

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS DA CAMADA SUPERFICIAL DE UM NITOSSOLO HÁPLICO.

SPATIAL DISTRIBUTION OF ATTRIBUTES THE SURFACE LAYER OF A HAPLIC NITOSOL.

SIDNEY ROSA VIEIRA¹
OTÁVIO ANTONIO DE CAMARGO¹
PAULO LEONEL LIBARDI²
CRISTIANO ALBERTO DE ANDRADE^{1,*}
GLÉCIO MACHADO SIQUEIRA³

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial de alguns atributos pedológicos da camada superficial de um Nitossolo Háplico eutrófico. O experimento foi realizado em uma área experimental da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz em Piracicaba (SP, Brasil), numa parcela de 0,625 ha dividida em uma grade regular de 5 m x 5 m. As amostras foram coletadas na camada de 0,0-0,2 m de profundidade. Os atributos analisados foram: topografia, granulometria (areia, silte e argila); pH em água; pH em KCl; teores totais de carbono (C) e nitrogênio (N); potássio trocável (K), cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg); acidez trocável (Al); acidez não-trocável (H); soma de bases (SB); capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m). Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva e de ferramentas de geoestatística, visando a interpolação dos dados por meio da técnica de krigagem para construção de mapas de isolinhas. Os valores relacionados aos cátions trocáveis e à acidez potencial apresentaram alta variabilidade. Todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial, de moderada a forte. O valor médio da necessidade de calagem (NC) não foi uma boa medida de tendência central para representação da população de dados e, dessa forma, não foi suficientemente robusta para definição adequada da dose de calcário, pois houve expressiva ocorrência de locais demandando doses diferentes daquela recomendada por meio da média.

Palavras-Chaves: Geoestatística; Química do solo; Calagem.

¹ Pesquisador Científico, Instituto Agrônomo, Centro de Solos e Recursos Ambientais, Avenida Barão de Itapura, 1481, CP 28, 1320-970, Campinas, SP, Brasil. * Autor correspondente. E-mail: sidney@iac.sp.gov.br; ocamargo@iac.sp.gov.br; andrade@iac.sp.gov.br.

² Professor, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Av.: Pádua Dias, 11 CP 9, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: pllibard@esalq.usp.br.

³ Doutorando em Engenharia para o Desenvolvimento Rural, Escuela Politecnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, 27002, Lugo, España. Bolsista MAEC-AECID. E-mail: glecio.machado@rai.usc.es.

ABSTRACT

The objective of this research was to study the spatial variability of some soil attributes from the surface layer of a Haplic Nitisol. The experiment was conducted at the Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz in Piracicaba (SP, Brazil), on a plot of 0.625 ha divided into a regular grid of 5 m x 5 m. The samples were collected at the 0.0-0.2 m depth. The attributes analyzed were: topography, texture (sand, silt and clay), pH in water, pH in KCl, total carbon (C), total nitrogen (N), exchangeable potassium (K), exchangeable calcium (Ca), exchangeable magnesium (Mg), exchangeable acidity (Al), non-exchangeable acidity (H), total exchangeable bases (SB); cation exchange capacity (CEC), base saturation (V) and aluminum saturation (m). The data were analyzed using descriptive statistics and geostatistical tools in order to interpolate data through the kriging technique for the construction of maps. Exchangeable cations and potential acidity showed high variability. All variables showed spatial dependence, varying from moderate to strong. The average liming requirement (CN) was not a good measure of central tendency to represent the data population and thus was not sufficiently robust to adequately define the calcium application rate, because there was a significant amount of regions demanding different rates than that recommended by the mean value.

Keywords: Geostatistics; Soil chemistry; Lime application.

INTRODUÇÃO

Análises químicas de amostras de solo constituem a base para o diagnóstico de sua fertilidade, bem como para a recomendação das doses de fertilizantes e corretivos a serem aplicadas. A técnica para amostragem de solo difere conforme o ambiente e os objetivos. No entanto, praticamente todas elas baseiam-se no fato de uma amostra composta ter que representar com certo nível de confiança o universo amostrado, reconhecidamente, este último, de alta variabilidade. Quanto maior a variância de um determinado atributo do solo, maior o número de pontos necessários para a composição da amostra composta representativa da área de interesse (SOUZA, 1992).

