

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREAS DE EMPRÉSTIMO PARA CONSTRUÇÃO DA HIDRELÉTRICA DE ILHA SOLTEIRA (ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL)

Joseane Carina Borges de Carvalho¹, Célia Regina Grego², Sidney Rosa Vieira³ & Carlos Roberto Espindola¹

¹Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Cidade Universitária Zeferino Vaz, Distrito de Barão Geraldo, Campinas, Brasil, CEP 13083-970. Email joseane@ige.unicamp.br, cresp21@hotmail.com. ²Pesquisadora Científica da Embrapa Monitoramento por Satélite/CNPM, Campinas, SP, Brasil, CEP 13070-115. Email crgrego@cnpm.embrapa.br. ³Pesquisador Científico do Instituto Agrônomo/Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, Campinas, SP, Brasil, Caixa Postal 28, CEP 13020-902. Email sidney@iac.sp.gov.br

RESUMO

A retirada de espessas camadas de solo para construção de usinas hidrelétricas provoca grandes modificações ambientais, como a exposição do substrato e compactação do solo devido ao tráfego de máquinas pesadas. A análise da variabilidade espacial dos solos permite detectar estes impactos de modo eficaz e aperfeiçoa o gerenciamento das atividades futuras nestas áreas. O objetivo do trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da estrutura, porosidade e densidade do solo em diferentes condições de uso do solo na área de empréstimo para construção da Hidrelétrica de Ilha Solteira, no Rio Paraná (Centroeste/Sudeste do Brasil). A amostragem dos solos foi efetuada numa grade de 30 pontos de 30 x 40 m em até 0,02 m de profundidade sob os diferentes usos do solo: substrato degradado (SD); substrato com lodo de esgoto e plantado com eucalipto (SDLE); solo com pastagens (SP); capoeira em regeneração (SR) e solo sob cerrado (SC). Avaliou-se a porosidade total do solo ($m^3.m^{-3}$), a densidade do solo ($Mg.m^{-3}$), o diâmetro médio ponderado – DMP (mm) dos agregados determinados por via úmida e os percentuais dos agregados determinados pelo método do simulador de chuva. A análise geoestatística foi efetuada a partir do exame do parâmetro de ajuste do semivariograma, interpolação por krigagem e a construção de mapas de isolinhas. Houve dependência espacial, com alcance variando de 8 a 12 metros, nas condições de uso do solo SD e SR para os agregados, no SR para macroporosidade, porosidade total e densidade do solo, no SP para os agregados, microporosidade e porosidade total, no SC para os agregados e no LE para microporosidade. Foram identificadas manchas de dependência espaciais bem definidas nos mapas dos atributos do solo, que foram caracterizados tanto por valores altos quanto baixos numa mesma área, e, portanto, torna-se inadequado considerar tais áreas como homogêneas para atividades agropecuárias futuras.

Palavras-chave: variabilidade espacial, agregados do solo, geoestatística

INTRODUÇÃO

Dentre as atividades que promovem a retirada de espessas camadas do solo e que, conseqüentemente, provocam maior deterioração do sistema e maiores impactos no meio, estão a construção de aterros, cortes para traçados de estradas e atividades de mineração. Porém, atenção especial será dada às mudanças dos atributos físicos do solo decorrentes da mobilização de grandes volumes de terra necessários à construção da barragem de usinas hidrelétricas. Tal atividade promove a retirada de espessas camadas de solos do entorno da área.

A Hidrelétrica de Ilha Solteira, no noroeste paulista, demandou a escavação de mais de oito metros nas terras da margem esquerda do Rio Paraná (município de Selvíria – MS), deixando um substrato compactado, empobrecido e com uma vegetação rarefeita de porte baixo; áreas vizinhas também sujeitas ao tráfego de máquinas pesadas foram transformadas em pastagens, ou deixadas a regenerar (capoeira); uma pequena porção da área ficou intacta, mantida sua vegetação natural de cerrado.

No sentido de se avaliar os efeitos de tais atividades nos atributos do solo, os trabalhos geralmente acabam por considerar apenas valores médios, que são tidos como representantes fiéis de toda a área experimental amostrada, não se considerando as informações acerca das distâncias entre as amostras. Portanto, com intuito de se detectar as variações das propriedades dos solos espacialmente, técnicas estão sendo desenvolvidas e implementadas, visto ser grande a degradação ao qual vem sendo submetido esse recurso natural.

O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (Grego & Vieira, 2005). Desse modo, a geoestatística, pela análise de semivariogramas, tem sido a técnica mais utilizada para a caracterização da variabilidade espacial (Isaaks & Srivastava, 1989; Engball et al., 1999 apud Carvalho et al., 2002).

