth. With a variation of 10% around the mean, the values of pH, organic matter, CEC, total porosity, microporosity, bulk density, clay, silt, and sand were found to be dependably obtained using a low number of samples (< 15). Determining Al-saturation, %BS, and soil penetration resistance values a number of samples varying between 15 and 30 is necessary, whereas phosphorus, potassium, calcium, magnesium, macroporosity and saturated hydraulic conductivity determinations call for a high number of samples (> 30). Compartment II presented higher variability than compartment I thus requiring for the evaluation of all attributes a higher number of samples.

Additional keywords: kriging; sugarcane; oxisol.

Introdução

Na amostragem de material de solo, deve-se considerar a variabilidade dos atributos químicos e físicos, visto que ela influencia no número e na

distribuição das amostras simples (unidades de amostra) a serem coletadas por área de cultivo, visando ao manejo do solo. Uma das maiores limitações na aplicação da "agricultura de precisão" é a grande quantidade de amostras necessárias para definir o espaçamento

amostral ideal. Nesse sentido, o conhecimento da variabilidade de atributos químicos e físicos é importante para a tomada de decisão das técnicas de manejo a serem adotadas numa determinada área, por meio de um plano amostral adequado. WILDING & DREES (1983) afirmam que a variabilidade anisotrópica em nível de campo deve ser estudada, pois fenômenos como fluxos de massa e energia, reações químicas e transformações mineralógicas nem sempre são satisfatoriamente quantificados por meio de análises laboratoriais. Estas são isotrópicas e homogêneas, porém, nas condições de campo, são anisotrópicas e não-homogêneas.

A variabilidade espacial dos solos surge desde a formação dos mesmos e continua após o solo atingir o seu estado de equilíbrio dinâmico. Sendo o solo um sistema extremamente heterogêneo, o conhecimento de sua variabilidade é imprescindível, devendo ser considerada no momento da amostragem. Devido às várias combinações a que estão sujeitos os elementos e às constantes reações químicas que ocorrem nos solos, as características químicas apresentam maior variação do que as físicas e, conseqüentemente, necessitam de maior número de amostras para estimá-las dentro de uma mesma área (BECKETT & WEBSTER, 1971; JACOB & KLUTTE, 1976). Alguns trabalhos têm demonstrado que a variabilidade do solo está diretamente relacionada com a idade da superfície geomórfica e forma da paisagem (CUNHA et al., 2005; POCA, 2000; SOUZA et al., 2003b). SOUZA et al. (2003a), estudando a influência do relevo e da erosão na variabilidade espacial de um Latossolo, verificaram que a maioria dos atributos químicos e granulométricos apresenta maior variabilidade espacial na pedofoma côncava quando comparado com a pedofoma linear.

O número mínimo de amostras de solo para estimar o valor médio do atributo de interesse com uma determinada exatidão tem sido calculado em vários trabalhos (TSEGAYE & HILL, 1998a; TSEGAYE & HILL, 1998b; SILVEIRA et al., 2000; CUNHA et al., 2002; SILVEIRA & CUNHA, 2002). Segundo SOUZA (1992), o procedimento consiste em coletar ao acaso certo número de amostras individuais, analisá-las e calcular os coeficientes de variação dos dados, achar os valores de tabela do teste t correspondentes ao número de graus de liberdade do quadrado médio residual, estabelecer a diferença permitida em torno da média e, assim, calcular o número mínimo de amostras individuais a serem coletadas em futuras amostragens.

SILVEIRA et al. (2000), estudando amostragem e variabilidade de características químicas de um Latossolo, verificaram que, para uma variação máxima de 5 % em torno da média, os valores de pH podem ser obtidos utilizando-se de baixo número de subamostras; entretanto, para o P e K, com baixo número de subamostras, a variação dos valores em torno da média

pode atingir mais de 25 %. SILVEIRA & CUNHA (2002) concluíram que, para utilizar o procedimento de coletar 20 subamostras para formar uma amostra composta, os teores de argila, matéria orgânica, B e Mn são estimados com erro em torno de 10 % do valor médio, e os de Cu e Zn, com erro superior a 25 %.