Cerca de 80 a 85 % do erro total em resultados de recomendação de fertilizantes e corretivos é atribuído a amostragem no campo e somente 15 a 20 % é atribuído ao trabalho realizado no laboratório (ORLANDO FILHO & RODELLA, 1983). Além da variabilidade natural, função de fatores e processos de formação dos solos (CORÁ et al., 2004), o manejo pode alterar a distribuição espacial de atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos dos solos, principalmente nas camadas mais superficiais (CORÁ, 1997).

O problema da variabilidade dos solos tem preocupado cientistas desde o início do século XX (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002), porém somente com os avanços da teoria estatística nas décadas de 50 e 60 é que se começou a perceber como ela poderia servir para o estudo e compreensão dessa variabilidade (BURROUGH et al., 1994). O conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo tem grande importância na escolha e locação de áreas experimentais, coleta de amostras e interpretação de resultados, levantamento e classificação de solos, esquemas de uso racional de fertilizantes, refinamento de práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura na qualidade do ambiente (CAMBARDELLA et al., 1994; SILVA et al., 2003; CORÁ et al., 2004; SOUZA et al., 2004). Assim, antes de buscar qualquer relação de atributos do solo com a cultura, é fundamental avaliar a extensão e intensidade da dependência espacial desta variação (GANDAH et al., 2000) e isso pode ser feito por meio de ferramentas da geoestatística, que se fundamenta na teoria das variáveis regionalizadas, segundo a qual o valor de uma variável está, de alguma maneira, relaciona à sua disposição espacial (VIEIRA, 2000; ORTIZ, 2005).

O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial de alguns atributos pedológicos da camada superficial de um Nitossolo Háplico eutrófico.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram coletadas em uma área experimental de 0,625 ha (125 m x 50 m) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, em Piracicaba (SP). O solo da área é um Nitossolo Háplico eutrófico Típico (EMBRAPA, 2006), com altitude média de 580 m, latitude 22° 43’ Sul e longitude 47° 25’ Oeste. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cwa.

A área experimental, com 125 m de comprimento (sentido NW-SE) e 50 m de largura (sentido SW-NE), num total de 6.250 m², foi dividida em malha 5 m x 5 m totalizando 250 pontos de amostragem. As amostras de solo foram coletadas na camada 0,0-0,20 m de profundidade utilizando trado holandês. Foram determinados os seguintes atributos do solo: granulometria (areia, silte e argila); pH em água; pH em KCl; teores totais de carbono (C) e nitrogênio (N); teores de potássio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis (K, Ca e Mg, respectivamente); acidez trocável (Al); acidez não-trocável (H); soma de bases (SB); capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m). As determinações químicas e físicas foram realizadas de acordo com CAMARGO et al. (1986).

A necessidade de calcário (NC, Mg ha⁻¹) foi calculada para elevar a saturação por bases a 80 % (V₂) e considerando um poder relativo de neutralização total (PRNT) do corretivo igual a 100 %, conforme apresentado por QUAGGIO & RAIJ (1996). A cota topográfica de cada um dos pontos de amostragem foi determinada utilizando um teodolito.

O programa STAT (VIEIRA et al., 2002) foi utilizado para determinação dos principais parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, amplitude, assimetria e curtose). A

dependência espacial entre amostras foi analisada por meio do semivariograma (VIEIRA, 2000), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

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

(Eq. 1)

em que $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h . Sendo os pares de semivariância determinados por meio do programa AVARIO (VIEIRA et al., 2002). Para visualizar a natureza da variação espacial das variáveis estudadas, foram ajustados três modelos aos semivariogramas, sendo o melhor ajuste escolhido em função da técnica de “*jack-knifing*”, conforme apresentado em CARVALHO et al. (2002). Os modelos matemáticos esférico, exponencial e gaussiano foram utilizados no processo de ajuste do semivariograma, seguindo os procedimentos descritos por VIEIRA (2000). A partir do ajuste (modelos) dos valores de semivariância ($g(h)$) em função da distância, tem-se os coeficientes: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a). A razão de dependência espacial (RD, %) foi determinada de acordo com CAMBARDELLA et al. (1994), onde: £ 25 % forte dependência espacial; de 25 a 75 % moderada dependência espacial; > 75 % fraca dependência espacial.