Todas as amostras retiradas de algum ponto no espaço ou no tempo devem ser consideradas como parte de uma função contínua e são pontos discretos desta função. Por isso, pode se dizer que todas as amostras são, de algum modo, relacionadas com seus vizinhos, mesmo que não se conheça exata e matematicamente qual é a expressão para este relacionamento. Nessa condição, pode-se dizer que amostras separadas por pequenas distâncias são mais parecidas umas com as outras do que amostras separadas por grandes distâncias. É óbvio que isto é totalmente dependente da intensidade de amostragem em relação à escala de trabalho. Geoestatística é a maneira mais correta e contém as ferramentas ideais para analisar dados com dependência espacial, ou seja, cujos vizinhos próximos são mais semelhantes entre si do que aqueles separados por

distâncias maiores (Vieira et al., 2008. p. 837).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial da estrutura (agregados do solo), porosidade (macro e micro) e densidade do solo em diferentes condições de uso do solo na área de empréstimo para construção da Hidrelétrica de Ilha Solteira (SP).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na fazenda experimental da Universidade Estadual Paulista – UNESP, situada em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul - Brasil (51°22' Longitude Oeste e 20°22' Latitude Sul - Figura 1), a 355 metros de altitude, com um relevo praticamente plano e de domínio de Latossolos: franco arenoso na gleba sob cerrado e franco argilo-arenoso nos demais: pastagem, capoeira e substrato degradado. Os usos do solo estudados foram o substrato degradado sem intervenção (SD); substrato com lodo de esgoto e plantado com eucalipto (SDLE); solo com pastagem (SP); capoeira em regeneração (SR) e solo sob cerrado (SC).

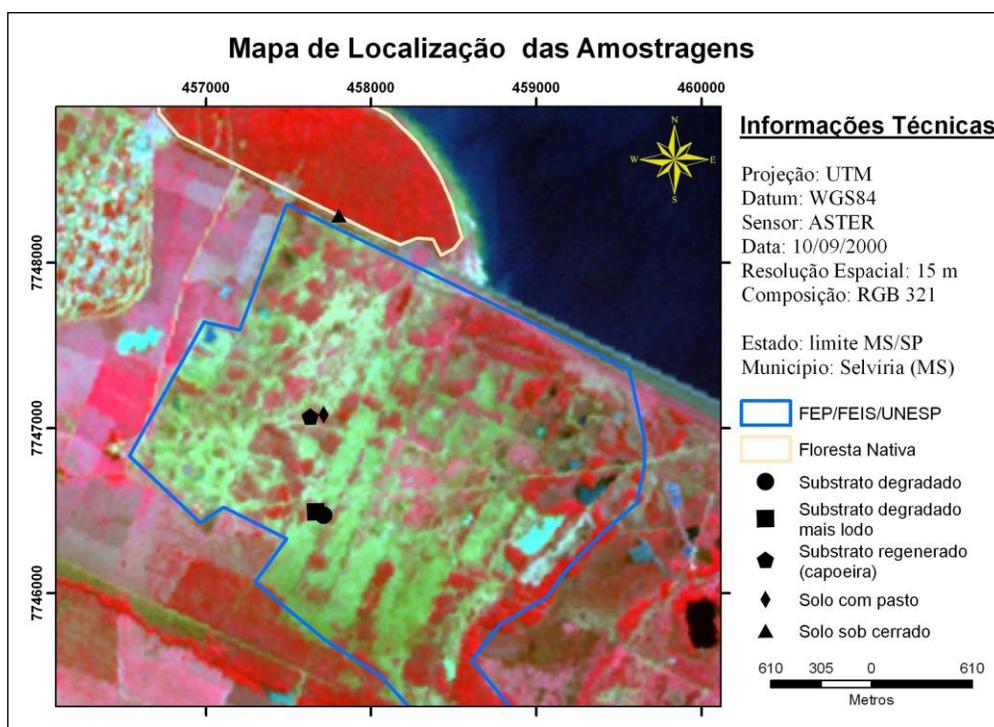


Figura 1. Amostragens efetuadas nos usos do solo

As coletas para a análise dos agregados (0-20 cm), porosidade e densidade do solo (0-5 cm) foram efetuadas na forma de grade de 30 x 40 metros em 30 pontos por uso. O método utilizado para a análise da estabilidade dos agregados foi baseado em Kemper e Chepil (1965), em que os mesmos são imersos em água e agitados em um jogo de peneiras. E com intuito de avaliar os agregados numa condição que fosse a

mais parecida com aquela encontrada no campo, efetuou-se, também, sua análise por meio de um simulador de chuva, no caso, o idealizado por Roth et al. (1985). Os métodos de análise dos atributos físicos do solo mencionados encontram-se detalhadamente descritos em Carvalho (2006).