Considerando que o perfil e as curvaturas do relevo condicionam variabilidade diferenciada dos atributos químicos e físicos do solo, esse estudo foi realizado com o objetivo de estudar a variabilidade de atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar e estabelecer o número mínimo de subamostras necessárias em áreas com variações da pedofoma.

Material e métodos

A área de estudo localiza-se na Usina São Martinho, no município de Guariba (SP), situada na província geomórfica das Cuestas Basálticas, limite com o Planalto Ocidental Paulista, cujo relevo predominante é o suave ondulado, com altitude média de 600 m, situada nas coordenadas geográficas 21° 19' a 21° 20' de latitude sul e 48° 13' a 48° 14' de longitude oeste. O clima foi classificado, segundo Köppen, como sendo do tipo Aw. O solo na área foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) (EMBRAPA, 1999), sendo a área de estudo dominada por cultivo intensivo de cana-de-açúcar por mais de 30 anos consecutivos.

De acordo com o modelo de TROEH (1965), classificaram-se a curvatura e o perfil das formas do terreno no terço inferior da encosta, em dois compartimentos (I e II), como mostrado na Figura 1. No compartimento I, verificou-se uma menor variação das formas e curvaturas do terreno (predomínio da forma linear) e, no compartimento II, observou-se maior variação das formas e curvaturas do terreno (presença de formas linear, côncavas e convexas).

As amostras para análises química e física foram coletadas em uma malha regular com intervalos de 10 m, na linha de tráfego, na profundidade de 0,0-0,2 m. Os pontos da malha de dimensão 100 m x 100 m, totalizando 100 pontos (50 no compartimento I e 50 no compartimento II), em uma área de 1 ha, foram georreferenciados.

Na caracterização química do solo, foram determinadas, a acidez ativa (pH em CaCl₂) determinada potenciométricamente, utilizando-se da relação 1:2,5 de solo: CaCl₂ e acidez potencial (H+Al) segundo RAIJ et al. (2001). As bases trocáveis cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo disponível (P) foram extraídas utilizando o método da resina trocadora de íons proposta por RAIJ et al. (2001). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculadas a capacidade de

troca catiônica (CTC) e a porcentagem de saturação por bases do solo (V%). A determinação da variável matéria orgânica foi realizada segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). A composição granulométrica foi determinada em amostras deformadas por meio da dispersão com NaOH (0,1 mol L⁻¹) e agitação lenta durante 16 horas, sendo o conteúdo de argila obtido pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

Foram abertas 100 trincheiras de 0,60 m de profundidade (0,3 m x 0,3 m de largura), 50 no compartimento I e 50 no compartimento II, para coleta de amostras, para a determinação dos atributos físicos porosidade total, macroporosidade e microporosidade, em amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos, utilizando o método da mesa de tensão, segundo EMBRAPA (1997). A densidade do solo, nas mesmas amostras coletadas para caracterizar a porosidade, foi determinada utilizando o método do volume conhecido (EMBRAPA, 1997). A resistência à penetração do solo foi obtida utilizando um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, com ângulo de cone de 30°, e os resultados transformados segundo STOLF (1991). A condutividade hidráulica do solo saturado no campo foi avaliada utilizando-se do permeâmetro de Guelph, cujo funcionamento é baseado no princípio de Mariotte. Mediu-se a taxa constante de infiltração e calculou-se a condutividade hidráulica do solo saturado no campo, segundo REYNOLDS & ELRICK (1985).

