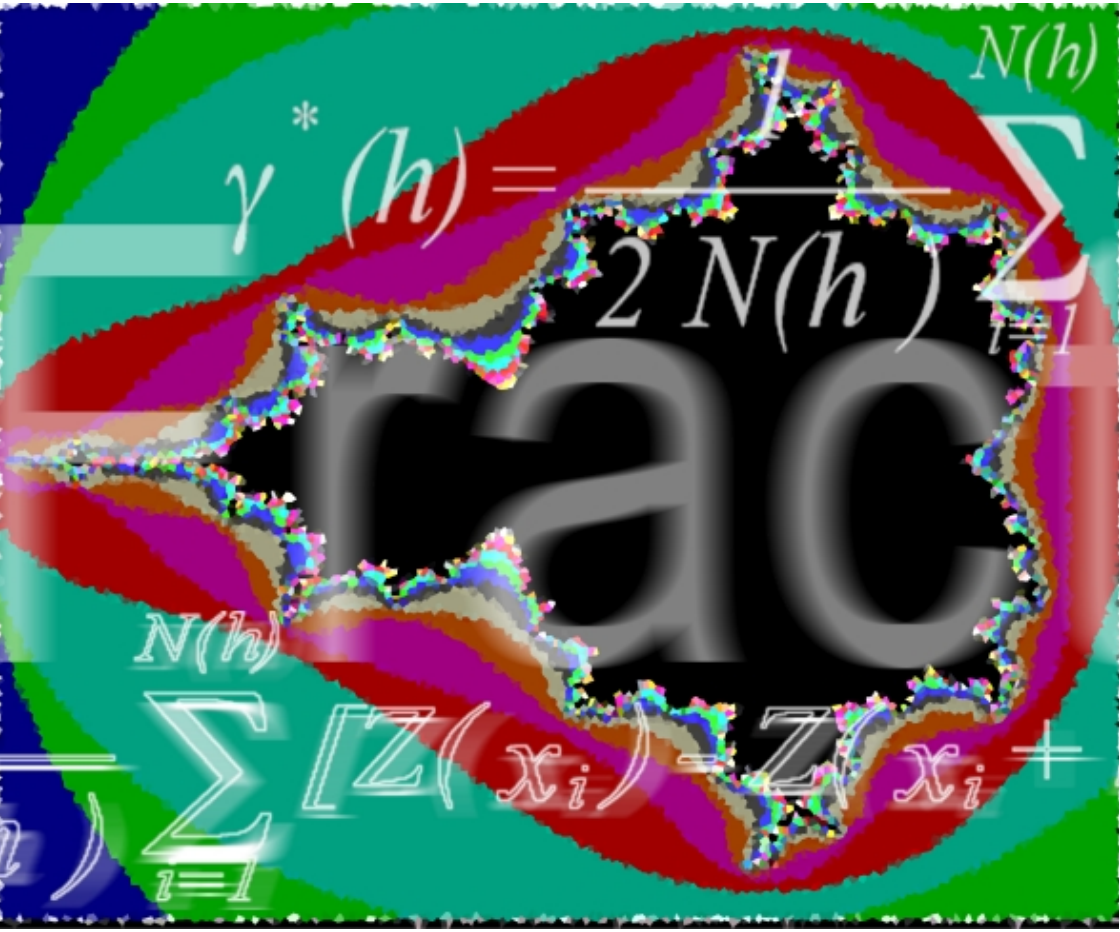
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 2

Agosto, 2002

ISSN 1677-9266

Uso da Geometria Fractal na Avaliação da Variabilidade Espacial de Parâmetros de Agregação do Solo em São Paulo - Brasil



Embrapa

República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Marcus Vinicius Pratini de Moraes
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Conselho de Administração

Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast
José Honório Accarini
Sérgio Fausto
Urbano Campos Ribeiral
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Bonifácio Hideyuki Nakasu
Dante Daniel Giacomelli Scolari
José Roberto Rodrigues Peres
Diretores-Executivos

