

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM ÁREAS COM E SEM MANEJO QUÍMICO LOCALIZADO⁽¹⁾

E. MERCANTE⁽²⁾, M. A. URIBE-OPAZO⁽³⁾ & E. G. SOUZA⁽⁴⁾

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento das variabilidades (espacial e temporal) por meio da técnica de escalonamento de semivariogramas, da variável resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 m, para os anos de 1999 a 2001, sob duas formas de manejo: com manejo químico localizado (CML) e sem manejo químico localizado (SML). Os resultados demonstraram que a variável RMSP apresentou variabilidade espacial com comportamento distinto, conforme a camada e o ano de estudo. A variável RMSP apresentou variabilidade temporal tanto nas parcelas CML quanto nas parcelas SML. As duas formas de manejo (com manejo químico localizado (CML) e sem manejo químico localizado (SML)) não influenciaram o comportamento espacial da variável resistência mecânica do solo à penetração (RMSP). O escalonamento dos semivariogramas reduziu o tempo computacional de ajuste dos modelos, não apresentando diferenças no comportamento e amplitude da variabilidade espacial em relação aos semivariogramas não escalonados.

Termos de indexação: geostatística, variabilidade espacial e temporal, escalonamento de semivariogramas.

⁽¹⁾ Parte dos Resultados da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná –UNIOESTE. Recebido para publicação em janeiro de 2003 e aprovado em outubro de 2003.

⁽²⁾ Engenheiro Agrícola, pesquisador do Núcleo de Inovações Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – NIT/UNIOESTE (PR). R. Universitária 2069, CEP 85814-110 Cascavel (PR). Bolsista-CAPES. E-mail: erivelto.mercante@agr.unicamp.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas e pesquisadoras do Núcleo de Inovações Tecnológicas, NIT/UNIOESTE. E-mail: mopazo@unioeste.br

⁽⁴⁾ Professor Associado do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas e pesquisadoras do Núcleo de Inovações Tecnológicas, NIT/UNIOESTE. E-mail: godoy@unioeste.br

SUMMARY: *SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF THE SOIL MECHANICAL RESISTANCE TO PENETRATION IN AREAS WITH AND WITHOUT SITE-SPECIFIC CHEMICAL APPLICATION*

The objective of this work was to evaluate the behavior of the spatial and temporal variabilities with the technique of rescaling semivariograms. Study variable was the soil mechanical resistance to penetration (SMRP) in the layers 0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3 m for the years of 1999 to 2001, under two management systems: with (WSS) and without site-specific nutrient management (NoSS). Results demonstrated that the variable SMRP presented spatial variability with different behavior, according to the soil layer and study year. The variable SMRP presented temporal variability in both management systems. These two systems did not influence the space behavior of the study variable (RMSP). Rescaling of the semivariograms reduced the computing time of model adjustment, and did not present differences in behavior or range of the space variability compared to the not rescaled semivariograms.

Index terms: geostatistics, spatial and temporal variabilities, rescaled semivariograms.

INTRODUÇÃO

A agricultura convencional, praticada pela maioria dos agricultores, geralmente faz uso maciço de insumos agrícolas. Estes, além de aumentar os custos de produção, podem causar contaminação das águas superficiais e subterrâneas, comprometendo, assim, a utilização deste recurso natural, imprescindível à humanidade. Os compromissos assumidos no desenvolvimento sustentável obrigam a adoção de tecnologias avançadas, com o objetivo de diminuir as diferenças entre a produtividade experimental e real, não obstante as particularidades dos diferentes agroecossistemas (Manzatto et al., 2000).

Agricultura de precisão é um conceito relativamente recente de manejo de solo-planta-atmosfera, baseado em princípios de gerenciamento agrícola de informações sobre as variabilidades (espacial e temporal) dos fatores de produção e da própria produtividade. A adoção desta nova tecnologia justifica-se pelo fato de a maioria dos produtores agrícolas considerar o solo uniforme para cada área de cultivo. Porém, cada área pode ter consideráveis variações em seus atributos, tais como: variabilidade espacial do tipo de solo, da produtividade, das características físicas e da necessidade de nutrientes. Para estudar a variabilidade espacial desses atributos, utilizam-se técnicas como a geoestatística, baseada na “teoria das variáveis regionalizadas”.

Conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo que controlam a produtividade das culturas é um fator indispensável à instalação de um programa de agricultura de precisão. Existem várias técnicas disponíveis para conhecer tal variabilidade, tais como: levantamento dos solos, amostragem do

solo, utilização de sensores, técnicas de sensoriamento remoto ou, ainda, utilização de modelos de simulação (Corá & Marques Jr., 1998).

A variabilidade espacial dos solos não tem sido devidamente tomada em consideração nos processos produtivos da agricultura. Um maior conhecimento da variabilidade espacial da produtividade e das propriedades físicas do solo, bem como o estudo desta variabilidade com o passar dos anos (variabilidade temporal), vem somar com o conhecimento já existente sobre o assunto, o qual, ao ser devidamente disponibilizado aos produtores que adotam a técnica de agricultura de precisão, pode viabilizar uma agricultura moderna, economicamente competitiva e ecologicamente correta.

A resistência mecânica do solo à penetração é uma propriedade física relativamente fácil de ser obtida e, de certa forma, de ser correlacionada com a densidade e com a macroporosidade. Para um mesmo solo, quanto maior for a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor será a macroporosidade, que é o principal espaço para o crescimento das raízes. Deve ser levado em conta, no entanto, que a resistência do solo é mais afetada pela variação nos conteúdos de umidade do solo no momento da amostragem do que pela densidade do solo. Por esta razão, muitos dos trabalhos que objetivam caracterizar o efeito da compactação sobre o desenvolvimento radicular e sobre a produtividade das culturas utilizam a densidade do solo como parâmetro de referência (Torres & Saraiva, 1999).