Os dados foram analisados calculando-se os valores médio, mínimo, máximo e coeficiente de variação (CV). Os valores médios dos atributos do solo foram comparados pelo teste t. Determinaram-se também os números de subamostras necessárias para compor uma amostra composta e estimar o valor médio das variáveis, usando a fórmula descrita por CLINE (1944): $N = (T \times CV)^2 / D^2$, em que N é o número mínimo de amostras; T é o valor do teste t de Student para o nível de probabilidade de 95%; CV é o coeficiente de variação; D é a porcentagem de variação em torno da média (5; 10; 15; 20; 25 e 30%). Foi realizada a espacialização dos dados de campo, por meio da técnica de interpolação de dados (krigagem), utilizando-se do programa SURFER (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

Resultados e discussão

Os valores médios, mínimos, máximos e o coeficiente de variação dos atributos químicos e físicos são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Observou-se que os valores médios de todos os atributos químicos e físicos não diferiram estatisticamente entre si, pelo teste t; resultados semelhantes também foram encontrados por SOUZA et al. (2003ab), para a maioria dos atributos estudados.

Segundo a classificação do coeficiente de variação proposta por WARRICK & NIELSEN (1980), para os atributos químicos e físicos em estudo (Tabelas 1 e 2), revelaram-se baixos para o pH, porosidade total, densidade do solo, argila e areia. Resultados semelhantes para a variável pH também foram encontrados por TSEGAYE & HILL (1998a), SILVEIRA et al. (2000), CARVALHO et al. (2002) e CARVALHO et al. (2003). COELHO (1983), TSEGAYE & HILL (1998b), GONÇALVES et al. (2001), SOUZA et al. (2001) e CARVALHO et al. (2003), para as variáveis densidade do solo e porosidade total, e VIEIRA (1997), SOUZA et al. (2001) e CARVALHO et al. (2003), para as variáveis matéria orgânica, CTC, microporosidade e silte apresentaram CV médio, concordando com os resultados obtidos por VIEIRA (1997), SILVEIRA et al. (2000), SOUZA et al. (2001) e CARVALHO et al. (2003). As variáveis P, K, Ca, Mg, H+Al e V% apresentaram CV alto; resultados semelhantes foram encontrados por VIEIRA (1997), SILVEIRA et al. (2000) e CARVALHO et al. (2003). As variáveis macroporosidade, resistência do solo à penetração e condutividade hidráulica saturada também apresentaram coeficiente de variação alto; o mesmo foi observado por DIWU et al. (1998), SOUZA et al. (2001) e CARVALHO et al. (2003).

Observou-se maior CV no compartimento II (linear, côncavo e convexo) em relação ao compartimento I (linear) para todas as variáveis em estudo, o que pode ser explicado por meio dos valores de mínimo e máximo, mostrando amplitude mais alta no compartimento II (linear, côncavo e convexo). OVALLES & COLLINS (1986) verificaram em seus estudos que 50 % da variabilidade do pH e P podem ser explicadas pelas formas da paisagem. Resultado semelhante foi obtido por SOUZA et al. (2003b) em solos tropicais. KRAVCHENKO & BULLOCK (2000), estudando a correlação da produção de milho e feijão com posições do relevo, verificaram que 40 % da variabilidade da produção dessas culturas e dos atributos do solo foram explicadas pelas curvaturas do terreno. Observou-se que 70 % dos atributos químicos apresentaram coeficiente de variação alto, enquanto 30 % dos atributos físicos tiveram coeficiente de variação alto, estando de acordo com os estudos de BECKETT & WEBSTER (1971), JACOB & KLUTE (1976) e COELHO (1983), que afirmam que as características químicas apresentam maior variação do que as físicas e, conseqüentemente, necessitam de maior número de amostras para estimá-las dentro de uma mesma área. Essa premissa é concordante com os resultados do presente estudo.

Uma das utilidades do coeficiente de variação no âmbito do estudo de variabilidade do solo é permitir calcular o número mínimo de subamostras para estimar o valor de um atributo em uma determinada área. Com base na fórmula proposta por CLINE (1944), calculou-se o número mínimo de amostras para estimar os

Tabela 1 - Valores médios, mínimos, máximos, coeficiente de variação (CV) e número mínimo de subamostras necessário para estimar os teores de pH, matéria orgânica (g dm^{-3}), fósforo (mg dm^{-3}), potássio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), cálcio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), magnésio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), acidez potencial ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), capacidade de troca catiônica ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) e saturação por bases (%), na profundidade de 0,0-0,2 m, em diferentes compartimentos da paisagem.

