

# SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E DE *Crotalaria juncea* L. EM ÁREA SEVERAMENTE ERODIDA<sup>(1)</sup>

A. A. C. SALVIANO<sup>(2)</sup>, S. R. VIEIRA<sup>(3)</sup> & G. SPAROVEK<sup>(4)</sup>

### RESUMO

O trabalho foi desenvolvido numa área de produção comercial de cana-de-açúcar, situada no município de Piracicaba (SP), numa associação de Podzólico Vermelho-Amarelo + solo litólico, no período de novembro de 1994 a março de 1995. Essa área vem sendo explorada com cana-de-açúcar há, aproximadamente, 30 anos e apresentava diversos sulcos de erosão. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial de atributos de crotalaria juncea (*Crotalaria juncea* L.) e de solo em uma área sob condições de erosão severa. A área foi arada e gradeada com incorporação de 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário, antes da semeadura a lanço de 30 kg ha<sup>-1</sup> de semente de crotalaria juncea. Uma parcela de 50 x 70 m foi amostrada de acordo com uma malha de 5 por 5 m, totalizando 140 pontos. Foram avaliados atributos químicos do solo superficial (0,00-0,20 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m), sua granulometria e a espessura de solo remanescente (ES) - definida como a camada do solo acima do horizonte C, além da produtividade de matéria seca (MS) e altura da crotalaria juncea (ALTPL). Os valores de atributos maiores ou menores que quatro desvios-padrões da média foram descartados. A colheita da parte aérea da crotalaria foi realizada no início de sua floração, em miniparcelas de 2 x 2,5 m, e calculada a matéria seca. A dependência espacial dos atributos estudados foi avaliada por semivariogramas escalonados. Esses apresentaram dependência espacial, com exceção do P (0,00-0,20 m) e K nas duas camadas. Os atributos puderam ser agrupados em três categorias homogêneas quanto ao alcance do semivariograma: atributos químicos do solo (12 a 32 m) ≤ componentes de planta (25 a 32 m) < frações granulométricas (32 a 42 m). Os atributos que melhor explicaram a produtividade da crotalaria juncea foram H + Al, valor T e saturação por bases.

**Termos de indexação:** solo degradado, semivariograma, adubo verde, erosão.

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado em Agronomia, do primeiro autor, apresentada à USP/ESALQ. Trabalho com suporte financeiro da FAPESP, sob o registro 95/1071-9. Recebido para publicação em novembro de 1996 e aprovado em novembro de 1997.

<sup>(2)</sup> Professor do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí. CEP 64049-550 Teresina (PI).

<sup>(3)</sup> Pesquisador Científico, da Seção de Conservação do Solo, Instituto Agrônomo de Campinas. Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). Bolsista do CNPq.

<sup>(4)</sup> Professor Doutor do Departamento de Ciência do Solo, USP/ESALQ. Caixa postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq.

**SUMMARY: SPATIAL VARIABILITY OF SOIL AND PLANT ATTRIBUTES ON A SEVERELY ERODED SOIL**

*A field experiment, located on a private farm close to Piracicaba, State of São Paulo, Brazil, was conducted on a severely eroded soil (Ultisol-Entisol association), which has been planted with sugar cane for the last 30 years. The objective was to characterize the spatial variability of soil and plant attributes. An area of 50 by 70 m was divided into 10 columns and 14 rows in a grid of 5 m, resulting in 140 sampling points. Soil samples were collected from each of the sampling points at 0.00-0.20 m (topsoil) and 0.20-0.40 m (subsoil) depths. The field was planted with *Crotalaria juncea*, a green manure frequently used in association with sugar cane production, after tillage and lime application. At flowering, the above ground part of the plants were harvested in 2 by 2.5 m plots, from which the dry matter was calculated. Soil depth was measured as the depth down to the C horizon by augering. Values lying outside the plus or minus four standard deviation were rejected, which represented less than 1.5% of the data set. Spatial dependence was evaluated by the analysis of scaled semivariograms and their adjusted parameters. Except for P at 0.00-0.20 m, K at both depths, all attributes showed spatial dependence, which can be classified by the ranges of the semivariograms, separating the soil fertility (12 a 32 m) ≤ plant components (25 a 32 m) < particle size fractions (32 a 42 m). The attributes which best explained crop yield were H + Al, cations exchange capacity and base saturation.*

*Index terms: degraded soil, semivariogram, green manure, erosion.*

## INTRODUÇÃO

A variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo influencia a eficiência do manejo das culturas, bem como seu desenvolvimento. A erosão acelerada do solo é um fator que pode contribuir para aumentar a variabilidade espacial. O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo constitui importante passo, para que se possa empregar um manejo mais adequado, considerando a aplicação de fertilizantes, estratégia de amostragem e planejamento de delineamento de pesquisa em campo (Bhatti et al., 1991).