Análises estatísticas: Estatística descritiva e Geoestatística

Inicialmente, os dados foram analisados usando cálculos da estatística descritiva, segundo Vieira et al. (2002), obtendo-se média, variância, coeficiente de variação, assimetria e curtose, para análise exploratória dos dados utilizando o programa STAT (Vieira et al., 2002). Quando os dados apresentaram distribuição normal, os valores dos coeficientes de assimetria e curtose se aproximaram de zero (0).

Para verificar a dependência espacial das variáveis, foi empregada a análise geoestatística, Vieira (2000) e Vieira et al. (2008). Foram construídos semivariogramas, partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca e do cálculo da semivariância $\gamma(h)$ estimada na equação 1:

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

Assim, tem-se que $N(h)$ é o número de pares dos valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h . É esperado, segundo Vieira (2000), que medições localizadas próximas sejam mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias, isto é, que aumente $\gamma(h)$ com a distância h até um valor máximo, no qual se estabiliza em um patamar correspondente à distância limite de dependência espacial, que é o alcance. Medições localizadas a distâncias maiores que o alcance terão distribuição aleatória, razão por que serão independentes entre si.

Os semivariogramas que apresentaram dependência espacial foram ajustados com o modelo matemático. As variáveis do solo, em sua maioria, apresentaram ajuste esférico segundo a equação 2 e algumas foram ajustadas pelo modelo gaussiano (equação 3):

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right]^2 \tag{2}$$

$$\gamma(h) = C \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \tag{3}$$

Onde foram definidos os parâmetros do semivariograma: C_0 = efeito pepita que é o valor de $\gamma(h)$ quando $h=0$, a = alcance, que é a distância em que $\gamma(h)$ permanece aproximadamente constante após aumentar com o aumento de h , $C_0 + C_1$ = patamar que é o valor de $\gamma(h)$ a partir do alcance e que se aproxima da variância dos dados e C_1 = variância estrutural, ou seja, a diferença entre o patamar e o efeito pepita.

Foi calculado a razão de dependência espacial (RD), que é a proporção em porcentagem do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C_1$), equação 4, e que de acordo com Zimback (2001), apresenta a seguinte proporção: a) dependência forte < 75%; b) dependência moderada de 26% a 75%; e c) dependência fraca > 25%.

$$RD = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Os parâmetros de ajuste dos semivariogramas (C_0 , C_1 , a e RD) foram obtidos para as variáveis do solo que apresentaram dependência espacial. Nesses casos os valores vizinhos serão tão semelhantes que haverá possibilidade de estimar valores para qualquer local onde a variável não foi medida usando-se a krigagem, segundo Vieira et al. (2002), que estima valores com as condições de estimativa sem tendenciosidade e com desvios mínimos em relação aos valores conhecidos, ou seja, com variância mínima (Equação 5):

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x_0), \quad i=1..N \quad \sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \quad (5)$$

Onde $\gamma(x_i, x_j)$ é a semivariância estimada usando o modelo ajustado ao semivariograma, correspondente à distância entre os pontos localizados na posição x_i e x_j , e $\gamma(x_i, x_0)$ é a semivariância correspondente à distância entre os pontos localizados na posição x_i e x_0 . Valores de peso λ e um valor do multiplicador de Lagrange, μ , associado com a minimização da variância, são gerados e com os valores de λ_i pode-se estimar valores (Z) no espaço amostrado para qualquer posição x_0 . Com os valores estimados (Equação 6), foram construídos mapas de isolinhas, em função da coordenada geográfica no programa SURFER 7.0 (1999).

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De um modo geral, verificou-se (Tabela 1) que os Diâmetros Médios Ponderados revelaram-se diretamente proporcionais ao grau de degradação ao qual foi submetido cada tratamento, com a seguinte ordem crescente de valores: solo sob cerrado (4,70 mm); solo com pastagem (1,97mm), solo regenerado com capoeira (1,50 mm), substrato degradado mais lodo cultivado com eucalipto (1,08 mm) e substrato degradado (0,83 mm). Observa-se que o solo sob cerrado foi o que apresentou a média mais elevada de DMP.

Tabela 1. Valores médios, variância, coeficiente de variação (C.V.), assimetria e curtose para os atributos físicos do solo Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e agregados estáveis sob chuva simulada.