Table 1 – Mean, minimum, and maximum values, coefficient of variation (CV), and minimum number of samples needed to estimate pH value and the contents of organic matter (MO; g dm^{-3}), phosphorus (mg dm^{-3}), calcium ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), and potential acidity (H+Al; $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), cation exchange capacity (CTC; $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), and base saturation (V%) at depths between 0.0 and 0.2 m at different compartments of the landscape.

Atributo/ Attribute	Compartimento/ Compartment	Média¹/ Mean	Mínimo/ Minimum	Máximo/ Maximum	C.V. (%)	Número de subamostras para variação em torno da média/ Number of subsamples for the accepted variation around the mean					
						5%	10%	15%	20%	25%	30%
pH	I	4,7a	4,2	5,4	5,3	5	1	1	1	1	1
	II	4,9a	4,0	5,6	6,8	7	2	1	1	1	1
MO	I	28,0a	16,5	31,4	11,1	20	5	2	1	1	1
	II	27,5a	14,5	32,6	16,2	42	11	5	3	2	1
P	I	21,7a	4,0	39,0	33	176	44	20	11	7	5
	II	25,0a	3,0	87,0	53	453	113	50	28	18	13
K	I	3,0a	1,0	12,0	37	221	55	25	14	9	6
	II	4,5a	15,0	1,4	58	543	136	60	34	22	15
Ca	I	27,0a	11,4	43,5	25	101	25	11	6	4	3
	II	24,5a	1,3	52,0	39	246	61	27	15	10	7
Mg	I	10,7a	4,0	25,0	32	165	41	18	10	7	5
	II	9,9a	3,2	30,0	46	342	85	38	21	14	9
H+Al	I	44,0a	20,0	72,0	21	71	18	8	4	3	2
	II	49,2a	8,0	75,0	28	127	32	14	8	5	4
CTC	I	86,3a	50,0	106,0	11	20	5	2	1	1	1
	II	86,7a	31,4	107,5	17	47	12	5	3	2	1
V%	I	48,9a	27,0	73,2	21	71	18	8	4	3	2
	II	43,0a	16,5	81,0	29	136	34	15	8	5	4

¹Valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade.

¹Values in the same column followed by the same letter are not significantly different at 5% of probability level by t test.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

valores dos atributos químicos e físicos estudados, nos compartimentos I e II, com relação a diferentes porcentagens de variação em torno da média (5; 10; 15; 20; 25 e 30%), apresentados nas Tabelas 1 e 2. Considerando que o número mínimo de subamostras de solo é diretamente proporcional ao coeficiente de variação, quanto maior o CV, maior será o número de subamostras a serem coletadas. Nesse sentido, as variáveis pH, porosidade total, densidade do solo, argila e silte, por possuírem baixo valor de CV, podem ser estimadas com menor número de subamostras. Resultados semelhantes foram observados por COELHO (1983), SOUZA (1992), TSEGAYE & HILL (1998ab), SILVEIRA et al. (2000) e SILVEIRA & CUNHA (2002).

Em relação aos atributos químicos P, K, Ca e Mg, observou-se a recomendação de um maior número de subamostras a serem coletadas na área, para a percentagem de variação de 10% em torno

da média, normalmente recomendada em estudos deste tipo. Esses valores são concordantes com os resultados obtidos por SOUZA (1992) e SILVEIRA et al. (2000). FORSYTHE (1970), estudando a importância da variabilidade de atributos do solo, citou a necessidade de 760 subamostras para estimar o valor de K do solo, ainda assim com 10% de variação em torno da média. BARRETO et al. (1974) encontraram número de subamostras iguais a 601 e 2.226, para estimar o valor de P e K, respectivamente, com uma variação de 5% em torno da média.