Embrapa Informática Agropecuária

José Gilberto Jardine
Chefe-Geral

Tércia Zavaglia Torres
Chefe-Adjunto de Administração

Kleber Xavier Sampaio de Souza
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Álvaro Seixas Neto
Supervisor da Área de Comunicação e Negócios

ISSN 1677-9266
Agosto, 2002

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 2

Uso da Geometria Fractal na Avaliação da Variabilidade Espacial de Parâmetros de Agregação do Solo em São Paulo - Brasil

José Ruy Porto de Carvalho
Sonia Carmela Dechen
Guido Dufranc

Campinas, SP
2002

Embrapa Informática Agropecuária
Área de Comunicação e Negócios (ACN)
Av. André Tosello, 209
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" – Barão Geraldo
Caixa Postal 6041
13083-970 – Campinas, SP
Telefone (19) 3789-5743 - Fax (19) 3289-9594
URL: http://www.cnptia.embrapa.br
e-mail: sac@cnptia.embrapa.br

Comitê de Publicações

Amarindo Fausto Soares
Ivanilde Dispato
José Ruy Porto de Carvalho (Presidente)
Luciana Alvim Santos Romani
Marcia Izabel Fugisawa Souza
Suzilei Almeida Carneiro

Suplentes
Adriana Delfino dos Santos
Fábio Cesar da Silva
João Francisco Gonçalves Antunes
Maria Angélica de Andrade Leite
Moacir Pedroso Júnior

Supervisor editorial**:** *Ivanilde Dispato*
Normalização bibliográfica: *Marcia Izabel Fugisawa Souza*
Capa: *Intermídia Produções Gráficas*
Editoração eletrônica: *Intermídia Produções Gráficas*

1ª. edição
on-line - 2002

Todos os direitos reservados

Carvalho, José Ruy Porto de.
Uso da geometria fractal na avaliação da variabilidade espacial de parâmetros de agregação do solo em São Paulo – Brasil / José Ruy Porto de Carvalho, Sonia Carmela Dechen, Guido Dufranc. — Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2002.
19 p. : il. — (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Informática Agropecuária ; 2)

ISSN 1677-9266

1. Geoestatística. 2. Variabilidade espacial. 3. Dimensão fractal. I. Dechen, Sonia Carmela. II. Dufranc, G. III. Título. IV. Série.

CDD – 21st ed.
551.015195
551.021
551.0727

© Embrapa 2002

Sumário

Resumo 5

Abstract 7

Introdução 9

Material e Métodos 10

Resultados e Discussão 13

Conclusões 17

Referências Bibliográficas 18

Uso da Geometria Fractal na Avaliação da Variabilidade Espacial de Parâmetros de Agregação do Solo em São Paulo - Brasil

José Ruy Porto de Carvalho [1]
Sonia Carmela Dechen [2]
Guido Dufranc [3]

Resumo

A geometria de fractais tem sido proposta recentemente como um modelo para a distribuição de tamanho de partículas. Neste trabalho, a distribuição do tamanho de agregados de solo secos expressos em termos de sua massa foi estimada. Os parâmetros do modelo representados pela dimensão fractal D, a qual é uma medida da fragmentação do solo (maior seu valor, maior a fragmentação), e o tamanho do maior agregado R_L foram definidos como ferramentas descritivas para a agregação do solo. Os agregados foram coletados em uma profundidade de 0-10 cm de um Latossolo Vermelho Distrófico típico, álico, textura argilosa em Angatuba, São Paulo. Uma grade regular de 50 m x 50 m foi usada, uma amostragem coletada em 76 pontos e uma distribuição de agregados obtida. Os valores de D e R_L foram estimados e modelos gaussiano para R_L e esférico

[1] Ph.D. em Estatística, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo – 13083-970 – Campinas, SP, Brasil.
Telefone (19) 3789-5797 - e-mail: jruy@cnptia.embrapa.br

[2] Ph.D. em Conservação do Solo, Pesquisadora do Instituto Agronômico de Campinas, Caixa Postal 28 – 13001-970 – Campinas, SP, Brasil.
Telefone (19) 3241-5188 – e-mail: dechen@iac.br

[3] M.Sc. em Conservação do Solo, Pesquisador do Instituto Agronômico de Campinas, Caixa Postal 28 – 13001-970 – Campinas, SP, Brasil.
Telefone (19) 3241-5188 – e-mail: dufranc@iac.br

para D foram ajustados. Através do exame dos semivariogramas, a dependência espacial foi encontrada. Krigagem ordinária foi usada como interpolador e mapas de isolinhas construídos mostrando ser uma ferramenta útil em descrever a variabilidade espacial de agregação do solo.