Usos do solo	Média	Variância	C.V.	Assimetria	Curtose
DMP dos agregados (mm)					
SD	0,83	0,23	57,78	1,20	0,95
SDLE	1,08	0,25	46,90	1,93	3,45
SR	1,50	0,17	27,76	-0,02	1,25
SP	1,97	0,14	18,96	0,48	0,78
SC	4,70	2,36	32,72	-0,48	-1,46
Agregados estáveis sob chuva simulada na classe 9,52-4,00 mm (%)					
SD	39,00	518,3	58,38	0,34	-0,44
SDLE	44,38	773,3	62,65	-0,14	-1,44
SR	15,25	142,4	78,24	1,16	1,20
SP	15,91	125,7	70,48	0,30	-0,70
SC	18,44	158,6	68,29	2,27	7,81

SD - Substrato degradado; SDLE – Substrato degradado+lodo+eucalipto; SRC – Substrato regenerado com Capoeira; SP - Solo com pastagem; SC - Solo sob cerrado.

Diante dos resultados apresentados, observou-se que os solos que sofreram retiradas de suas camadas (substrato degradado, substrato degradado+lodo+eucalipto e substrato regenerado com capoeira) são constituídos por um grupo diferenciado de agregados, quando comparados aos demais tratamentos, cujos solos não sofreram degradação. As classes de tamanho dos agregados mostram essas diferenças, ainda que, por vezes, com valores ligeiramente distintos. Os agregados dos uso do solo cerrado e pastagem possuem as condições mais adequadas para o desenvolvimento da vegetação, pela sua maior capacidade de conservar a estrutura quando submetido à ação hídrica. Conforme Kiehl (1979), no geral, a baixa estabilidade está ligada ao índice de DMP menor que 0,5 mm, acima do qual o índice de agregação é tido como resistente ao esboroamento e à dispersão.

Houve no tratamento substrato degradado acrescido de lodo e cultivado com eucalipto uma pequena

melhora percentual de seus agregados quando comparado ao do substrato degradado sem qualquer melhoramento. É sabido, conforme analisado por Galdos et al. (2004) e Barbosa (2002), que o incremento de lodo acarreta um significativo aumento no percentual de matéria orgânica e que, conseqüentemente, promove a formação de agregados maiores.

Verifica-se que a maioria das variáveis apresentaram assimetria e curtose compatíveis com a distribuição normal (valores próximos de 0), com exceção do DMP no uso SDLE e da porcentagem de agregados no uso SC. Os coeficientes de variação apresentaram-se de médios a altos (> 20%) para as variáveis relacionadas aos agregados do solo (Tabela 1).

Tabela 2. Valores médios, variância, coeficiente de variação (cv), assimetria e curtose para os atributos físicos do solo porosidade (macro e micro) e densidade solo.

Usos do solo	Média	Variância	C.V.	Assimetria	Curtose
Macroporosidade (m³.m⁻³)					
SD	0,12	0,0015	32,80	0,51	-0,39
SDLE	0,23	0,0013	15,63	0,40	0,48
SR	0,17	0,0013	21,29	-0,09	-0,42
SP	0,19	0,0010	16,42	0,14	-0,71
SC	0,36	0,0041	17,53	0,95	4,65
Microporosidade (m³.m⁻³)					
SD	0,24	0,0003	7,66	0,39	0,10
SDLE	0,24	0,0014	15,17	0,29	0,24
SR	0,27	0,0004	7,08	0,04	-0,77
SP	0,25	0,0005	9,07	0,71	0,78
SC	0,17	0,0006	13,79	0,94	1,16
Porosidade total (m³.m⁻³)					
SD	0,36	0,0015	10,79	-0,10	-1,38
SDLE	0,48	0,0022	9,76	0,66	1,22
SR	0,44	0,0008	6,33	-0,15	-0,82
SP	0,44	0,0009	6,98	0,39	0,97
SC	0,53	0,0033	10,82	1,60	5,36
Densidade (Mg.m⁻³)					
SD	1,92	0,0119	5,69	-0,35	-0,34
SDLE	1,61	0,0151	7,63	0,06	-0,68
SR	1,66	0,0076	5,27	-0,15	-0,53
SP	1,68	0,0056	4,46	-0,15	-0,15
SC	1,19	0,0096	8,24	-0,16	-0,50

SD - Substrato degradado; SDLE - Substrato degradado+lodo+eucalipto; SRC - Substrato regenerado com Capoeira; SP - Solo com pastagem; SC - Solo sob cerrado.

Os atributos físicos do solo porosidade e densidade possibilitam inferir sobre as relações ar-água, o estado de compactação do solo e as perspectivas de expansão radicular, de grande utilidade para planos de manejo. Como demonstra a Tabela 2, a macroporosidade mais elevada foi encontrada na vegetação nativa (cerrado), seguindo-se a área cujo substrato degradado foi cultivado com eucalipto e no qual se aplicou

lodo de esgoto, indicando um restabelecimento pelo menos incipiente das condições estruturais devido à adição de material orgânico, a despeito do curto período desta prática (um ano). Jorge et al. (1991) também observaram aumento na macroporosidade de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso com emprego de 40 ou 80 t.ha⁻¹ de lodo de esgoto, numa única aplicação.