Utilizando-se do procedimento de se coletarem 20 subamostras, como proposto pela Comissão de Fertilidade de Solo do Estado de São Paulo (RAIJ et al., 1997), os resultados obtidos mostram que as variáveis pH, matéria orgânica e CTC estariam dentro do recomendado, para uma variação de 10% em torno da média; porém as variáveis P, K, Ca e Mg teriam número

Tabela 2 - Valores médios, mínimos, máximos, coeficiente de variação (C.V.) e número mínimo de subamostras necessário para estimar os valores da porosidade total (PT; $m^3 m^{-3}$), microporosidade (Micro; $m^3 m^{-3}$), macroporosidade (Macro; $m^3 m^{-3}$), densidade do solo (DS; $kg dm^{-3}$), resistência do solo à penetração (RP; MPa), condutividade hidráulica saturada (CHS; $mm h^{-1}$), argila ($g kg^{-1}$), silte ($g kg^{-1}$) e areia ($g kg^{-1}$), na profundidade de 0,0-0,2 m, em diferentes compartimentos da paisagem.

Table 2 - Mean, minimum, and maximum values, coefficient of variation (CV), and minimum number of samples needed to estimate total porosity (PT; $m^3 m^{-3}$), microporosity (Micro; $m^3 m^{-3}$), macroporosity (Macro; $m^3 m^{-3}$), soil density (DS) ($kg dm^{-3}$), soil resistance to penetration (RP; MPa), saturated hydraulic conductivity (CHS; $mm h^{-1}$), clay (Argila; $g kg^{-1}$), silt (Silte; $g kg^{-1}$), and sand (Areia; $g kg^{-1}$) at depths between 0.0 and 0.2 m at different compartments of the landscape.

Variável/ Variable	Compartimento/ Compartment	Média/ Mean	Mínimo/ Minimum	Máximo/ Maximum	C.V. (%)	Número de subamostras para variação em torno da média/ Number of subsamples for the accepted variation around the mean					
						5%	10%	15%	20%	25%	30%
PT	I	0,51a	0,45	0,56	4,4	3	1	1	1	1	1
	II	0,50a	0,42	0,53	6,2	6	2	1	1	1	1
Micro	I	0,35a	0,22	0,49	15,3	38	9	4	2	2	1
	II	0,37a	0,20	0,51	20,0	65	16	7	4	3	2
Macro	I	0,13a	0,04	0,22	29,5	140	35	16	9	6	4
	II	0,15a	0,03	0,27	38,2	236	59	26	15	9	7
DS	I	1,39a	1,20	1,53	5,9	6	1	1	1	1	1
	II	1,42a	1,16	1,55	8,9	13	3	1	1	1	1
RP	I	4,3a	2,1	6,0	23,9	92	23	10	6	4	3
	II	4,5a	1,8	6,5	27,3	120	30	13	8	5	3
CHS	I	25,4a	4,2	59,2	56,7	519	130	58	32	21	14
	II	21,5a	4,0	67,5	63,9	659	165	73	41	26	18
Argila	I	611a	590	660	2,7	1	1	1	1	1	1
	II	616a	530	690	5,3	5	2	1	1	1	1
Silte	I	224a	185	261	10,4	17	4	2	1	1	1
	II	218a	155	301	14,6	34	9	4	2	1	1
Areia	I	165a	135	181	6,2	6	2	1	1	1	1
	II	166a	127	201	8,3	11	3	1	1	1	1

¹Valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste t, ao nível de 5 % de probabilidade.

¹ Means in the same column, followed by the same letter, are not statistically different at 5% of probability level according to the t test.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

mínimo de subamostras dentro do recomendado a partir de uma variação de 15% em torno da média, 25% para o P e 30% para o K, que representam valores muito elevados segundo SOUZA (1992). Portanto, para a classe de solo em estudo, a recomendação do maior número de subamostras para as variáveis P, K, Ca e Mg representa uma adequação a partir dos estudos de RAIJ et al. (1997).