Termos para indexação: Dimensão fractal, geoestatística, distribuição do tamanho de partículas.

Use of the Fractal Geometry in the Evaluation of the Spatial Variability of Soil Aggregation Parameters in São Paulo - Brazil

Abstract

Fractal geometry has recently become a model for soil size particle distribution. In this work, the distribution of dry soil aggregates in terms of its mass was obtained and the parameters model such as the dimension fractal D which is a measure of the fragmentation of the soil (larger its value, larger the fragmentation) and the largest aggregate size R_L were defined as descriptive tools for the soil aggregation. The aggregates were collected in a depth of 0-10 cm of a Clayey Ferrasol in Angatuba, São Paulo. A regular grid of 50 m x 50 m was used, a sampling collected in 76 points and the distribution of aggregates obtained. The values of D and R_L were obtained and a gaussian model for R_L and a spherical model for D were adjusted. Through the exam of the semivariogramas, spatial dependence was found. Simple krigagem was used as interpolator and contours maps were built showing to be an useful tool in describing the spatial variability of soil aggregation.

Index terms: fractal dimension, geostatistics, particle size distribution.

Introdução

Variabilidades espacial e temporal de solos e plantas têm sido motivo de muitos estudos devido a dificuldade de sua caracterização e quantificação. A Geoestatística, através da análise de semivariogramas, tem sido a técnica mais utilizada para a caracterização das variabilidades espacial e temporal (Isaaks & Srivastava, 1989; Eghball et al., 1999). A obtenção de semivariogramas representativos depende fundamentalmente do número de pares de pontos, para diferentes distâncias, encontrado numa determinada direção. O semivariograma fornece uma medida do grau de dependência espacial e temporal entre amostras em uma direção e pode crescer até um valor constante (patamar) dentro de um determinado intervalo ou então crescer continuamente sem apresentar evidências de atingir um patamar (Eghball et al., 1999).

Uma grande preocupação dos pedólogos é a caracterização da estrutura do solo com um único parâmetro o qual retém a maioria das informações. Tradicionalmente, as pesquisas têm sido direcionadas para a distribuição do tamanho do poro e dos agregados. A análise fractal tem sido recentemente usada como um modelo para a distribuição de agregados do solo. Sua formulação originou-se com Mandelbrot (1982) e seu uso expandiu-se com Feder (1988). Na análise de fractais, a dimensão fractal (D) que é independente de escala, é um indicador da geometria do parâmetro fractal em estudo.

A dimensão fractal tem sido estudada na distribuição espacial de pH no solo (Burrough, 1983), na contenção de nutrientes (Burrough, 1981), na retenção de água (Pachepsky et al., 1995) e na condutividade elétrica saturada (Kemblowski & Chang, 1993).

O objetivo deste estudo foi explorar a aplicabilidade da teoria de fractais no estudo da variabilidade espacial em agregação de solo. A dimensão fractal D junto com R_L que é o parâmetro que estima o tamanho do maior agregado foram usados como descritores de fragmentação. Estes valores estimados em diferentes locais na área experimental, foram interpolados usando krigagem ordinária e mapas de isolinhas construídos.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em uma propriedade particular de aproximadamente 90 ha, localizada no município de Angatuba, São Paulo - Brasil, onde é feito plantio convencional em rotação com soja, milho e batata, sendo esta última cultura introduzida na área a cada três anos. A área experimental é irrigada por meio de um pivô-central, cujo raio atinge 500 m. O solo é um Latossolo Vermelho Distrófico típico, álico, textura argilosa, A moderado. O clima da região é do tipo Cfa mesotérmico úmido, sem estação seca bem definida, e com regime de chuva de 1.250 mm/ano (Dufranc, 2001).