As relações entre a variabilidade espacial dos atributos de solos e a variabilidade dos atributos de plantas têm sido estudadas para ajudar a identificar a relação de causa e efeito desses atributos (Vieira et al., 1987; Miller et al., 1988; Bhatti et al., 1991 e Finke & Goense, 1993). Em Sacramento - CA, Miller et al. (1988), relacionando o rendimento de trigo e propriedades do solo em área erodida, encontraram forte dependência espacial entre os índices de colheita e os atributos do solo, como a espessura de solo e os teores de carbono orgânico e argila.

Em estudo com variabilidade de fósforo na planta e no solo, Camelo et al. (1993/94) concluíram que a planta atuou como integradora da variabilidade do solo e que a intensidade de amostragem poderia ser menor para o fósforo na planta do que no solo. Para Souza (1992), a extensão do sistema radicular a curta distância pode constituir fator de ajustamento às variáveis do solo.

A geoestatística pode ajudar a compreender como a erosão pode alterar as propriedades do solo e, conseqüentemente, prejudicar a produtividade das culturas. O estudo da estrutura espacial de atributos

introduz uma nova e importante dimensão nas análises da relação entre atributos de solo e produtividade de planta (Miller et al., 1988).

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial de atributos de solo e de plantas em áreas severamente erodidas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido numa área de produção comercial de cana-de-açúcar, no município de Piracicaba (SP), situado nas coordenadas 22° 22' S e 47° 30' W. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico úmido subtropical, de inverno seco, Cwa (BRASIL, 1960). O solo foi classificado como uma associação de Podzólico Vermelho-Amarelo álico ou distrófico, Tb, A moderado textura arenosa/média + solo litólico (Vidal-Torrado, 1994). O relevo é ondulado com declividade média de 8%. A espessura do solo variou de 0 a 1,60 m, considerando a intensidade da erosão linear, uma vez que há diversos sulcos profundos na área. A cultura da cana-de-açúcar vem sendo explorada nessa área há mais de trinta anos. O sistema de cultivo adotado na área, especialmente a renovação do canavial, tem-se mostrado pouco eficiente no controle da erosão. A adubação usual foi a aplicação de 500 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 17-7-21.

Uma parcela, de 50 por 70 m, foi dividida numa malha com espaçamento regular de 5 m entre pontos, o que resultou num retângulo de 10 colunas e 14 linhas, ou seja, 140 pontos. A espessura do solo (ES), definida como a camada de solo acima do horizonte C, foi determinada por meio de tradagem até 1,20 m. Nos sulcos de erosão, em que o horizonte C estava exposto, considerou-se a ES como zero, independentemente da

camada erodida do horizonte C. Amostragem foi realizada em dois de novembro de 1994, para as análises químicas e de granulometria, nas profundidades de 0,00-0,20 m (superficial) e 0,20-0,40 m (subsuperficial). Foram determinados P, matéria orgânica, pH, K, Ca, Mg e H + Al, pelos métodos descritos por Raij et al. (1987). Calcularam-se valores de S, T e V e a necessidade de calagem (NC), avaliada pelo método de saturação por base, adotando-se a correção para atingir  $V_2 = 70\%$ . No cálculo de NC, os valores negativos foram considerados zero.

Em 21 de novembro de 1994, a área foi arada e gradeada com a aplicação e incorporação de 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico. Em 1º de dezembro do mesmo ano, foi feita a semeadura a lanço, utilizando 30 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de crotalaria juncea (*Crotalaria juncea* L.). A germinação foi prejudicada pela estiagem, razão por que nova semeadura foi feita no dia 15 de dezembro de 1994, utilizando-se o mesmo procedimento.

A amostragem da parte aérea da crotalaria juncea foi realizada no início de sua floração, em março de 1995, em miniparcelas de 2 por 2,5 m. As plantas foram cortadas rente ao solo e pesadas. Três plantas de cada parcela foram utilizadas para determinar altura média, pesagem e matéria seca, após secagem, em estufa a 65°C, até peso constante.

Os atributos de solo e de planta foram analisados por procedimentos de análise estatística descritiva e geoestatística. As medidas estatísticas calculadas foram média, valores máximo e mínimo, coeficientes de assimetria e de curtose e coeficiente de variação. Os valores de atributos maiores do que a média mais quatro desvios-padrões e menores do que a média menos quatro desvios-padrões (Cahn et al., 1994) foram descartados. O número de dados descartados foi sempre inferior a 1,5% de cada conjunto de 140 dados.