Para as variáveis porosidade total, densidade do solo, silte e areia recomenda-se de 10 a 15 subamostras com uma variação em torno da média inferior a 5%; esses valores estão de acordo com os resultados obtidos por COELHO (1983), SOUZA (1992) e TSEGAYE & HILL (1998a). Para a variável condutividade hidráulica saturada, a variação em torno da média estaria acima de 30%, ou seja, uma variação muito alta, concordando com o resultado obtido por TSEGAYE & HILL (1998b). WARRICK & NIELSEN (1980) encontraram coeficiente

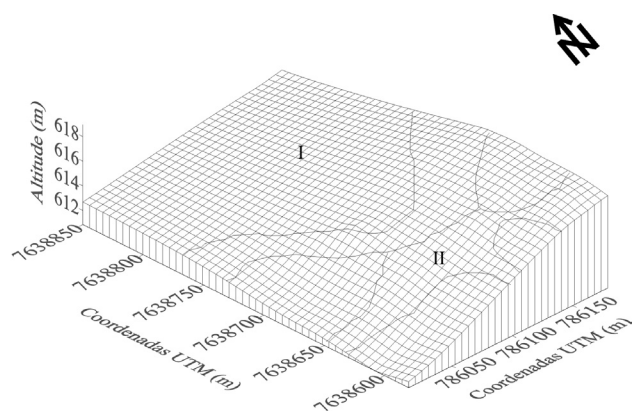


Figura 1 - Representação tridimensional da área de estudo, com compartimentos identificados (I e II).

Figure 1 - Tridimensional representation of the studied area, compartments I and II identified.