Uma vez determinada a dependência espacial entre amostras por meio do semivariograma experimental, a técnica de interpolação por krigagem foi utilizada para determinação dos valores para os locais não amostrados sem tendência e com variância mínima, utilizando o programa KRIGE (VIEIRA et al., 2002). O programa SURFER 7.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999) foi utilizado para construção dos mapas de variabilidade espacial utilizando os valores interpolados por meio da krigagem com o programa KRIGE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os critérios propostos por WARRICK & NIELSEN (1980), a maioria das variáveis apresentaram baixa variabilidade (CV \leq 12%), sendo Ca, Mg, K, H e SB com variabilidade média (CV = 12-60 %) e, somente, Al, m e NC com alta variabilidade (CV > 60 %, Tabela 1). Os baixos valores de CV para CTC e V, ambas variáveis utilizadas no cálculo da necessidade de calagem, são contrastantes com os 68 % desta última. Uma variável qualquer obtida por meio de cálculo utilizando outras, geralmente acumula os erros associados a estas últimas, de modo que o valor de CV é geralmente superior, o que explica parcialmente o caso da NC. O fato é que, mesmo com baixos valores de CV para CTC e V, a recomendação de única dose

de calcário para aplicação em toda a área não atenderia com a mesma eficiência a correção da acidez do solo.

O menor valor de CV foi encontrado nestes dados para cota (< 1 %), indicando topografia plana da área amostrada, com média de 580 m e valores variando de 578 a 580 m. Resultados de outros trabalhos têm evidenciado maiores valores de CV em camadas do solo até 20 cm de profundidade para nutrientes cuja aplicação total ou parcial é feita em linha, como o P (22 % a 135 %) e o K (28 % a 223 %), e menores valores de CV para pH (3 % a 8 %), Ca e Mg (12 % a 64 %) (CARVALHO et al., 2002; SILVA et al., 2003; CORÁ et al., 2004).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos para os atributos da camada superficial em estudo.

Atributo	Unidade	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo	Amplitude	Assimetria	Curtose
Cota	m	579,90	0,43	0,08	578,30	580,30	2,00	-1,361	1,119
Areia	%	8,78	0,89	10,18	6,00	11,00	5,00	0,005	0,197
Silte	%	26,13	1,64	6,30	22,00	30,00	8,00	0,059	-0,254
Argila	%	42,65	3,20	7,52	35,00	51,00	16,00	0,036	-0,341
pH H ₂ O	-	5,75	0,21	3,80	5,20	6,40	1,20	0,002	-0,465
pH KCl	-	4,90	0,17	3,53	4,50	5,40	0,90	-0,033	0,090
Ca	cmol _c dm ⁻³	3,24	0,44	13,58	2,20	4,30	2,10	0,202	-0,292
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,78	0,09	12,62	0,60	1,00	0,40	-0,141	-0,764
K	cmol _c dm ⁻³	0,47	0,11	25,40	0,16	1,05	0,89	0,289	3,222
Al	cmol _c dm ⁻³	0,01	0,03	205,60	0,00	0,10	0,10	1,573	0,479
H	cmol _c dm ⁻³	2,92	0,59	20,40	1,30	4,10	2,80	-0,143	-0,945
C	g 100g ⁻¹	1,17	0,12	10,49	0,80	1,50	0,70	-0,008	-0,001
N	g 100g ⁻¹	0,12	0,01	9,45	0,10	0,16	0,06	0,853	1,286
CTC	cmol _c dm ⁻³	7,44	0,77	10,39	5,16	9,27	4,11	-0,335	-0,147
SB	cmol _c dm ⁻³	4,49	0,59	13,15	3,08	5,85	2,77	-0,023	-0,418
V	%	60,58	6,35	10,49	46,78	77,23	30,45	-0,084	-0,713
m	%	0,50	1,03	206,90	0,00	3,15	3,15	1,621	0,715
NC	Mg ha ⁻¹	1,06	0,72	68,25	-0,62	2,60	3,22	0,090	-0,858

DP: Desvio padrão; CV: Coeficiente de variação.