A análise geoestatística foi empregada para avaliar a dependência espacial dos atributos do solo e da crotalaria juncea. Para determinar a existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, que foram ajustados por tentativas a modelos matemáticos, para a obtenção dos parâmetros efeito pepita, alcance e patamar. Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, aplicou-se a técnica de validação conhecida como "Jack-knifing" e, como critério de decisão, considerou-se a variância reduzida (Vieira, 1995). Essa técnica de validação também foi usada em situações, em que o semivariograma deixava dúvida entre uma fraca estrutura espacial ou um efeito pepita puro. Os resultados dos semivariogramas foram apresentados como semivariogramas escalonados, para facilitar a interpretação dos resultados (Vieira & Lombardi Neto, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Medidas descritivas de atributos de plantas e de solos encontram-se no quadro 1. O menor coeficiente de variação (C.V.) foi de 6%, para a areia superficial, e

o maior, de 102%, para o P subsuperficial. A altura de plantas (ALTPL), pH e areia tiveram C.V. baixos, de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980). O P nas duas camadas apresentou C.V. altos, o que pode ser atribuído à aplicação de fertilizantes, em linhas, ao efeito residual da adubação e à exposição de camadas mais pobres desse nutriente, decorrentes de erosão. A maioria dos atributos tiveram C.V. classificados como médio.

Os coeficientes de assimetria e de curtose dos atributos são apresentados para efeito de comparação com a distribuição normal, para o qual esses coeficientes são, respectivamente, zero e três. Os atributos de plantas tiveram coeficientes de assimetria e curtose que se aproximam de uma distribuição normal. Isso vem corroborar os dados de C.V. desses atributos, que foram inferiores a 32%, significando que a planta pode atuar como integradora de variabilidade do solo (Trangmar et al., 1987; Souza, 1992 e Camelo et al., 1993/94).

A maioria dos atributos químicos do solo não apresentou ajuste a uma distribuição normal, principalmente, na camada superficial. Essa camada é a mais afetada pelo processo de mecanização, manejo das culturas e erosão. As frações granulométricas tiveram valores de coeficientes de assimetria e de curtose mais próximos aos de uma distribuição normal, o que concorda com os dados de C.V., que apresentaram valores menores do que 33%. Observando a amplitude total, constata-se grande amplitude de variações que vão de 3,9 a 5,5 unidades para pH subsuperficial (0,4 vez o valor mínimo) a 0,2 a 26,6 mg dm<sup>-3</sup> para o P subsuperficial (133 vezes o valor mínimo). No entanto, a amplitude total deve ser vista com muita reserva, já que essa medida leva em consideração apenas os dois valores extremos de um conjunto de dados, sendo, muitas vezes, afetada por um valor particularmente discrepante. Aparentemente, foi o que aconteceu no caso das variáveis P e K, ressaltando-se que esses nutrientes foram utilizados nas adubações da área em estudo.

Para avaliar o comportamento espacial dos atributos da crotalaria e do solo, utilizaram-se os semivariogramas escalonados (Quadro 2 e Figuras 1 e 2), por proporcionarem melhor resumo dos resultados e facilitarem a comparação dos diferentes semivariogramas. A análise mostrou que todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial, exceto P e K subsuperficial (Figuras 1g e 2a). Nesse caso, há uma indicação clara de serem essas variáveis independentes espacialmente, apresentando, portanto, uma distribuição casual, ou ser o espaçamento de amostragem usado maior do que o necessário para revelar a dependência espacial.

Todos os semivariogramas construídos se ajustaram bem ao modelo esférico, exceção feita para areia superficial (Figura 1e), que se ajustou melhor ao modelo Gaussiano. Vários pesquisadores (Trangmar et al., 1987; Souza, 1992; Cambardella et al., 1994; Salviano et al., 1995; Paz et al., 1996) encontraram o modelo esférico como o mais adaptado para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos de plantas e de solos.