Para Klein et al. (1998), a resistência mecânica do solo à penetração é influenciada por vários fatores, sendo a densidade e a umidade os principais. Os autores citam que, em uma pesquisa de resistência mecânica do solo à penetração, é fundamental que se faça o monitoramento dos dados de densidade e

de umidade, uma vez que esses fatores influenciam diretamente os valores da resistência mecânica do solo à penetração.

Torres & Saraiva (1999) descrevem que valores em torno de 2,5 MPa são considerados baixos, ao passo que valores em torno de 3,5 a 6,5 MPa, aparentemente, são considerados como valores capazes de causar problemas de impedimento mecânico para o desenvolvimento radicular das plantas. Devem-se considerar as resistências em torno de 3,5 MPa, como indicativo de baixa compactação, e de 6,5 MPa, como indicativo de alta compactação.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi estudar o comportamento da variabilidade, espacial e temporal, da resistência mecânica do solo à penetração nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, nos anos de 1999 a 2001, sob duas formas de manejo: com manejo químico localizado (CML) e sem manejo químico localizado (SML).

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma área pertencente ao Centro de Pesquisa Eloy Gomes da Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda (COODETEC), situada na BR 467, km 98, e localizada na cidade de Cascavel, Paraná (longitude 53 ° 26 ' W e latitude 24 ° 56 ' S). A pesquisa encontra-se em desenvolvimento desde 1998 pelo Núcleo de Inovações Tecnológicas (NIT), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico típico, conforme EMBRAPA (1999). O clima da região apresenta-se como temperado mesotérmico e superúmido, tipo climático Cfa (Köppen) (CASCAVEL, 1995).

Primeiramente, na área experimental, foram demarcadas 256 parcelas, seguindo uma malha ("grid") de 7,2 x 7,2 m, com carreador de 2,4 m em uma das direções, correspondendo a uma área útil total de 1,33 ha. A área experimental ainda foi subdividida para fins de tratamento localizado, caracterizando a prática de agricultura de precisão em: 128 parcelas com manejo químico localizado (CML) e 128 parcelas sem manejo químico localizado (SML) (Souza et al., 1999).

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada por um penetrógrafo de haste, com ângulo de cone de 30 °, diâmetro da base de cone de 0,01283 m, diâmetro da haste de 0,00953 m e comprimento de 0,6 m, prescrita pela ASAE S313.2/1982, que fornece resultados da força por unidade de área. Foram realizadas quatro repetições em cada parcela experimental, de forma aleatória. O próximo passo foi tabular os cartões nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. Para caracterizar a resistência

meccânica do solo à penetração, as determinações foram realizadas nos meses de abril de cada ano da pesquisa.

Para analisar os dados, realizou-se, primeiramente, uma análise exploratória, com intuito de descrever os parâmetros estatísticos os quais ajudam a identificar tendência, dispersão e forma de distribuição dos dados (homogeneidade e normalidade). Na etapa da análise da variabilidade espacial, os dados foram analisados, utilizando-se técnicas de geoestatística, com o intuito de identificar e definir a estrutura de dependência espacial dos dados. Para analisar a variabilidade espacial, foi utilizado o semivariograma. Para cada variável foram efetuados os cálculos da função semivariância e o ajuste dos modelos teóricos a elas. Os valores das semivariâncias experimentais foram obtidos pelo estimador de Matheron.

Para efetuar o escalonamento dos semivariogramas da variável em estudo, nos três diferentes anos de amostragem, verificou-se a existência de proporcionalidade entre as médias e as variâncias dos dados em estudo. O escalonamento dos semivariogramas foi feito, usando-se a variância dos dados em estudo como fator de escala para agrupar os semivariogramas, conforme Guimarães (1993). Gerou-se, então, um único modelo escalonado para as variáveis estudadas durante o período de três anos, nas três diferentes camadas avaliadas.

O escalonamento dos semivariogramas foi realizado utilizando-se a equação 1.

$$\gamma_{esc} = \frac{\gamma_i(h)}{\alpha_i}, (i = 1, 2, \dots, s) \quad (1)$$

sendo γ_{esc} o semivariograma escalonado; $\gamma_i(h)$ a semivariância do semivariograma de Matheron, para processos estocásticos gaussianos, intrinsecamente estacionários; s o número de períodos ou camadas medidas; α_i o fator de escalonamento, que foi adotado como sendo o valor da respectiva variância dos dados em estudo.

O índice de melhor ajuste "indicative goodness of fit", conforme Pannatier, 1996) foi utilizado na escolha do melhor modelo ajustado aos semivariogramas escalonados, encontrando-se os valores para o efeito pepita C_0 , patamar $C_0 + C_1$, alcance a , e coeficiente de efeito pepita E . Os parâmetros C_0 , $C_0 + C_1$ e a foram, então, utilizados na interpolação dos valores das variáveis em estudo nas posições não amostradas, utilizando-se a técnica de krigagem ordinária. Os mapas de contorno das variáveis estudadas foram finalmente confeccionados, usando-se o software SURFER 6.0 (Golden Software, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, está apresentada a análise estatística dos dados da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), para os anos de 1999 a 2001,

sob duas formas de manejo, com manejo químico localizado (CML) e sem manejo químico localizado (SML), para as camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. Verificou-se homogeneidade nas parcelas CML e SML para os três anos da pesquisa, considerando que os coeficientes de variação ficaram abaixo de 25 %. Os valores das médias da RMSP de 1999, para os dois tipos de manejo, foram menores na camada de 0,2-0,3 m de camada, em relação às outras camadas analisadas para o ano de 1999. A amplitude dos valores variou de 3,35 MPa, para a camada de 0-0,1 m nas parcelas CML, a 2,41 MPa, para a camada de 0,2-0,3 m nas parcelas CML. Os altos valores de RMSP encontrados para a camada superficial no ano de 1999 podem ser atribuídos ao tráfego intenso de máquinas na área ao longo do primeiro ano da pesquisa, onde foram feitos os tratamentos culturais das culturas de inverno (trigo) e de verão (soja).