Os solos com pastagem e com capoeira ainda refletem os efeitos da compactação do solo degradado, com valores de macroporosidade de 0,19 e 0,17 m³.m⁻³ respectivamente; embora a vegetação de gramíneas favoreça a porosidade, de acordo com Boni et al.(1995), o pisoteio do gado é um fator que também contribui para a compactação (Courtney & Trudgill, 1984). O tratamento com substrato degradado, por seu alto grau de adensamento, apresentou o menor valor de macroporosidade (0,12 m³.m⁻³), de modo semelhante ao obtido por Alves (2001) nessa mesma área (0,10 m³.m⁻³).

A microporosidade mostrou valores variando de 0,24 a 0,27 m³.m⁻³. Não se encontrou, assim, a esperada diminuição da microporosidade com a magnitude dos esforços praticados em superfície (incorporação de lodo de esgoto), mesmo no solo com vegetação de cerrado, de textura um tanto mais grosseira e com maior aporte de material orgânico.

Para a porosidade total, o solo sob cerrado, com cobertura vegetal mais densa, apresentou o maior valor para esse parâmetro: 0,53 m³.m⁻³, a despeito de sua granulometria um pouco mais grosseira (Carvalho, 2006). Pode ocorrer que certa quantidade mais elevada de areia possa ter resultado também num arrançamento mais espaçado das partículas, dando origem a agregados mais porosos.

Devido ao fato de a densidade ser inversamente proporcional à porosidade, a área com substrato degradado foi a que apresentou o maior valor para densidade dentre os tratamentos (1,92 Mg.m⁻³), em razão da retirada de espessa camada de solo seguida de compactação. No substrato degradado cultivado com eucalipto e em que se aplicou lodo, ocorreu diminuição de sua densidade (1,61 Mg.m⁻³) e, conseqüentemente, aumento da macroporosidade, de modo semelhante ao observado por Colodro (2005); no entanto, como bem ponderou esse pesquisador, há que se considerar que tal redução pode ter-se dado também em decorrência do efeito mecânico do preparo do solo com a enxada rotativa, somada à ação do resíduo.

Em um Latossolo Vermelho com aplicação de lodo de esgoto, Jorge et al. (1991) também obtiveram diminuição da densidade, explicada pela influência do material orgânico, que promoveu agregação, aumentando o volume e diminuindo a densidade. É possível que a continuidade de aplicação de lodo venha a promover mais diminuição da densidade ao longo do tempo (Colodro, 2005). Na mesma área degradada do presente estudo, Grego (1996) observou melhoria nos valores de densidade com o plantio de leguminosas, o que contribuiu para trazer o valor de 1,91 Mg.m⁻³ para 1,60 Mg.m⁻³.

Os coeficientes de variação dos usos do solo para a porosidade total e a densidade do solo apresentaram os menores valores, considerados de médio a baixo (<20%), segundo a classificação adotada por Carvalho et

al. (2002).