Especificamente para Al e valor m, são escassos os trabalhos de variabilidade em solos brasileiros em que tais variáveis foram determinadas. Nesse sentido pode-se citar o trabalho de SILVA et al. (2003), em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (camada 0-20 cm), após dois cultivos sucessivos de verão com milho e cujos valores de CV foram da ordem de 35 % e 48 % para Al e m, respectivamente, sendo somente inferior ao valor de 111 % do fósforo disponível, dentre o total de doze atributos de solo estudados. Cabe ressaltar que para o Al e o m, por apresentarem freqüentemente valores iguais ou muito próximos a zero, tais como os verificados no presente estudo, uma pequena variação em torno da média corresponde a um elevado valor de CV. CANTARELLA et al. (2006), descrevem que a coordenação do Ensaio de Proficiência IAC para Laboratórios de Análise de Solo, por exemplo, adota, desde o ano de 2000, um tratamento estatístico especial para os resultados de Al do solo, função dos elevados valores de CV normalmente verificados.

Sob o ponto de vista agrônomo é importante considerar, além da variação dos valores em torno da média (CV), os valores mínimo e máximo, a amplitude e as faixas de interpretação definidas pela pesquisa. Observa-se, por exemplo, para a V, com média de 61%, valores mínimo e máximo de 47 e 77%, respectivamente. Em função dos limites de interpretação definidos pelo Instituto Agrônomo para solos (camada 0-20 cm) do Estado de São Paulo, observa-se que na área em questão ocorrem valores de V enquadrados em três faixas de interpretação: baixa (26 – 50%), média (51 – 70%) e alta (71 – 90%).

Situação semelhante foi verificada para o K, cujos valores mínimo e máximo foram de 0,2 e 1,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, o que corresponde a ocorrência de três faixas de interpretação dos teores desse nutriente no solo: médio (1,6 a 3,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); alto (3,1 a 6,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e muito alto ($> 6,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1996). O manejo adequado da fertilidade do solo visando a otimização do rendimento das culturas e do retorno econômico recomenda manter o solo nas faixas de teores médios a altos, sendo que na faixa de teores muito altos a produtividade

geralmente não melhora em relação aos solos com teores médios e altos, ou seja, o gasto extra em fertilizantes não traz retorno econômico (RAIJ, 1991). Dessa forma, nota-se que em parte da área não seria necessária a aplicação de fertilizante potássico.

Também nesse sentido, a NC seria uma variável de manejo relativamente difícil na área estudada, uma vez que, em média, seria recomendada a aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário pelo método da saturação por bases e em alguns locais não haveria necessidade de correção da acidez, enquanto que em outros a dose necessária chegaria a 2,6 Mg ha^{-1} . Dessa forma, a correção da acidez do solo seria adequada em alguns locais, subestimada ou superestimada em outros. CORÁ et al. (2004) destacam que o manejo baseado em valores médios, desconsiderando a variabilidade da área, pode resultar em prejuízos econômicos, agrônômicos e ambientais. BORGELT et al. (1994) verificaram que a aplicação de calcário recomendada em função do valor médio de uma área de 8,8 ha resultou em sobreaplicação de corretivo em 10,5 % da área e subaplicação em 39,0 % da área, ou seja, houve aplicação inadequada de calcário em praticamente metade da área total estudada. Considerando a variabilidade dos nutrientes presentes no solo, a fertilização uniforme de toda uma área, recomendada em função do valor médio, conduz a excesso de fertilização em alguns locais e insuficiente fertilização em outros.

Dos dezoito atributos avaliados, dez apresentaram coeficientes de assimetria positivos, sendo os maiores valores verificados para Al e m (Tabela 1). Os demais atributos tiveram, portanto, assimetria negativa. De acordo com ORTIZ (2005), os coeficientes de assimetria e curtose podem ser utilizados para avaliação da distribuição normal dos dados, sendo aceitos valores entre +2 e -2. Nesse caso, somente o K não apresentaria distribuição normal. Com relação a interpretação dos coeficientes de curtose, as variáveis cota, areia, pH KCl, K, N, Al e m, com coeficientes de curtose positivos, apresentaram formato leptocúrtico de distribuição das freqüências (coeficientes de curtose > 0). As demais variáveis apresentaram coeficientes de curtose negativos, ou seja, distribuição das

freqüências em formato platicúrtico. O formato leptocúrtico da curva de K indica menor dispersão dos valores em torno da média, comparativamente ao formato platicúrtico da curva de NC, cuja dispersão dos valores em torno da média é maior. Essa constatação torna-se importante quando se considera o manejo da adubação potássica e correção da acidez, baseado nos respectivos valores médios dessas variáveis. Nesse sentido, percebe-se que a NC seria mais problemática quanto a esse manejo, em comparação com adubação potássica, na área de estudo.