A análise das médias da RMSP de 2000 indicou, para os dois tipos de manejo (CML e SML), valores de amplitude baixa e que, nas três camadas estudadas, não diferiram muito entre si, pois o maior valor foi de 2,54 MPa, para a camada de 0,1-0,2 m nas parcelas CML, e o menor, de 2,38 MPa, para a camada de 0-0,1 m nas parcelas SML. Analisando os valores médios para a RMSP no ano de 2001 (Quadro 1), observa-se que os valores obtidos estão em torno de 2,23 a 2,80 MPa, tendo os valores aumentado segundo a camada analisada.

Os valores médios da RMSP encontrados para as diferentes camadas avaliadas nos três anos da pesquisa (Quadro 1) estão dentro dos limites especificados por Torres & Saraiva (1999), indicando que a RMSP não está sendo um fator restritivo ao crescimento radicular das plantas.

Testes estatísticos comprovaram que todas as variáveis analisadas apresentaram normalidade a 5 % de significância. Com a construção dos semivariogramas direcionais (0, 45, 90 e 135 °), analisou-se a condição de isotropia das variáveis (padrão da estrutura de dependência espacial de todas as variáveis é o mesmo em todas as direções); assim, verificou-se que as variáveis de RMSP do ano de 2000, nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m nas parcelas CML e SML, não satisfazem a hipótese de estacionaridade dos dados. Para estas variáveis, utilizou-se a técnica de eliminar a tendência para assegurar que os dados analisados mostrem estacionaridade (utilização dos resíduos).

Os parâmetros e os modelos dos semivariogramas escalonados para a variável RMSP nos anos de 1999 a 2001 são apresentados no quadro 2. Observa-se que os modelos ajustados foram o modelo exponencial, para as variáveis de RMSP, avaliadas nas camadas de 0-0,1 e 0,2-0,3 m, e o modelo esférico, para a variável de RMSP, avaliada na camada de 0,1-0,2 m. A variável RMSP apresentou em todas as camadas uma

Quadro 1. Estatística descritiva da variável resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) nos anos de 1999 a 2001, com manejo localizado (CML) e sem manejo localizado (SML)

Variável	CML			SML		
	RMSP 0-0,1	RMSP 0,1-0,2	RMSP 0,2-0,3	RMSP 0-0,1	RMSP 0,1-0,2	RMSP 0,2-0,3
1999	Nº de amostras	128	128	128	128	128
	Mínimo (MPa)	1,72	1,47	1,37	1,84	1,57
	Mediana (MPa)	3,20	2,55	2,45	3,23	2,47
	Máximo (MPa)	5,44	3,63	3,48	5,24	3,14
	Média (MPa)	3,35	2,58	2,41	3,34	2,44
	Variância (MPa)	0,53	0,10	0,07	0,44	0,08
	C.V. (%)	21	12	11	20	11
2000	Nº de amostras	128	128	128	128	128
	Mínimo (MPa)	1,35	1,84	1,21	1,21	1,71
	Mediana (MPa)	2,43	2,51	2,45	2,40	2,56
	Máximo (MPa)	3,31	3,40	3,37	3,31	3,78
	Média (MPa)	2,42	2,54	2,47	2,38	2,53
	Variância (MPa)	0,12	0,11	0,13	0,13	0,14
	C.V. (%)	14	13	15	15	14
2001	Nº de amostras	127	127	127	128	128
	Mínimo (MPa)	1,51	1,55	2,05	1,17	1,82
	Mediana (MPa)	2,19	2,57	2,79	2,28	2,59
	Máximo (MPa)	3,20	3,33	3,52	3,34	3,23
	Média (MPa)	2,23	2,59	2,80	2,28	2,61
	Variância (MPa)	0,11	0,07	0,06	0,13	0,07
	C.V. (%)	15	10	9	16	10

dependência espacial moderada, pois os valores do coeficiente de efeito pepita (*E*) ficaram dentro dos limites de 25 a 75 % (Cambardella et al., 1994; Souza et al., 1999). Os alcances (*a*) dos semivariogramas escalonados nos diferentes anos da variável RMSP foram maiores que 50 m. Deste modo, a autocorrelação entre os pontos amostrados, ou a dependência espacial entre

as amostras das variáveis, atingiu mais da metade da distância total considerada do alcance (100 m).

Os gráficos dos semivariogramas escalonados para a variável RMSP nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m são apresentados na figura 1.

No quadro 3, estão apresentados os modelos e os parâmetros ajustados dos semivariogramas

Quadro 2. Parâmetros e modelos dos semivariogramas escalonados para a variável RMSP, nos anos de 1999 a 2001

Variável	Camada	Modelo	C_0	C_1	$(C_1 + C_0)$	a	$E = C_0/(C_1 + C_0)$
	m						%
CML	0- 0,1	Exponencial	0,4785	0,6002	1,0787	80,52	44
SML		Exponencial	0,5423	0,5246	1,0669	65,24	51
CML	0,1-0,2	Esférico	0,6987	0,3256	1,0243	75,63	68
SML		Esférico	0,6742	0,3895	1,0637	72,54	63
CML	0,2-0,3	Exponencial	0,6325	0,3845	1,0170	61,23	62
SML		Exponencial	0,6235	0,4732	1,0967	66,32	57

C_0 = efeito pepita; $(C_1 + C_0)$ = patamar; a = alcance; E = coeficiente de efeito pepita.