**Quadro 1. Medidas descritivas dos atributos de crotalária juncea e de solo, nas camadas superficial (0,00-0,20 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m), em uma associação de Podzólico Vermelho-Amarelo com solos litólicos do município de Piracicaba (SP)**

Atributo	Média	Valor		Coeficiente		
		Menor	Maior	Varição (%)	Assimetria	Curtose
Matéria seca, t ha <sup>-1</sup>	8,14	1,08	13,09	31,1	-0,74	3,39
Altura de planta, m	2,50	1,53	3,08	10,8	-0,68	3,65
Espessura de solo, m	0,77	0	1,20	40,6	-0,69	2,64
<b>Camada superficial</b>						
Necessidade de calagem, t ha <sup>-1</sup>	2,11	0	5,67	46,3	1,03	5,07
P, mg dm <sup>-3</sup>	7,5	0,5	32,5	75,4	2,01	7,88
MO, g kg <sup>-1</sup>	10,5	2,1	17,1	32,1	-0,26	2,54
pH	4,3	3,9	5,4	5,1	1,54	8,30
K <sup>+</sup> , mmolc kg <sup>-1</sup>	1,0	0,1	2,8	52,3	0,95	4,19
Ca <sup>2+</sup> , mmolc kg <sup>-1</sup>	11,1	2	33,1	47,1	0,92	4,72
Mg <sup>2+</sup> , mmolc kg <sup>-1</sup>	3,9	0,6	13,8	54,0	2,00	8,92
H + Al, mmolc kg <sup>-1</sup>	37,0	13,4	83,9	35,6	1,18	4,59
S, mmolc kg <sup>-1</sup>	16,2	4	48	46,2	1,41	6,65
T, mmolc kg <sup>-1</sup>	53,5	32	96	26,3	0,53	2,66
V (%)	30,8	7,5	79,5	40,5	0,120	0,566
Silte, g kg <sup>-1</sup>	101	38	202	25,0	0,290	4,38
Areia, g kg <sup>-1</sup>	788	637	894	6,0	-0,29	3,52
Argila, g kg <sup>-1</sup>	112	26	227	32,4	0,61	3,22
<b>Camada subsuperficial</b>						
Necessidade De calagem, t ha <sup>-1</sup>	2,42	0	7,47	63,7	1,03	3,91
P <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	3,9	0,2	26,6	102,1	2,75	13,09
MO, g kg <sup>-1</sup>	9,4	1,4	17,1	34,5	-0,83	2,40
pH	4,38	3,85	5,5	7,1	1,08	4,26
K <sup>+</sup> <sup>(2)</sup> , mmolc kg <sup>-1</sup>	0,7	0,1	1,7	43,8	0,32	3,75
Ca <sup>2+</sup> , mmolc kg <sup>-1</sup>	13,3	0,6	35,2	53,6	0,78	3,67
Mg <sup>2+</sup> , mmolc kg <sup>-1</sup>	4,4	0,8	13,9	54,7	1,33	5,23
H + Al, mmolc kg <sup>-1</sup>	42,4	15,5	109,1	47,6	1,20	4,15
S, mmolc kg <sup>-1</sup>	18	4	53	50,2	1,10	4,68
T, mmolc kg <sup>-1</sup>	61	28	116	30,5	0,82	3,73
V (%)	32,0	5,6	73,0	49,1	0,056	0,275
Silte, g kg <sup>-1</sup>	115	44	223	25,6	0,41	4,34
Areia, g kg <sup>-1</sup>	753	618	880	6,9	-0,06	2,90
Argila, g kg <sup>-1</sup>	132	57	251	31,3	0,79	3,34

(1) Dois valores desconsiderados; (2) Um valor desconsiderado.

O efeito pepita é um parâmetro importante do semivariograma e indica variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medidas ou microvariação não detectada, considerando a distância de amostragem utilizada (Cambardella et al., 1994; Paz et al., 1996). No entanto, é impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade (Arzeno, 1990). Esse parâmetro pode ser expresso como percentagem do patamar, com o objetivo de facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo (Trangmar et al., 1985). Para analisar o grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita  $\leq 25\%$  do patamar, de dependência espacial moderada, quando o efeito pepita está entre

25 e 75%, e de dependência fraca, quando o efeito pepita é  $> 75\%$ .

A análise do efeito pepita dos atributos da crotalária mostrou que os seus semivariogramas são de dependência espacial forte (Figura 1a). Como a planta é consequência de uma combinação das variáveis de solo, essa dependência espacial forte deve ser associada a variações intrínsecas do conjunto de características do solo. A espessura do solo apresenta uma dependência espacial forte (Figura 1a), em virtude da variação intrínseca nas características do solo, principalmente aquelas ligadas à suscetibilidade à erosão. Os semivariogramas de atributos químicos de solos são, na sua maioria, classificados como de dependência espacial moderada. As variáveis matéria orgânica subsuperficial e superficial (Figura 1h) e a capacidade de troca de cátions (Figura 2g)