Caso semelhante foi observado para o pH H₂O e pH KCl, com formato das curvas de distribuição de freqüências platicúrtico e leptocúrtico, respectivamente. Esse tipo de comportamento é consistente com informações da literatura, uma vez que é conhecido o efeito da variação do pH H₂O em função de pequenas diferenças nas quantidades de sais presentes em amostras de solo, sendo por isso recomendada a determinação do pH em solução salina (SCHOFIELD & TAYLOR, 1955; TISDALE & NELSON, 1966). A distribuição normal em torno da média é pressuposto fundamental para a aplicação dos testes estatísticos convencionais, bem como para saber se a média constitui a melhor medida de tendência central para determinada variável (ORTIZ, 2005). Dessa forma, considerando que uma curva normal típica/padrão é do tipo mesocúrtica, com coeficientes de assimetria e curtose iguais a zero (0), somente as variáveis areia, silte, argila, pH H₂O, pH KCl, Ca, C, CTC e SB se aproximariam dessa situação (Tabela 1).

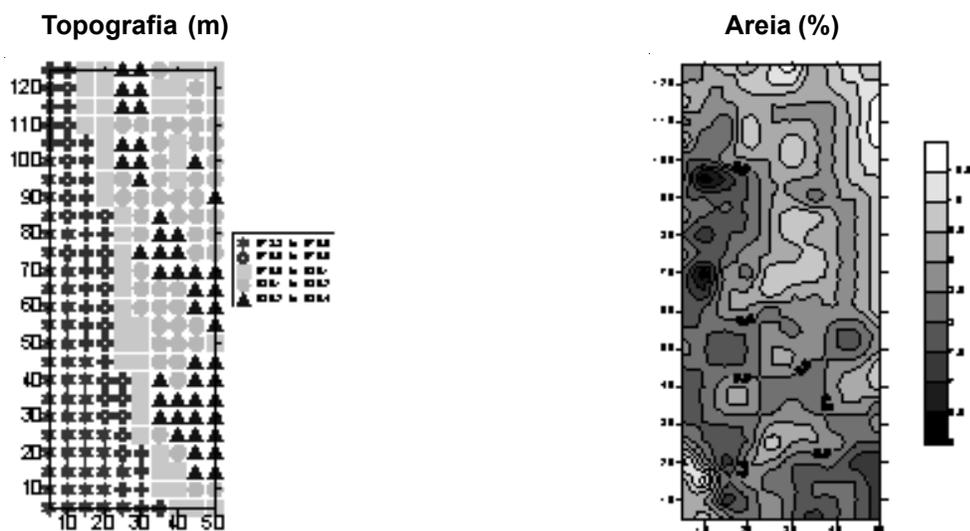
Todas as variáveis, exceto cota, foram ajustadas ao modelo esférico (Tabela 2). O modelo esférico tem sido muito utilizado para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos de plantas e solos (CAMBARDELLA et al., 1994; CARVALHO et al., 2002; SILVA et al., 2003; CORÁ et al., 2004; SOUZA et al., 2004). Neste modelo o patamar e o alcance são claramente identificados e geralmente o efeito pepita é pequeno em relação ao patamar, tal como verificado na Tabela 2, especificamente para os parâmetros mais relacionados à acidez

do solo, ou seja, para pH, Al, Ca, Mg, SB, CTC e V.

De forma geral, observa-se pela Figura 1, que as partes mais baixas do terreno correspondem aquelas de textura mais argilosa e com maiores valores de Ca, Mg, CTC e menor NC. Nesse sentido, em termos de manejo da fertilidade, a área poderia ser subdividida em função da cota ou classe textural, duas variáveis que podem ser medidas ou estimadas mais facilmente no campo, melhorando assim a eficiência de fertilização e/ou correção da acidez do solo. SOUZA et al. (2004) também concluíram que pequenas variações nas formas do terreno condicionam variabilidade diferenciada para os atributos químicos. O número de subdivisões, ou seja, de zonas mais homogêneas de manejo depende do rigor que se pretende praticar.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos da camada superficial em estudo.