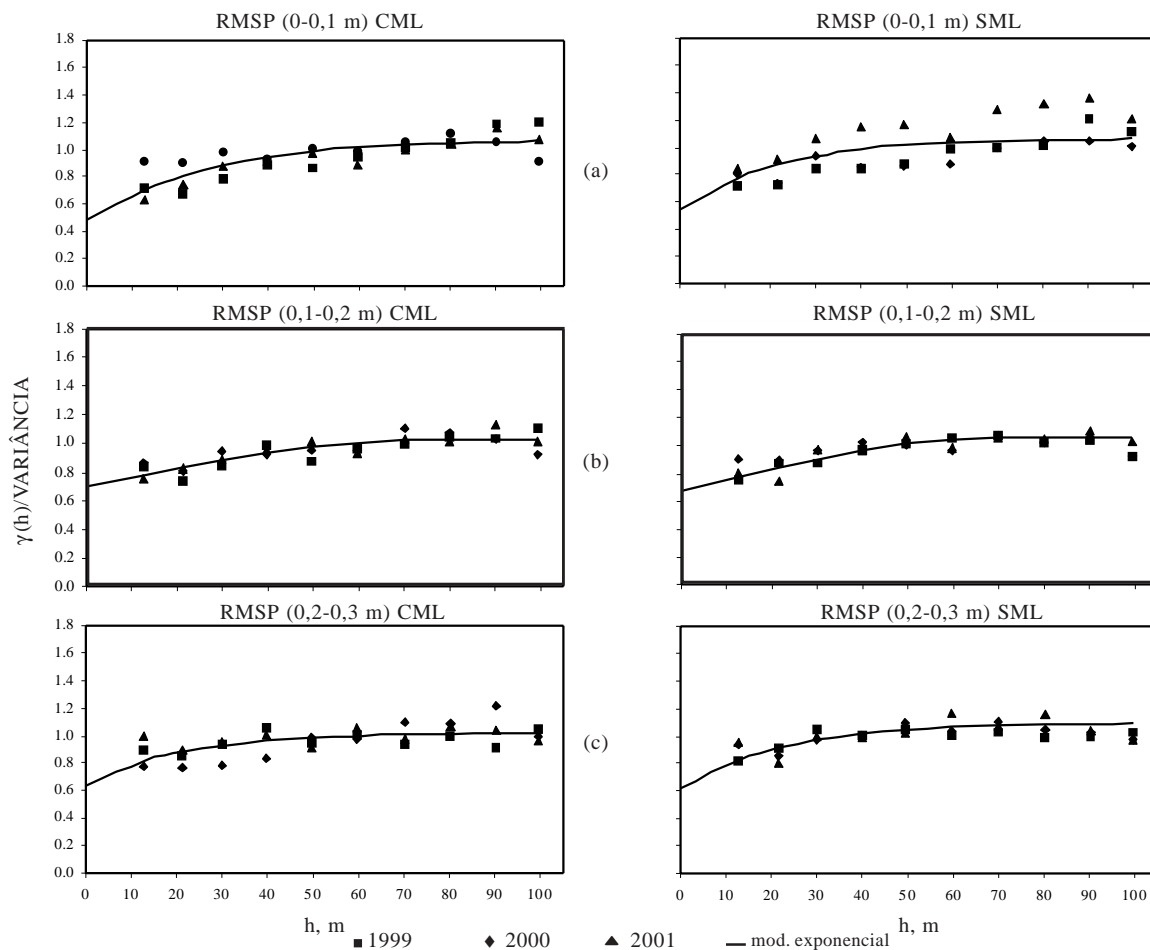


Figura 1. Semivariogramas escalonados para a variável RMSP (0-0,1 m) (a), (0,1-0,2 m) (b) e (0,2-0,3 m) (c), avaliada nos anos de 1999 a 2001, nas parcelas com e sem manejo químico localizado (CML e SML, respectivamente).

escalonados para a variável RMSP nas diferentes camadas (0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m).

Como pode ser observado no quadro 3, os modelos ajustados aos semivariogramas escalonados foram o modelo esférico, para as variáveis de RMSP dos anos de 1999 e 2000, e o modelo exponencial, para a variável de RMSP do ano de 2001. O grau de dependência espacial, segundo a classificação de Cambardella et al. (1994) e Souza et al. (1999), nas variáveis de RMSP

nos anos de 1999 a 2001, apresentou-se como moderado, pois os valores do coeficiente de efeito pepita (E) estão dentro dos limites de 25 a 75 %. Os alcances (a) dos semivariogramas escalonados nas diferentes camadas da variável RMSP, para os anos de 1999 a 2001 apresentaram-se novamente maiores que 50 m. Os gráficos dos semivariogramas escalonados para a variável RMSP nos anos de 1999 a 2001, nas diferentes camadas, estão apresentados na figura 2.

Quadro 3. Parâmetros e modelos dos semivariogramas escalonados para a variável RMSP nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m

Variável	Ano	Modelo	C_0	C_1	$(C_1 + C_0)$	a	$E = C_0 / (C_1 + C_0)$
CML	1999	Esférico	0,6023	0,4132	1,0155	72,56	59
SML		Esférico	0,6253	0,4123	1,0376	72,35	60
CML	2000	Esférico	0,6835	0,3954	1,0789	78,52	63
SML		Esférico	0,6532	0,4012	1,0544	69,53	62
CML	2001	Exponencial	0,5243	0,5342	1,0585	71,25	50
SML		Exponencial	0,6123	0,5125	1,1248	71,56	54

C_0 = efeito pepita; $(C_1 + C_0)$ = patamar; a = alcance; E = coeficiente de efeito pepita.