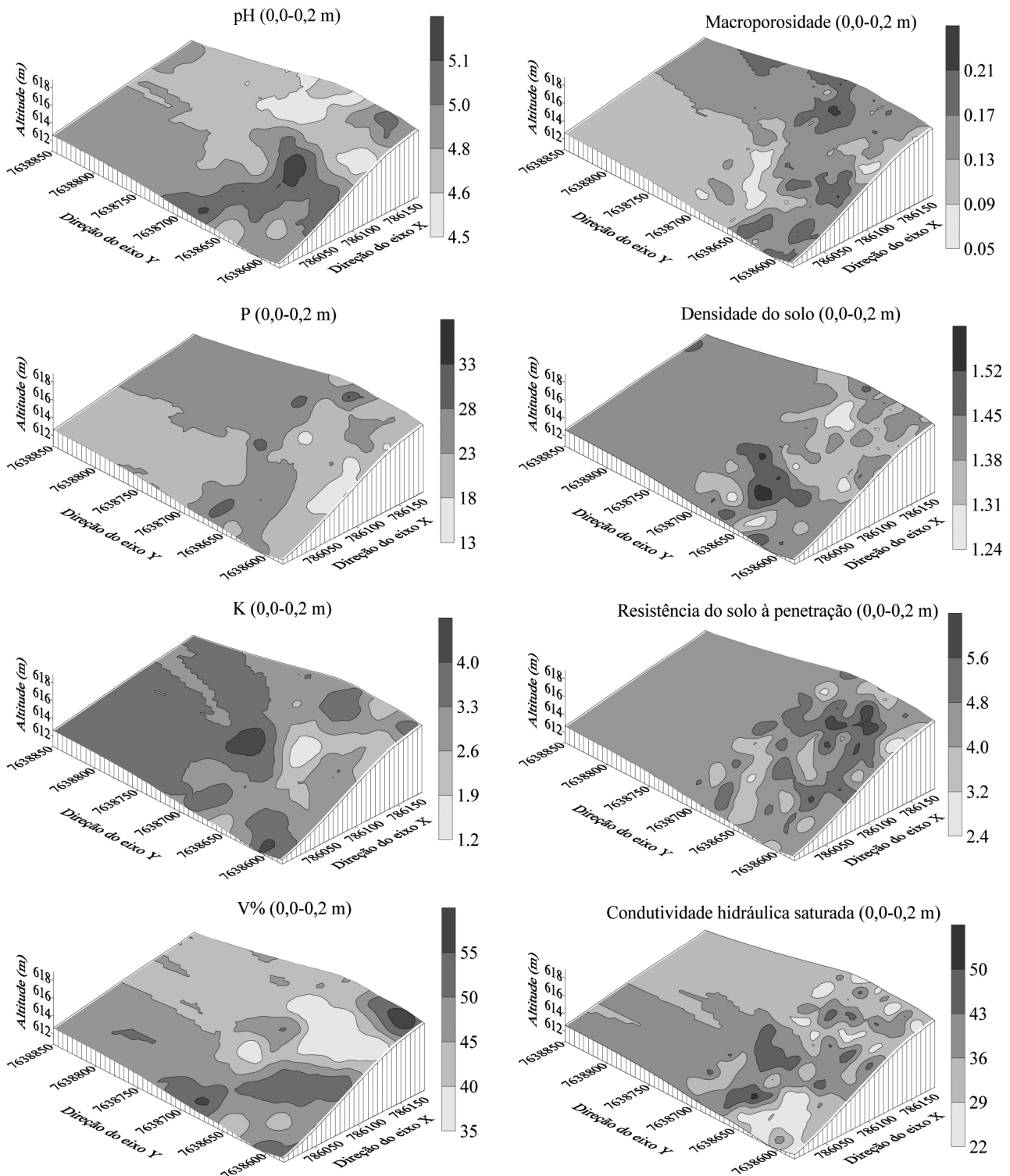


Figura 2 - Distribuição espacial das variáveis pH, fósforo (mg dm^{-3}), potássio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), V% (%), macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), densidade do solo (kg dm^{-3}), resistência do solo à penetração (MPa) e condutividade hidráulica saturada (mm h^{-1}), na profundidade de 0,0-0,2 m.

Figure 2 – pH, phosphorus (mg dm^{-3}), potassium ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), basic saturation index (V%), macroporosity ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), soil density (kg dm^{-3}), soil resistance to penetration (MPa), and saturated hydraulic conductivity (mm h^{-1}) spatial distribution at depths between 0.0 and 0.2m.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

de variação de 86 a 420% para esta variável.

Comparando as informações da Figura 1 e da Figura 2, na área de estudo, onde a pedoforma é linear (compartimento I), observou-se que os atributos do solo estudado apresentam os menores valores de coeficiente de variação, em relação às áreas com curvaturas côncavas e convexas (compartimento II). Isto indica uma forte relação entre posição da paisagem e variabilidade de atributos químicos e físicos do solo num contexto de causa e consequência, inclusive em Latossolos sob áreas com pequena variação nas formas do relevo. KRAVCHENKO & BULLOCK (2000), POYAY (2000), SOBIERAJ et al. (2002), ZEBARTH et al. (2002) e SOUZA et al. (2003b) encontraram relação de atributos químicos e físicos com diferentes posições na paisagem.

Conclusões

1. Os valores de pH, porosidade total, densidade de solo, argila e areia apresentaram os menores valores de CV; as variáveis matéria orgânica, CTC, microporosidade e silte variabilidade média e variabilidade alta foram encontradas para as variáveis fósforo, potássio, cálcio, magnésio, H+Al, V%, macroporosidade, resistência do solo à penetração e condutividade hidráulica saturada.

2. Com uma variação de 10 % em torno da média, os valores das variáveis pH, matéria orgânica, CTC, porosidade total, microporosidade, densidade do solo, argila, silte e areia podem ser obtidos utilizando-se de baixo número de subamostras (< 15). Para as variáveis H+Al, V% e resistência do solo à penetração, é necessário um número de subamostras variando entre 15 a 30, e as variáveis P, K, Ca, Mg, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada necessitam de um número de subamostras alto (> 30).

3. Todos os atributos do solo no compartimento II (linear) apresentaram maior variabilidade e, conseqüentemente, necessidade de maior número de subamostras em relação ao compartimento I (linear, côncavo e convexo).