**Quadro 2. Efeito pepita (Co),  $C_1 = (C-Co)$  e alcance (a) dos modelos ajustados aos semivariogramas escalonados, fator de escalonamento (FS), número de vizinhos (NV) e variância reduzida (VR) para os atributos de crotalaria juncea e de solo, nas camadas superficial (0,00-0,20 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m), em uma associação de Podzólico Vermelho-Amarelo com solos litólicos do município de Piracicaba-SP**

Atributo	Co	C <sub>1</sub>	a	FS	NV	VR
Matéria seca	0,18	0,82	32	7,546	32	0,95
Altura de planta	0,15	0,85	25	0,080	32	0,98
Espessura do solo	0,13	0,87	18	1,070	32	0,91
<b>Camada superficial</b>						
Nec. de calagem	0,42	0,52	22	1,063	32	0,92
P	0,75	0,25	12	32,02	32	1,01
MO	0,15	0,85	22	0,102	20	0,99
pH	0,34	0,66	22	0,051	24	0,89
K <sup>+</sup>	0,77	0,23	14	0,002		
Ca <sup>2+</sup>	0,30	0,70	18	0,270	12	0,99
Mg <sup>2+</sup>	0,40	0,60	32	0,044	12	1,03
H + Al	0,34	0,66	25	1,918	4	0,98
S	0,39	0,61	30	0,579	28	0,97
T	0,15	0,85	32	2,194	8	1,02
V	0,43	0,57	17	165,9	32	0,99
Areia <sup>(1)</sup>	0,43*	0,57	42	28,85	4	1,05
Silte	0,42	0,52	33	6,7	16	1,06
Argila	0,17	0,83	40	15,86	4	1,30
<b>Camada subsuperficial</b>						
Nec. de calagem	0,40	0,60	22	2,601	32	0,98
P	efeito	pepita	puro			
MO	0,08	0,92	20	0,102	20	0,87
pH	0,42	0,58	18	0,101	12	0,84
K <sup>+</sup>	0,52	0,48	16	0,006	32	0,02
Ca <sup>2+</sup>	0,45	0,55	16	0,528	12	0,91
Mg <sup>2+</sup>	0,50	0,50	25	0,053	20	0,99
H + Al	0,36	0,64	25	4,53	4	1,02
S	0,42	0,58	18	0,870	8	0,98
T	0,28	0,72	32	3,866	12	1,02
V	0,43	0,57	18	269	8	0,99
Areia	0,35	0,65	35	31,56	12	1,10
Silte	0,43	0,57	32	8,92	16	1,00
Argila	0,25	0,75	40	20,2	12	1,11

<sup>(1)</sup> Modelo Gaussiano.

apresentaram semivariogramas de dependência espacial forte devidos a características intrínsecas do solo (Cambardella et al., 1994). O K superficial foi o único elemento que apresentou dependência espacial fraca (Figura 2a). É importante observar que o fósforo superficial apresentou valor de efeito pepita no limite superior para ser considerado como de dependência moderada e que o potássio e fósforo subsuperficial