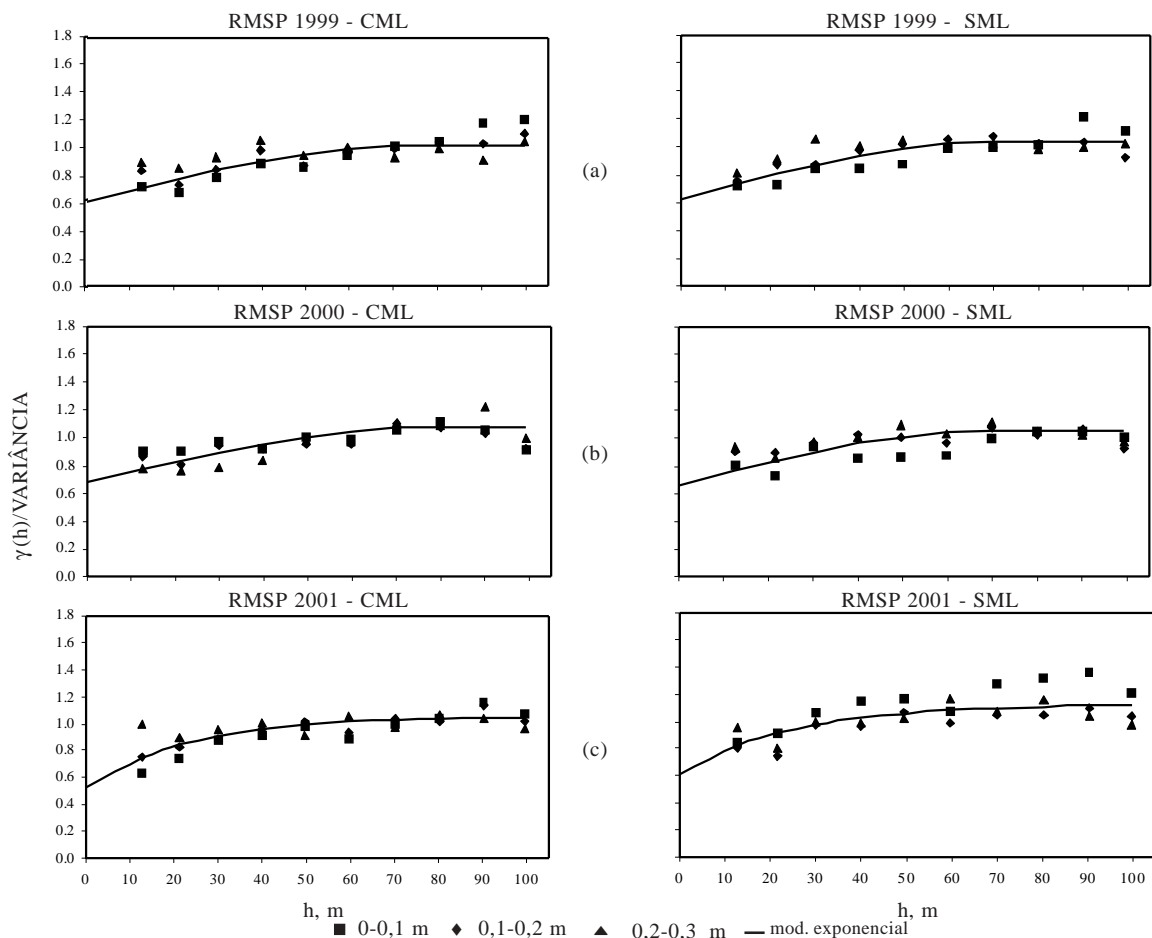


Figura 2. Semivariogramas escalonados para a variável RMSP 1999 (a), 2000 (b) e 2001 (c), avaliada nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, nas parcelas com e sem manejo químico localizado (CML e SML, respectivamente).

Realizou-se também o ajuste dos semi-variogramas individuais (Quadro 4), utilizando-se o estimador de Matheron. Os modelos ajustados aos semi-variogramas individuais foram o esférico e o exponencial, os valores de alcance (a) e o grau de dependência espacial dos semi-variogramas individuais não diferiram muito dos valores encontrados para os semi-variogramas escalonados (Quadros 2 e 3).

Com base nos parâmetros de ajuste (efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_I$), alcance (a)) e nos modelos ajustados aos semi-variogramas individuais e aos semi-variogramas escalonados, descritos anteriormente, foi possível a construção dos mapas de contorno (superfície contínua) para cada variável em estudo, caracterizando, assim, o comportamento espacial de cada variável no campo. Os mapas de contorno da RMSP foram construídos, adotando, como escala de classificação, a média dos valores mínimos e dos máximos obtidos nos três anos da pesquisa nas parcelas CML e SML; desta forma, a escala de valores dos mapas de RMSP apresentou uma amplitude de 1,50 a 3,30 MPa.

As figuras 3 a 5 mostram os mapas de contorno da variável RMSP dos anos de 1999 (RMSP 99), 2000 (RMSP 00) e 2001 (RMSP 01), construídos a partir dos parâmetros dos semi-variogramas individuais e dos semi-variogramas escalonados. Os gráficos são discretizados de acordo com o tipo de mobilização do solo (CML e SML) e da camada analisada.

Percebe-se que os mapas da camada superficial (0-0,1 m) apresentam valores com amplitude de 2,70 a 3,30 MPa; da camada intermediária (0,1-0,2 m),

valores de 2,10 a 2,70 MPa, e da camada inferior (0,2-0,3 m), valores de 1,70 a 2,50 MPa (Figura 3). Estes valores são considerados baixos para a cultura da soja estabelecida em Latossolo Bruno (Torres & Saraiva, 1999).

Verifica-se que os mapas da camada superficial (0-0,1 m) e intermediária (0,1-0,2 m) mostram valores com amplitude de 2,10 a 2,70 MPa, respectivamente, e da camada inferior (0,2-0,3 m), valores de 1,90 a 2,50 MPa (Figura 4). Desta forma, pode-se dizer que a área experimental no ano de 2000 não apresentou valores de RMSP que fossem restritivos ao crescimento radicular ou indicativos de alta compactação em todas as camadas avaliadas.

Verifica-se que os mapas da camada superficial (0-0,1 m) mostram valores com amplitude de 1,70 a 2,90 MPa; da camada intermediária (0,1-0,2 m), valores de 2,10 a 2,70 MPa e, da camada inferior (0,2-0,3 m), valores de 2,50 a 3,10 MPa (Figura 5). Assim, pode-se dizer novamente que a área experimental no ano de 2001 também não apresentou valores de RMSP restritivos ao crescimento radicular e indicativos de alta compactação em todas as camadas avaliadas.