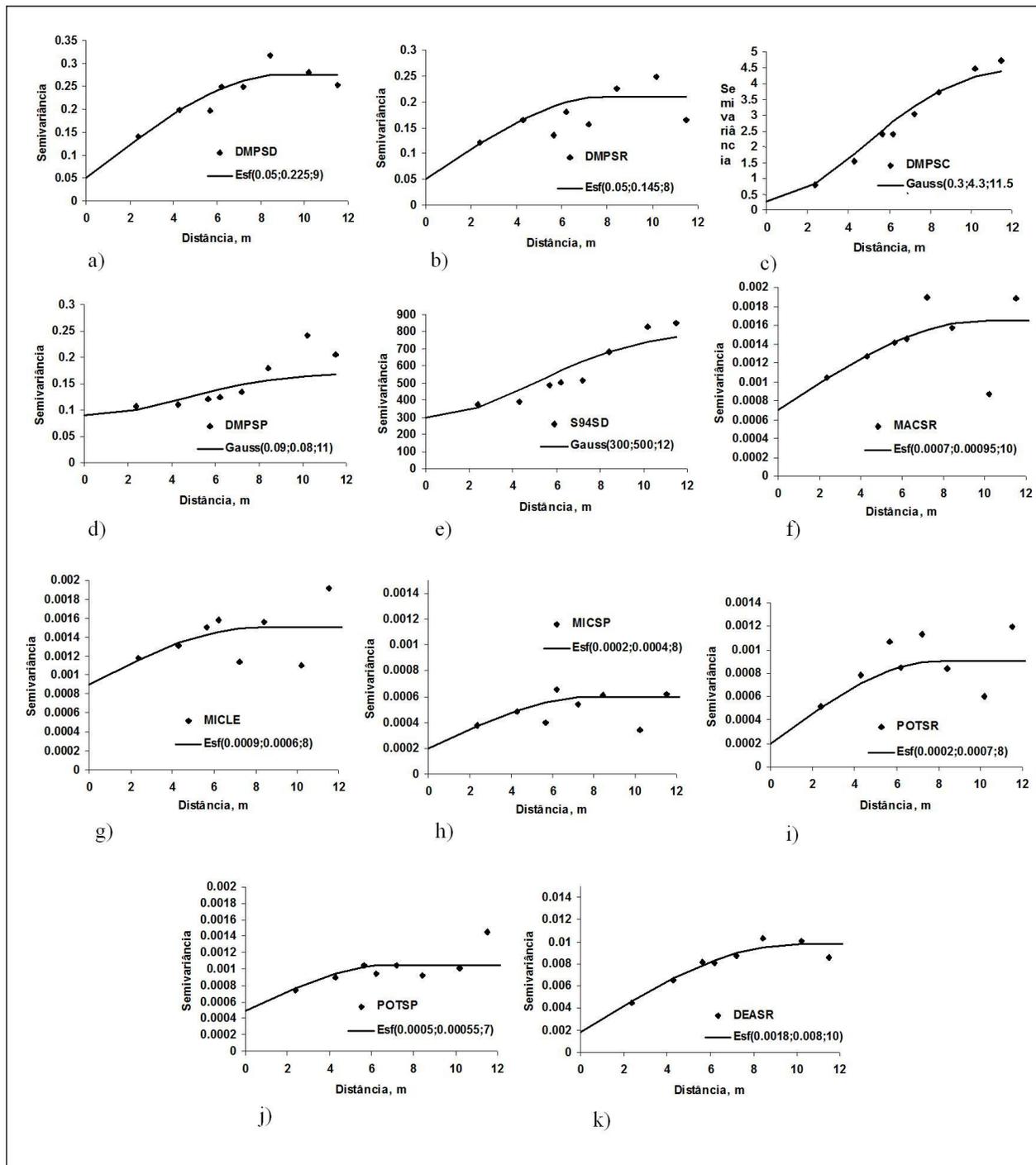


Figura 2. Semivariogramas com os parâmetros de ajuste esférico (Esf (C0; C1 ; a)) para os atributos físicos do solo: a) DMP - SD; b) DMP - SR; c) DMP - SC; d) DMP - SP; e) agregados sob chuva simulada na classe 9,52-4,00 mm; f) macroporidade - SR; g) microporosidade - SDLE; h) microporosidade - SP; i) porosidade total - SR; j) porosidade total - SP e k) densidade SR.

De acordo com a análise geostatística, foram construídos e ajustados os semivariogramas para as variáveis que apresentaram dependência espacial (Figura 2). Os demais atributos que não foram ajustados apresentaram efeito pepita puro, ou seja, não ocorreu dependência espacial. Houve dependência espacial, com alcance variando de 8 a 12 metros. Foram dependentes espacialmente os agregados do solo (DMP) nas condições de uso SD, SR, SC e SP, com exceção do uso SDLE, o que pode ser resultado da forma de distribuição de lodo na área que, a curtas distâncias, condicionaram valores discrepantes, prejudicando a identificação de dependência espacial. No uso SD também houve dependência espacial para o percentual dos agregados analisados pelo simulador de chuva, o que pode denotar uma variabilidade espacial decorrente do próprio solo em seus horizontes remanescentes da retirada de camadas superficiais para construção da usina.

Também houve dependência espacial para a macroporosidade no uso SR, microporosidade nos usos SDLE e SP, porosidade total em SR e SP e densidade do solo no uso SR. Verifica-se que o uso solo regenerado, onde o solo foi retirado em camadas menos profundas do que no SD, apresentou dependência espacial para a maioria dos atributos físicos do solo analisados, isto pode indicar que mesmo retirando solo em menor profundidade, existe variabilidade espacial decorrente das diferenças intrínsecas aos horizontes mais superficiais. Grego & Vieira (2005) também encontraram dependência espacial em pequenas parcelas para atributos físicos do solo densidade e porosidade do solo.

A Figura 3 mostra os mapas das variáveis com valores estimados por krigagem agrupados em classes, após a análise de dependência espacial e obtenção dos parâmetros do semivariograma. Foram identificadas manchas de dependência espaciais bem definidas nos mapas dos atributos do solo que foram caracterizados tanto por valores altos quanto baixos numa mesma área.