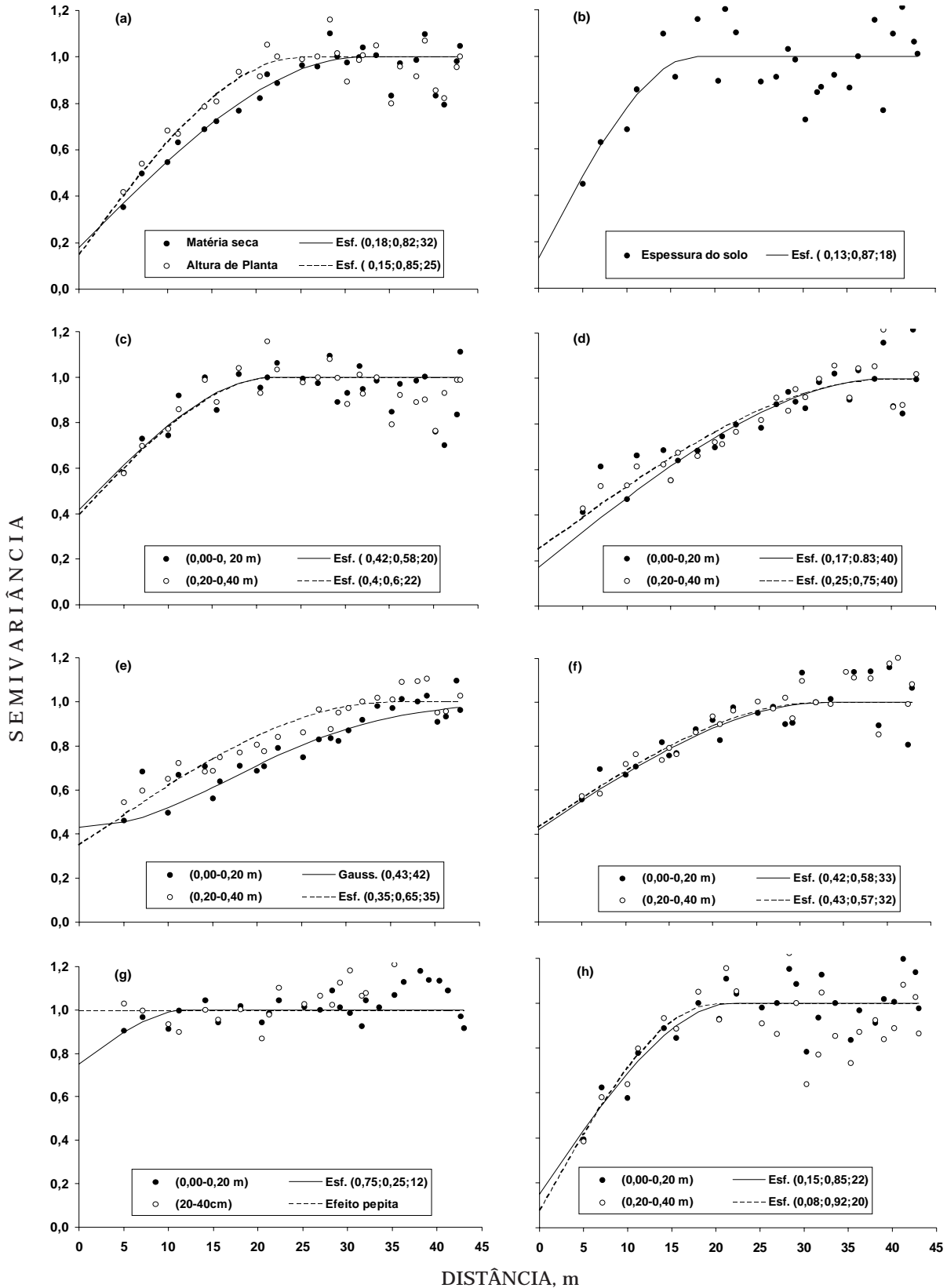
apresentaram efeito pepita puro (Quadro 2), ou seja, semivariograma sem estrutura definida. Justifica-se esse fato por estar essa área recebendo adubação desses dois nutrientes há muito tempo, o que vem corroborar as afirmações de Cambardella et al. (1994) de que a dependência espacial fraca se deve a variações extrínsecas causadas pela aplicação de fertilizantes e ao preparo do solo. Segundo eles, uma variável, que tem fraca dependência espacial, pode apresentar melhor estrutura espacial com adoção de um espaçamento diferente de amostragem.

A análise do efeito pepita dos atributos de textura do solo (Figura 1d, 1e e 1f) mostrou que somente a argila apresentou uma forte dependência espacial; deve-se observar que o solo em estudo apresentou um gradiente textural, além de uma variação de espessura de solo devida ao processo de erosão. As demais variáveis apresentaram moderada dependência espacial.

O alcance de dependência espacial é outro parâmetro importante no estudo do semivariograma e significa a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente. Os atributos de plantas apresentaram variação de alcance de 25 a 32 m, os de fertilidade do solo, de 12 a 32 m, e os de textura, de 32 a 42 m, indicando que o alcance pode ser classificado em três grupos relativamente homogêneos. Tal resultado tem uma implicação prática importante na condução de experimentos, porque define a distância em que os pontos amostrais estão espacialmente correlacionados entre si. O valor do alcance de um atributo garante que todos os vizinhos situados dentro de um círculo com esse raio são tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (Vieira & Lombardi Neto, 1995).

A análise dos valores de alcances de H + Al, NC e valor T (Quadro 2) mostrou que esses atributos tiveram elevada similaridade, o que é explicado pelo fato de o atributo H + Al ter grande influência no cálculo dessas outras variáveis. O valor médio de H + Al representou, aproximadamente, 70% do valor médio de T (Quadro 1). H + Al, NC e T tiveram alcances muito similares aos da MS, indicando que a produtividade de crotalaria está relacionada com o teor de Al desse solo. O Al atua como fator inibidor do desenvolvimento radicular, com conseqüente efeito negativo na absorção de água e de nutrientes pelas plantas (Olmos & Camargo, 1976 e Ritchey et al., 1980).