A área foi amostrada em grade quadrada uniforme de 50 m x 50 m, totalizando 76 pontos conforme Fig. 1. Após a colheita da cultura de verão, foi feita a retirada de amostras do solo, na profundidade de 0-10 cm, para a análise de estabilidade dos agregados por via úmida.

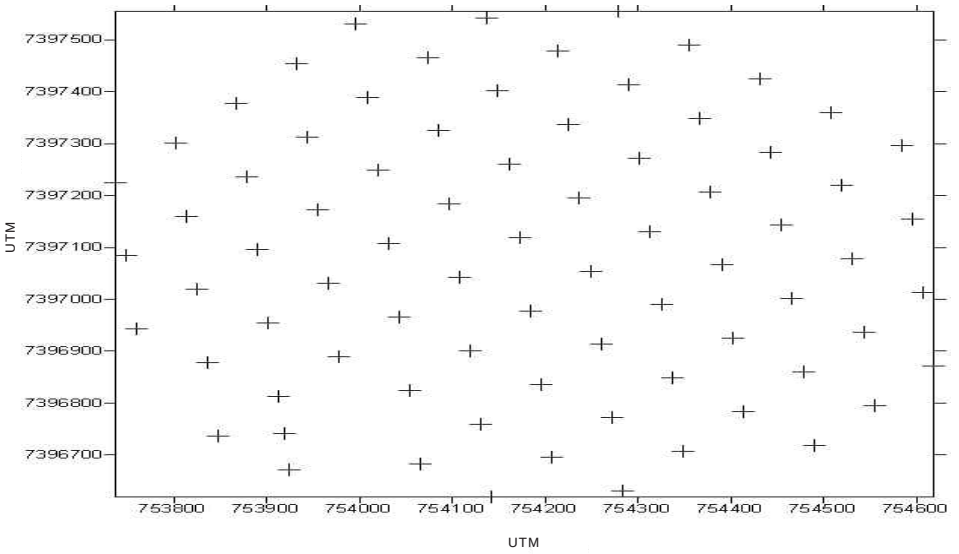


Fig. 1. Grade de amostragem no Latossolo Vermelho Distrófico típico, álico, textura argilosa em Angatuba, SP.

O método empregado para obtenção dos agregados é descrito em Dufranc (2001) e foi realizado no Laboratório de Física do Solo do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do Instituto Agronômico. Aproximadamente 50 g do material seco em estufa a 105-1.100ºC, em triplicata, sofreram o pré-tratamento com água durante 10 minutos. O peneiramento foi feito com peneiras de malhas 7,93 mm, 6,35 mm, 4,00 mm, 2,00 mm, 1,00 mm e 0,50 mm de diâmetro, durante 10 minutos. O peso dos agregados retidos nas peneiras foram secados em estufa a 105-1.100ºC por 48 horas ou até peso constante.

Os modelos fractais têm sido aplicados para a caracterização da distribuição do tamanho de agregados no solo expresso em termos de sua massa, facilmente obtida (Castrignanò & Stelluti, 1999; Tyler & Wheatcraft, 1992; Perfect & Kay, 1995) pelo seguinte modelo para estimar a dimensão fractal:

$$M(r<R) / M_T = (R / R_L)^{3-D} \quad (1)$$

onde M é a massa acumulada dos agregados de tamanho r menores do que R determinado pelo diâmetro das peneiras, M_T é a massa total, R_L é o parâmetro que estima o tamanho do maior agregado e D é a dimensão fractal da massa. A equação (1) é limitada pela variação de D com $0 < D < 3$ e é aplicada para descrever a distribuição do tamanho da partícula do solo seco. Os dois parâmetros do modelo, a dimensão fractal D e o tamanho do maior agregado R_L, são definidas como ferramentas descritivas para a agregação de solo.

As estimativas não viciadas de D e R_L, para cada ponto amostral, são obtidas por regressão não-linear, através do método de Gauss-Newton para o cálculo de estimadores de mínimos quadrados (Souza, 1998; SAS Institute, 1985; Perfect et al., 1992), com um diâmetro médio das peneiras R=5,76 mm.