Algumas correlações entre os atributos do solo nos mesmos usos, ou seja, na mesma área amostrada, foram observadas nos mapas. No uso substrato degradado, observou-se maiores valores de DMP e percentuais dos agregados pelo simulador de chuva, na parte inferior da parcela. No solo regenerado, a macroporosidade, porosidade total e densidade do solo (Figuras 3f; 3i e 3k) foram bem correlacionadas, ou seja, onde houve maior macroporosidade e porosidade total, obtiveram-se menores valores de densidade do solo. Entretanto, o DMP no solo regenerado não se correlacionou com estes atributos.

No solo sob pastagem foram observadas semelhanças para os atributos porosidade total e DMP (Figuras 3j e 3d), cuja parte superior da parcela apresentou maiores valores destes atributos. Para a microporosidade, apesar de ter ocorrido estrutura de dependência espacial, não houve semelhança de comportamento com os demais atributos do solo nos mesmos usos.

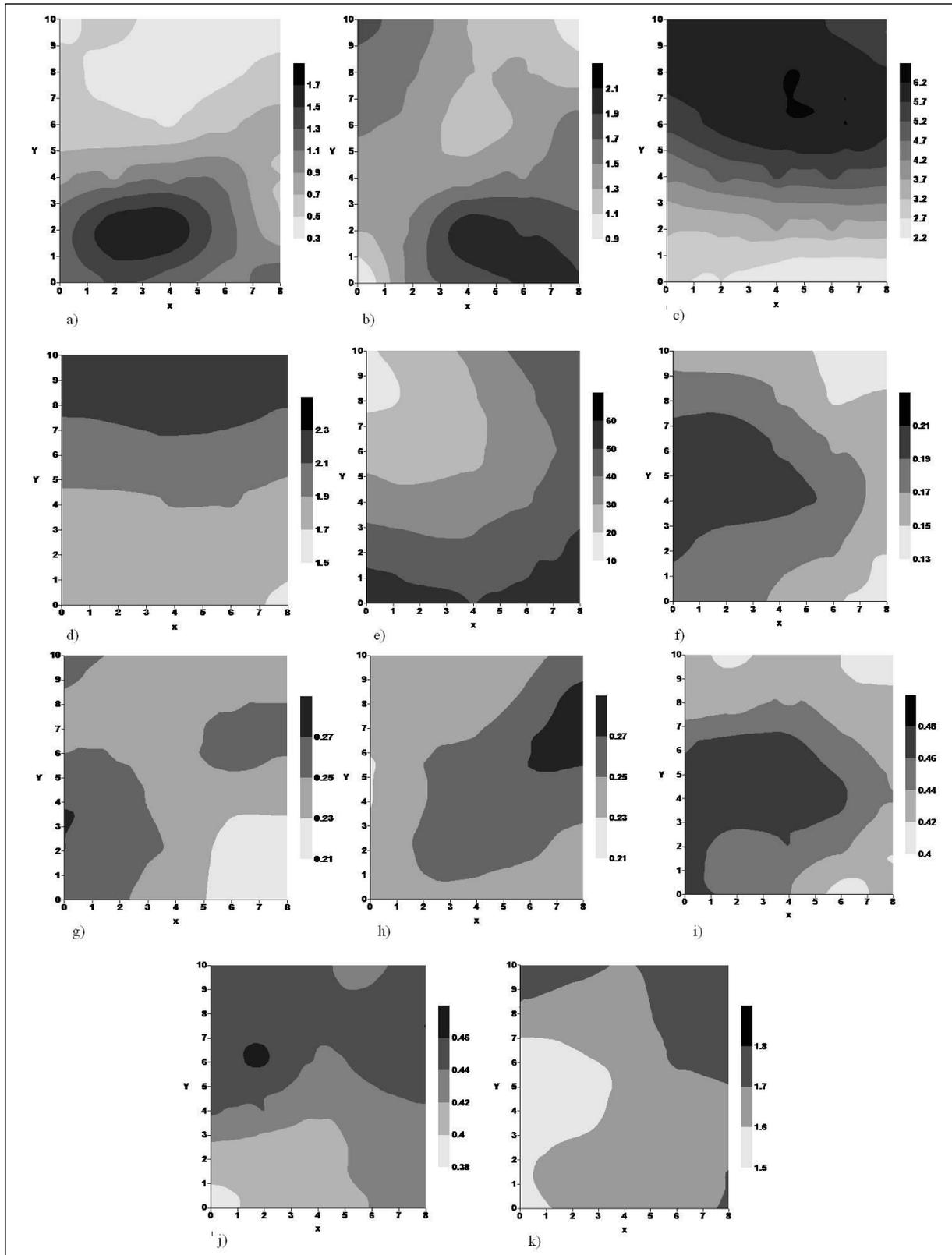


Figura 3. Mapas de isolinhas obtidos após espacialização por krigagem ordinária dos atributos físicos do solo: a) DMP - SD; b) DMP – SR; c) DMP – SC; d) DMP – SP; e) agregados sob chuva simulada na classe 9,52-4,00 mm; f) macroporosidade – SR; g) microporosidade – SDLE; h) microporosidade – SP; i) porosidade total – SR; j) porosidade total – SP e k) densidade – SR.