Referências

- BARRETO, A. C.; NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M. Determinação estatística do número de amostras simples de solo para avaliação de sua fertilidade. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, n.114, p.142-147, 1974.
- BECKETT, P. H. T.; WEBSTER, R. Soil variability: a review. **Soils Fertility**, Farnham Royal, v.34, n.1, p.1-15, 1971.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.2, p.249-256, 2006.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.695-703, 2003.
- COELHO, M. A. Variabilidade espacial de características físicas e químicas em solo Salino-Sódico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.14, n.1-2, p.149-156, 1983.
- CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de latossolos em uma seqüência Arenito-Basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.1, p.81-90, 2005.
- CUNHA, A. A.; SILVEIRA, P. M.; SILVA, J. G.; ZIMMERMANN, F. J. P. Variabilidade da produtividade de grãos de milho e de feijão em um latossolo submetido a diferentes preparos do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.1, p.93-100, 2002.
- CLINE, M. G. Principles of soil sampling. **Soil Science**, Baltimore, v.58, n.4, p.275-288, 1944.
- DIWU, J. Y.; RUDRA, R. P.; DICKINSON, W. T.; WALL, G. J. Effect of tillage on the spatial variability of soil water properties. **Canadian Agricultural Engineering**, Saskatoon, v.40, n.1, p.1-8, 1998.
- EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.242-246, 2002.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FORSYTHE, W. M. Importancia de la variabilidad de las propiedades del suelo para evaluarlas en su manejo. **Turrialba**, San José, v.20, n.4, p.445-451, 1970.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p.1.149-1.157, 2001.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Correlação espacial entre retenção de água e textura do solo, para fins de manejo de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.3, p.296-303, 2002.
- JACOB, W. L.; KLUTTE, A. Sampling soils for physical and chemical properties. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v.20, n.1, p.170-178, 1976.

- KRAVCHENKO, A. N.; BOLLOCK, D. G. Correlation of corn and soybean yield with topography and soil properties. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, n.1, p.75-83, 2000.
- OVALLES, F. A.; COLLINS, M. E. Soil-landscape relationships and soil variability in north central Florida. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.50, n.2, p.401-8, 1986.
- POCAY, V. G. **Relações entre pedoforma e variabilidade espacial de atributos de latossolos sob cultivo intensivo de cana-de-açúcar**. 2000. 177f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2000.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/ Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α -parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, Baltimore, v.140, n.4, p.292-302, 1985.
- SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade especial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p.2.057-2.064, 2000.
- SILVEIRA, P. M.; CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.9, p.1.325-1.332, 2002.
- SOBIERAJ, J. A.; ELSENBEER, H.; COELHO, R. M.; NEWTON, B. Spatial variability of soil hydraulic conductivity along a tropical rainforest catena. **Geoderma**, Amsterdam, v.108, n.1-2, p.79-90, 2002.
- SOUZA, S. L. **Variabilidade espacial do solo em sistema de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.3, v.25, p.699-707, 2001.
- SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1067-1.074, 2003a.
- SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um latossolo em Jaboticabal- SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.3, n.3, p.486-495, 2003b.
- SURFER. Surfer 7.0. **Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers: user's guide**. New York: Golden software, 1999, 619p.
- 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**, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, 1991.
- TSEGAYE, T.; HILL, R. L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurements. **Soil Science**, Baltimore, v.163, n.2, p.155-165, 1998a.
- TSEGAYE, T.; HILL, R. L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil physical properties. **Soil Science**, Baltimore, v.163, n.2, p.143-154, 1998b.
- TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal Science**, New Haven, v.263, n.3, p.616-627, 1965.
- VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.181-190, 1997.
- ZEBARTH, B. J.; REES, H.; WALSH, J.; CHOW, L.; PENNOCK, D. J. Soil variation within a hummocky podzolic landscape under intensive potato production. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, n.1-2, p.19-33, 2002.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 2, p.319-344.
- WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P. **Pedogenesis and soil taxonomy: I concepts and interactions**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p.83-116.

Recebido em 31-5-2005

Aceito para publicação em 30-5-2006