Atributos	Modelo	C ₀	C ₁	a	r ²	Variância	RD
Cota	Gaussiano	0,0000	0,2300	47	0,9795	0,1923	0,00
Areia	Esférico	0,3000	0,5500	56	0,9746	0,1923	35,29
Silte	Esférico	1,0000	1,8100	31	0,9895	2,6990	35,59
Argila	Esférico	1,0000	10,0000	49	0,9681	10,230	9,09
pH H ₂ O	Esférico	0,0000	0,0550	35	0,8058	0,0477	0,00
pH KCl	Esférico	0,0000	0,0350	31	0,8121	0,0298	0,00
Ca	Esférico	0,0000	0,2300	41	0,9612	0,1933	0,00
Mg	Esférico	0,0000	0,0115	41	0,8578	0,0098	0,00
K	Esférico	0,0040	0,0105	31	0,9358	0,0142	27,59
Al	Esférico	0,0004	0,0015	45	0,6993	0,0016	21,05
H	Esférico	0,0500	0,3100	22	0,8956	0,3544	13,89
C	Esférico	0,0090	0,0070	50	0,9046	0,0153	56,25
N	Esférico	0,0001	0,0001	45	0,9206	0,0001	50,00
CTC	Esférico	0,1000	0,5000	35	0,9455	0,5951	16,67
SB	Esférico	0,0000	0,4100	41	0,9462	0,3487	0,00
V	Esférico	0,0000	44,0000	25	0,9108	40,200	0,00
m	Esférico	0,3000	0,9500	45	0,8067	1,0750	24,00
NC	Esférico	0,0000	0,5700	25	0,9147	0,5281	0,00