Pode-se notar também (Figuras de 3 a 5) que os métodos de manejo utilizados não causaram grandes diferenças entre os mapas, ou seja, os mapas construídos a partir dos dados das parcelas CML revelam comportamento espacial parecido com os mapas construídos a partir dos dados das parcelas SML. Entretanto, quando se comparam os mapas de RMSP para as diferentes camadas de análise 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, e em cada ano de

Quadro 4. Parâmetros e modelos dos semi-variogramas individuais para a variável RMSP, nos anos de 1999 a 2001, nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m

Ano	Variável	Camada	Modelo	C_0	C_I	$(C_I + C_0)$	a	$E = C_0/(C_I + C_0)$
		m						%
1999	CML	0-0,1	Esférico	0,2640	0,3240	0,5880	91,31	44,89
		0,1-0,2	Exponencial	0,0579	0,0500	0,1079	83,69	53,66
		0,2-0,3	Exponencial	0,0520	0,0240	0,0760	72,00	68,42
	SML	0-0,1	Esférico	0,2450	0,2250	0,4700	86,69	52,12
		0,1-0,2	Exponencial	0,0560	0,0540	0,1100	81,00	50,90
		0,2-0,3	Esférico	0,0544	0,0272	0,0816	51,00	66,66
2000	CML	0-0,1	Exponencial	0,0760	0,0360	0,1120	88,00	67,85
		0,1-0,2	Exponencial	0,0399	0,0287	0,0686	85,00	58,16
		0,2-0,3	Esférico	0,0760	0,0600	0,1360	79,00	55,88
	SML	0-0,1	Exponencial	0,0530	0,0440	0,0970	80,00	54,64
		0,1-0,2	Exponencial	0,0512	0,0256	0,0768	75,00	66,66
		0,2-0,3	Exponencial	0,0940	0,0540	0,1480	59,00	63,51
2001	CML	0-0,1	Exponencial	0,0500	0,0660	0,1160	78,00	43,10
		0,1-0,2	Exponencial	0,0371	0,0308	0,0679	68,00	54,63
		0,2-0,3	Exponencial	0,0476	0,0154	0,0630	57,00	75,55
	SML	0-0,1	Exponencial	0,0760	0,0620	0,1380	62,00	55,07
		0,1-0,2	Exponencial	0,0392	0,0301	0,0693	60,06	56,56
		0,2-0,3	Exponencial	0,0480	0,0312	0,0792	74,00	60,60

C_0 = efeito pepita; $(C_I + C_0)$ = patamar; a = alcance; E = coeficiente de efeito pepita.

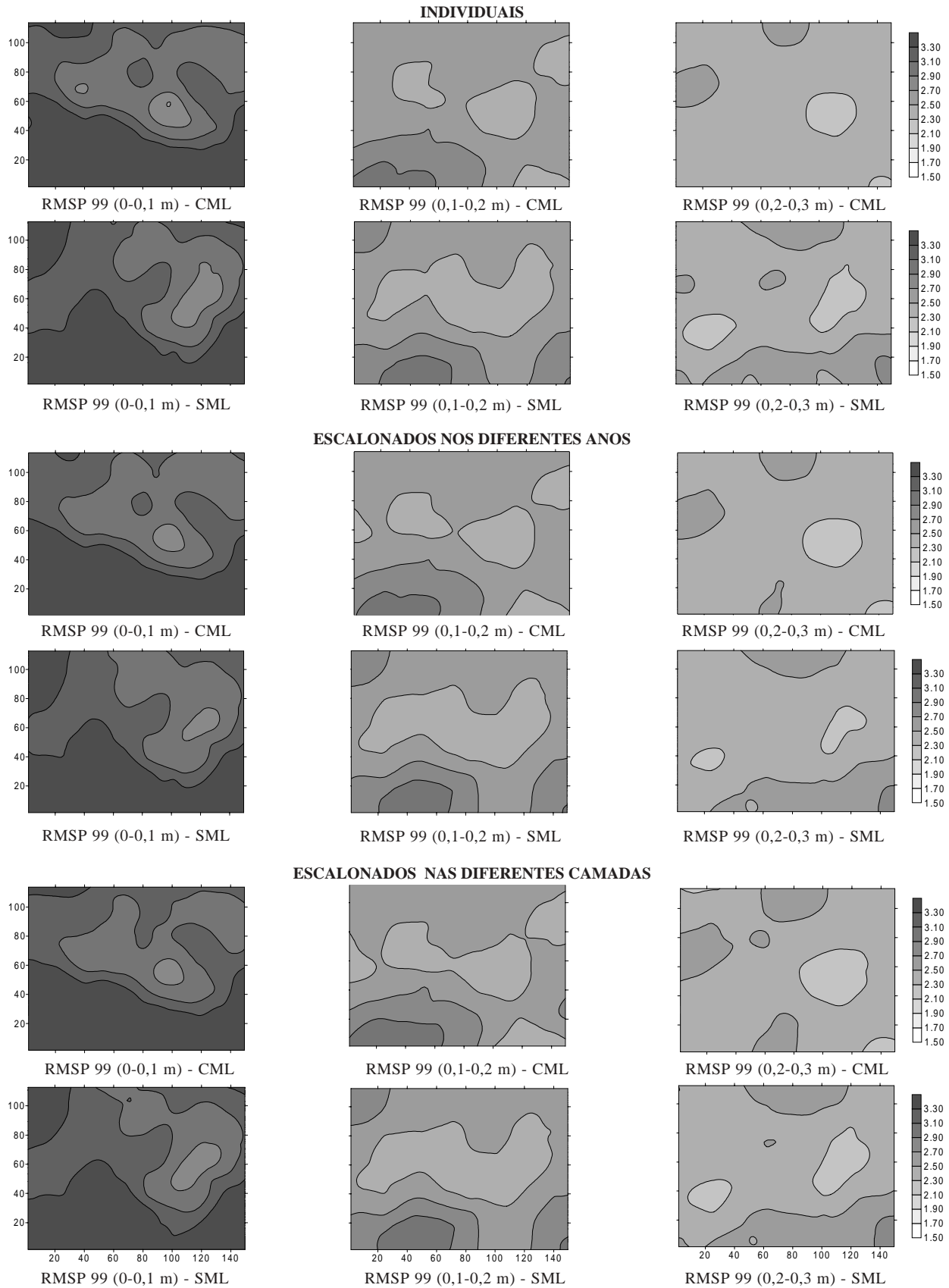


Figura 3. Mapas de contorno da variável RMSP (MPa) do ano de 1999, construídos a partir dos semivariogramas individuais; escalonados nos diferentes anos de amostragem e nas diferentes camadas.