As manchas visualizadas nos mapas, decorrentes da estrutura de dependência espacial analisada, denotam diferenças de potencial físico do solo para desenvolvimento das plantas, principalmente nos usos que apresentaram correlação dos atributos do solo: o substrato degradado, substrato regenerado e solo sob pastagem. Diante destes resultados, pode-se constatar que a variabilidade espacial foi encontrada principalmente em áreas que sofreram algum impacto e, portanto, nestas áreas deve-se tomar um cuidado maior ao considerá-las homogêneas.

CONCLUSÕES

A remoção de parte do perfil de solo produziu um ambiente cuja variabilidade espacial depende da distância de separação entre amostras.

As diferenças intrínsecas aos horizontes mais superficiais e subsuperficiais do solo propiciaram dependência espacial na estrutura, porosidade e densidade do solo nos usos degradado e regenerado, devido provavelmente a retirada de solo em diferentes profundidades para construção da usina. Tal fato é melhor constatado a partir dos resultados alcançados pelos tratamentos que não tiveram seus horizontes do solo retirados.

Foram identificadas manchas de dependência espacial bem definidas nos mapas dos atributos do solo, o que denota diferenças de potencial físico do solo para desenvolvimento das plantas e, portanto, torna-se inadequado considerar tais áreas como homogêneas para atividades agropecuárias futuras.

LITERATURA CITADA

ALVES, M.C. Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP. 2001: Tese de Livre Docência, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, UNESP, Iha Solteira (SP) - Brasil.

BARBOSA, G. M. de Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. Revista Técnica da Sanepar - Sanare, v. 17, p. 94-101, 2002.

BONI, N.R.; C.R ESPINDOLA e E.C. GUIMARÃES. 1995. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo em função do uso agrícola. Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Porto Alegre, (RS) - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 140.

CARVALHO, J.C.B. Condição dos agregados e da constituição microbiológica de solos submetidos a diferentes usos e manejos agrícolas em Selvíria (MS): Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas (SP) – Brasil.

CARVALHO, J.R.P., P.M. SILVEIRA e S.R. VIEIRA. 2002. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:1151-1159.

COLODRO, G. Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto: Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, Brasil, 2005. 82 p.

COURTNEY, F.M. e S.T. TRUDGILL. 1984. *The soil: An introduction to soil study*. Edward Arnold, London, England, 1-123.

GALDOS, M.V., DE MARIA, I.C. & CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho Eutroférico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, p. 569-557, 2004.

GREGO, C.R. Recuperação de um Latossolo Vermelho-Escuro de uma área degradada usada para construção da barragem de Ilha Solteira-SP. Monografia de Conclusão do curso de Agronomia, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, UNESP, Ilha Solteira, Brasil, 1996.60 p.

GREGO, C.R. e S.R. VIEIRA. 2005. Variabilidade espacial de propriedades físicas de solo em uma parcela experimental. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:169-177.

JORGE, J.A., O.A., CAMARGO e J.M.A.S. VALADARES. 1991. Condições físicas de um latossolo vermelho-escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, p. 237-240.

KEMPER, W.D. and W.S. CHEPIL. Size distribution of aggregates. p. 499-510. *In* BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E. (Eds.). *Methods of soil analysis – physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. (Agronomy Series, 9). Madison: American Society of Agronomy, 1965.

KIEHL, E.J. Manual de Edafologia – Relações solo-planta. 1979. São Paulo: Ceres, 262 p.

ROTH, C. H. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. 1985. Catena: Amsterdam, v.12, p.79-85.

SURFER. Surfer 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's Guide. 1999. New York, Golden software, Inc, p. 619.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. p. 1-54. *In* NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (Eds.) Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, v.1, 2000.

VIEIRA, S.R., MILLETE, J., TOPP, G.C., REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. p. 1-45. *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., Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa –Brasil, 2002.

VIEIRA, S.R., M.A. XAVIER e C.R. GREGO. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. p.839-852. *In* DINARDO-MIRANDA, L.L., A.C.M. VASCONCELLOS e M.G.A. LANDELL (Eds). Cana de açúcar. 1 ed. Ribeirão Preto: Instituto Agrônômico, v.1, 2008.

ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. Tese de Livre Docência, Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, UNESP, Botucatu - Brasil.