As análises dos semivariogramas das variáveis por profundidade mostraram que esses tiveram um comportamento muito similar com respeito ao modelo matemático, alcance e efeito pepita. Apenas a areia apresentou modelo diferente de semivariograma: modelo esférico, na camada subsuperficial, e modelo Gaussiano, na camada superficial. As variáveis relacionadas com H + Al (o próprio H + Al, valores T, S e V, necessidade de calagem) e o silte tiveram, praticamente, os mesmos valores de efeito pepita e de alcance.



**Figura 1.** Semivariogramas escalonados de atributos de *Crotalaria juncea* L. (a) e de solo: espessura (b), necessidade de calagem (c), argila (d), areia (e), silte (f), fósforo (g) e matéria orgânica (h), nas camadas superficial (0,00-0,20 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m), em uma associação de Podzólico Vermelho-Amarelo com solos líticos do município de Piracicaba (SP). Esf. (Co; C<sub>1</sub>; a) é o modelo esférico ajustado, Co = efeito pepita; C<sub>1</sub> = patamar - Co; a = alcance;  $\gamma(h) = Co + C_1 [(3/2)(h/a) - (1/2)(h/a)^3]$  quando  $h < a$ ;  $\gamma(h) = 1,0$  quando  $h \geq a$ . Gau (Co; C<sub>1</sub>) é o modelo Gaussiano ajustado, Co = efeito pepita, C<sub>1</sub> = patamar - Co e a = alcance;  $\gamma(h) = Co + C_1 [1 - e^{-3h/a^2}]$   $h \geq 0$ .