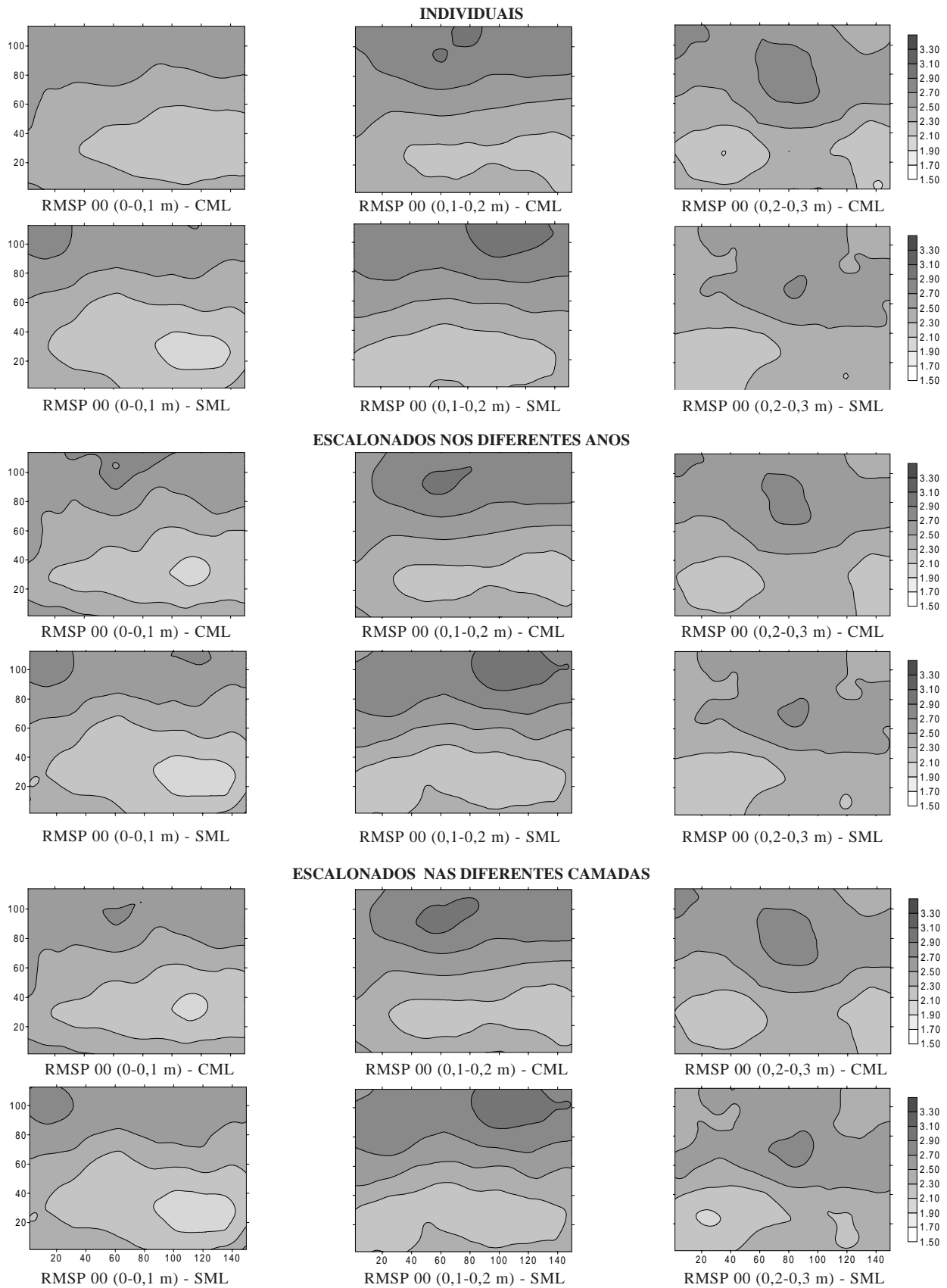


Figura 4. Mapas de contorno da variável RMSP (MPa) do ano de 2000, construídos a partir dos semivariogramas individuais; escalonados nos diferentes anos de amostragem e nas diferentes camadas.