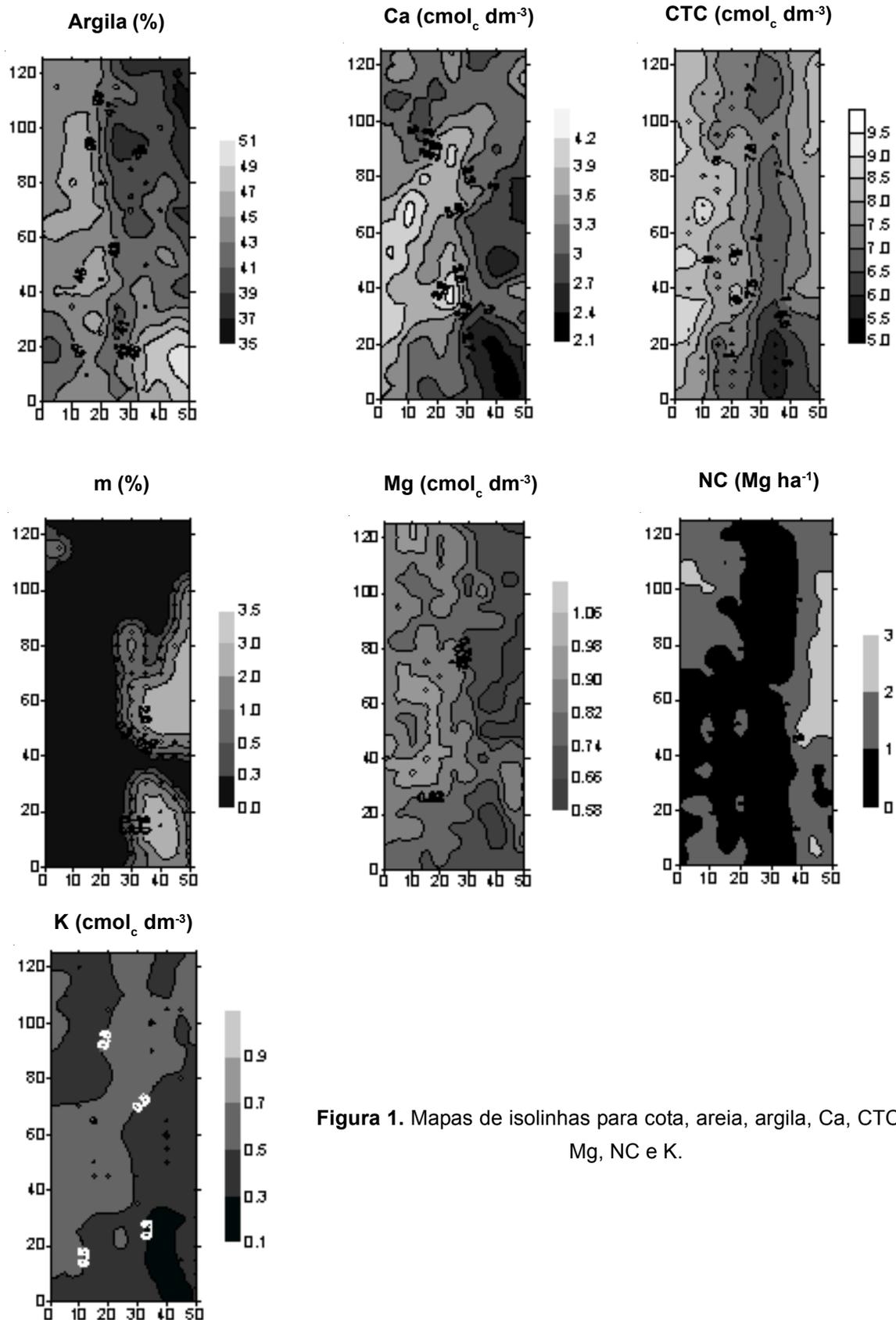


Figura 1. Mapas de isolinhas para cota, areia, argila, Ca, CTC, m, Mg, NC e K.

CONCLUSÕES

Os valores relacionados aos cátions trocáveis e à acidez potencial apresentaram alta variabilidade. Todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial, de moderada a forte, o que permitiu a obtenção de mapas por meio de técnicas geoestatísticas. Em termos de manejo de adubação e/ou correção da acidez do solo, a variável cota e aquelas relacionadas à textura (argila, silte e areia) poderiam auxiliar na escolha de glebas mais homogêneas no campo. O valor médio da necessidade de calagem (NC) não foi uma boa medida de tendência central para representação da população de dados e, dessa forma, não foi suficientemente robusta para definição adequada da dose de calcário, uma vez que a NC apresentou forte dependência espacial, com expressiva ocorrência de locais demandando doses diferentes daquela recomendada por meio da média (mapa de distribuição espacial).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGELT, S. C.; SEARCY, S. W.; STOUT, B. A.; MULLA, D. J. Spatially variable liming rates: a method for determination. *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, MI, v.37, p.1409-1507, 1994.
- BURROUGH, P.A.; BOUMA, J.; YATES, S.R. The state of the art in pedometrics. *Geoderma*, Elsevier, v.62, n.1/3, p.311-326, 1994.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (IAC, Boletim Técnico, 106).
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, v.58, p.1501-1511, 1994.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; ABREU, M.F. Variability of soil analysis in commercial laboratories: implications for lime and fertilizer recommendations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Philadelphia, PA, v.37, p.2213-2225, 2006.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- CORÁ, J.E. *The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage*. 1997. 104p. Tese (Doutorado). East Lansing. Michigan State University.
- CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v.28, p.1013-1021, 2004.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAAGROPECUÁRIA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- GANDAH, M.; STEIN, A.; BROUWER, J.; BOUMA, J. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Níger, west Africa and implications for precision agriculture research. *Agricultural Systems*, Elsevier, v.63, n.2, p.123-140, 2000.
- GOLDEN SOFTWARE. *Surfer for Windows*, version 7.0: Software de geração de mapas de contorno e superfícies contínuas. Colorado, 1999.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A. Análise química do solo e recomendação de adubação. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*.

- Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool/ Planalsucar, 1983. p. 155-178.
- ORTIZ, J.L. *Geoestatística*. Disponível em: www.gpsglobal.com.br/Artigos/Geoestat.html. Acesso em: 20 dez. 2005.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Correção da acidez do solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. p.14-19. (Boletim Técnico nº 100).
- RAIJ, B. VAN. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. de. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. p.8-13. (Boletim Técnico, 100).
- SCHOFIELD, R.K.; TAYLOR, A.W. The measurement of soil pH. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, v.19, n.2, p.164-167, 1955.
- SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v.27, p.1013-1020, 2003.
- SOUZA, L.S. *Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo*. 1992. 162p. Porto Alegre. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MOREIRA, L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, v.34, n.6, p.1763-1771, 2004.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. *Soil fertility and fertilizers*. New York: Macmillan, 1966. 694p.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.V.H.; SCHAEFFER, C.E.G.R. (Eds.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.
- VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.1-45.
- 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.