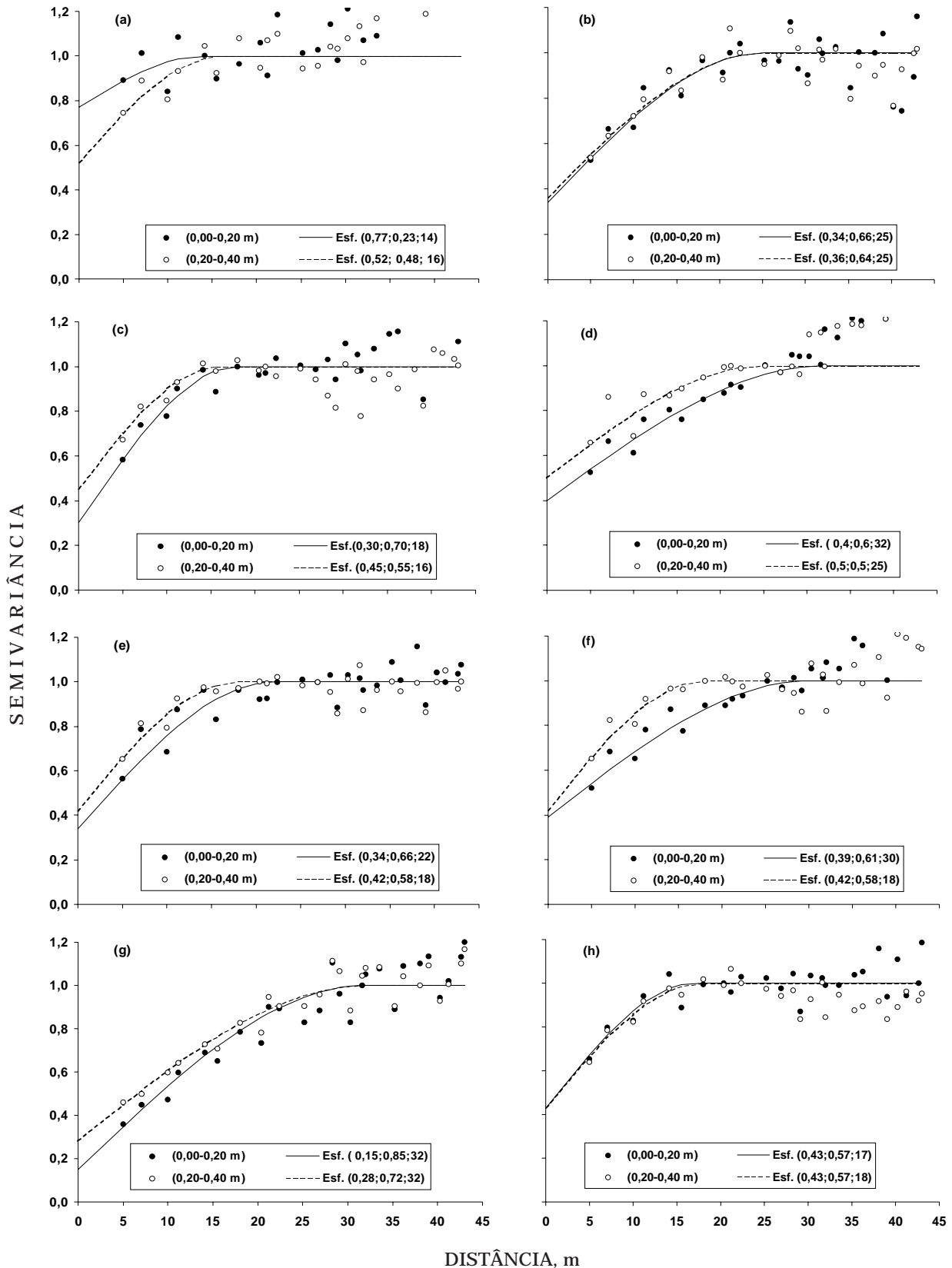


Figura 2. Semivariogramas escalonados de atributos de solo: K (a), H + Al (b), Ca (c), Mg (d), pH (e), soma de bases (f), capacidade de troca de cátions (g) e saturação por bases (h), nas camadas superficial (0,00-0,20 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m), em uma associação de Podzólico Vermelho-Amarelo com solos litólicos do município de Piracicaba (SP).  $Esf. (Co; C_1; a)$  é o modelo esférico ajustado,  $Co$  = efeito pepita;  $C_1$  = patamar -  $Co$ ;  $a$  = alcance;  $\gamma(h) = Co + C_1 [(3/2)(h/a) - (1/2)(h/a)^3]$  quando  $h < a$ ;  $\gamma(h) = 1,0$  quando  $h \geq a$ .

## CONCLUSÕES

1. Todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial, com exceção do P (0-20 cm) e K, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm.

2. Os atributos puderam ser agrupados em três classes homogêneas quanto ao alcance do semivariograma: atributos químicos do solo (12 a 32 m)  $\leq$  componentes de planta (25 a 32 m) < frações granulométricas (32 a 42 m).

3. H + Al, NC, valor T e ES tiveram alcance de semivariograma comparável ao da produtividade da matéria seca da crotalária juncea.

## LITERATURA CITADA

- ARZENO, J.L. Avaliação física de diferentes manejos de solo em um Latossolo Roxo-Distrófico. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 1990. 259p. (Tese de Doutorado)
- BHATTI, A.U.; MULLA, D.J. & FRAZIER, B.E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. *Rem. Sens. Environ.*, 37:181-191, 1991.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de Pesquisa Agropecuária. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Brasília, 1960. 634p. (SNPA, Boletim, 12)
- CAHN, M.D.; HUMMEL, J.W. & BROUER, B.H. Spatial analysis of fertility for site-specific crop management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1240-1248, 1994.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511, 1994.
- CAMELO, L.G.L.; SIERRA, J.; FUMAGALLI, C. & MIGUEZ, S.R. Variabilidade espacial de fósforo em solo y planta en un Argiudol típico bajo cultivo de maíz. *R. Fac. Agron.*, 14:1-8, 1993/94.
- FINKE, P.A. & GOENSE, D. Differences in barley yields as a result of soil variability. *J. Agric. Sci.*, 120:171-180, 1993.
- MILLER, M.P.; SINGER, M.J. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1133-1141, 1988.
- OLMOS, I.L.J. & CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ci., Cult.*, 28:171-180, 1976.
- PAZ, A.; TABOADA, M.T. & GÓMEZ, M.J. Spatial variability in topsoil micronutrients contents in one-hectare cropland plot. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 27:479-503, 1996.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, E.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RICTHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. *Agron. J.*, 72:40-44, 1980.
- SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. Dependência espacial dos teores de macronutrientes da parte aérea da Crotalária Juncea em área de erosão acelerada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumo expandido. Campinas, SBSCS, 1995. p.1798-1799. v.4.
- SOUZA, L.S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 141p. (Tese de Doutorado)
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K. & UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, 38:45-94, 1985.
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G. & SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:668-674, 1987.
- VIDAL-TORRADO, P. Pedogênese e morfologia no Distrito de Tupi (Piracicaba-SP). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 1994. 212p. (Tese de Doutorado)
- VIEIRA, S.R. Curso de atualização em conservação dos solos. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial. Campinas, IAC, Seção de Conservação do Solo, 1995. 61p. (Apostila - parte I)
- VIEIRA, S.R.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DECHEN, S.C.F. & LOMBARDI NETO, F. Utilização da análise de Fourier no estudo do efeito residual da adubação em uva na crotalária. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:7-10, 1987.
- VIEIRA, S.R. & LOMBARDI NETO, Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 54:405-412, 1995.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. ed. Application of soil physics. New York, Academic Press, 1980. p. 314-344.