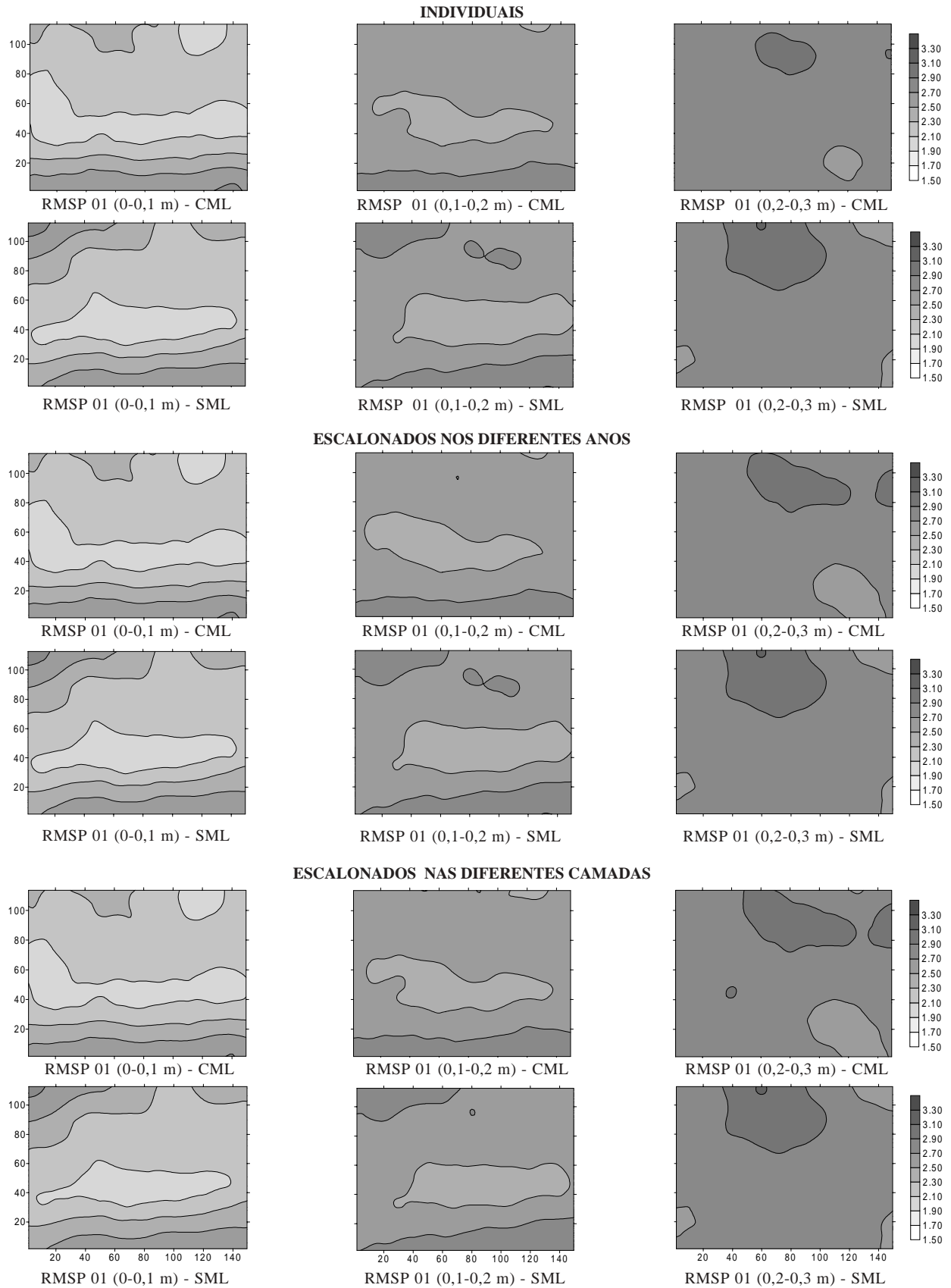


Figura 5. Mapas de contorno da variável RMSP (MPa) do ano de 2001, construídos a partir dos semivariogramas individuais; escalonados nos diferentes anos de amostragem e nas diferentes camadas.

amostragem (1999, 2000 e 2001), percebe-se diferenças no comportamento da variabilidade espacial entre eles.

Analisando a variabilidade temporal da variável RMSP, pode-se perceber, nos mapas de contorno (Figuras de 3 a 5), que o comportamento e a amplitude da variabilidade foram diferentes na área experimental ao longo dos anos (1999, 2000 e 2001), tanto nas parcelas CML quanto nas parcelas SML.

Verificou-se, ainda, que não houve diferença entre os mapas de contorno da variável RMSP gerados a partir dos parâmetros de ajuste dos semivariogramas individuais e os mapas de contorno construídos a partir dos dois métodos de ajustes dos semivariogramas escalonados (anualmente e em diferentes camadas).

CONCLUSÕES

1. A variável resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) apresentou variabilidade espacial com comportamento distinto, conforme a camada e o ano de estudo.

2. A variável RMSP apresentou variabilidade temporal tanto nas parcelas com manejo químico localizado (CML) quanto nas parcelas sem manejo químico localizado (SML).

3. As duas formas de manejo (CML) e (SML) não influenciaram o comportamento espacial da variável RMSP.

4. O escalonamento dos semivariogramas reduziu o tempo computacional de ajuste dos modelos, não apresentando diferenças no comportamento e na amplitude da variabilidade espacial em relação aos semivariogramas não escalonados.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, CNPq e a Fundação Araucária (PR), pelo apoio financeiro concedido. Aos membros do Núcleo de Inovações Tecnológicas (NIT), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), e aos membros da Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda (COODETEC), pela ajuda concedida ao desenvolvimento da pesquisa.

LITERATURA CITADA

- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAM, 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.
- CASCABEL. Prefeitura Municipal. Proposta para recuperação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Cascavel. Cascavel, 1995. 164p.
- CORÁ, J.E. & MARQUES Jr., J. Mecanização e Agricultura de Precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Poços de Caldas, 1998. Simpósio. Lavras, Universidade Federal de Lavras - Atributos do solo para agricultura de precisão, 1998. p.31-70.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- GOLDEM SOFTWARE. Surfer for Windows – User's Guide Release 6.0. USA, 1997. 340p.
- GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo. Campinas, Universidade de Campinas, 1993. 138p. (Tese de Mestrado)
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. & SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. *Eng. Agríc.*, 18:45-54, 1998.
- MANZATTO, C.V.; BHERING, S.B. & SIMÕES, M. Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html>> Acesso em: 18 abr. 2000.
- PANNATIER, Y. Variowin: software for spatial data analysis in 2D. New York, Springer-Verlag, 1996. 96p.
- SOUZA, E.G.; JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; RIBEIRO, S.R.A.; SILVA, M.S.; URIBE-OPAZO, M.A.; MOLIN, J.P.; OLIVEIRA, E.F. & NÓBREGA, L.H.P. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em um Latossolo Roxo distrófico da região de Cascavel-PR. *Eng. Agríc.*, 18:80-92, 1999.
- TORRES, E. & SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23)