A geoestatística foi utilizada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados. Segundo Vieira (1997), é necessário conhecer o grau de dependência espacial entre as amostras, que pode ser avaliado pelo semivariograma, possibilitando construir mapas de isolinhas ou tridimensionais para exame e interpretação da variabilidade espacial.

Vieira et al. (1983) afirmam que a dependência espacial entre as observações pode ser expressa através do semivariograma, estimado pela seguinte equação:

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

onde N(h) é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separado pela distância h, se a variável for escalar. O gráfico de $\gamma^*(h)$ versus os valores correspondentes de h, chamado semivariograma, é uma função do vetor h, e portanto depende de ambos, magnitude e direção de h. Modelos matemáticos devem ser ajustados aos semivariogramas, os quais permitem visualizar a natureza da variação espacial das variáveis estudadas, além de serem necessários para outras aplicações, como por exemplo, krigagem.

Os seguintes modelos matemáticos foram ajustados aos semivariogramas:

a) Modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1[\frac{3}{2}(\frac{h}{a}) - \frac{1}{2}(\frac{h}{a})^3] \;, \quad 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \;, \quad h \geq a$$

b) Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-3\,\frac{h}{a})^2] \;, \quad 0 < h < d$$

onde d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido.

c) Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-3(\frac{h}{a})^2)] \;, \; 0 < h < d$$

Para os três modelos citados, C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C_1$ é o patamar e a é o alcance do semivariograma. O valor da semivariância na interseção

do eixo Y, denominado efeito pepita, representa a variabilidade da propriedade em estudo em espaçamento menores do que o amostrado. Assim, quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial do atributo em questão. O alcance da dependência espacial representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si do que com aqueles localizados fora dessa área.

Os valores obtidos através da krigagem são não viciados, têm variância mínima (Vieira et al., 1983) e são ideais para a construção de mapas de isolinhas ou tridimensionais para verificação e interpretação da variabilidade espacial. As informações mostradas nestes gráficos de isolinhas são muito úteis para melhor entender a variabilidade das propriedades do solo no campo e para identificar áreas que necessitam diferentes tipos de preparo.

Resultados e Discussão

Os dados calculados para os parâmetros fractais R_L e D foram analisados usando estatística clássica para obter os valores da média, desvio padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação. Como pode ser verificado pela Tabela 1, as estatísticas descritivas mostram que o coeficiente de variação varia de 15,65% para R_L a 1,06% para D, indicando uma baixa variação para o grau de fragmentação D e para a presença de cascalhos no campo R_L, sugerindo uma homogeneidade média do solo em questão.

Tabela 1. Estatísticas descritivas para os parâmetros fractais D (dimensão da massa fractal) e R_L (tamanho do maior agregado em mm).

Variável	*Média*	*Desvio Padrão*	*C.V.*	*Mínima*	*Máxima*	*Assimetria*	*Curtose*
D	2,65	0,028	1,06	2,47	2,69	-3,52	20,83
R_L	26,27	4,11	15,65	21,69	56,33	5,36	38,32

O coeficiente de correlação entre R_L e D (-0,98) foi extremamente alto e significativo para um nível de probabilidade de 1%. A correlação negativa entre as duas variáveis indica que a probabilidade da ocorrência de cascalho no solo é baixa quando o grau de fragmentação é alto, ou vice-versa.

O exame dos semivariogramas para R_L e D revela que existe dependência espacial para as variáveis. O alcance para D e R_L são iguais (a=150), bem como a dependência espacial, como pode ser visto nas Fig. 2 e 3, onde o efeito pepita é o mesmo para as duas variáveis (C_O=0,05). O efeito pepita de 0,05 significa que existe uma descontinuidade entre valores separados por distância menores do que o usado no intervalo de amostragem, ou seja, em torno de 50 m. A proporção deste valor para o patamar do semivariograma ($C_O + C_1$), no caso, 7% para R_L e D, é um indicativo da quantidade de variação ao acaso de um ponto para outro, e quanto menor seu valor, mais parecidos são os valores vizinhos. O alcance (a) de 150 m significa que todos os vizinhos dentro de um raio de 150 m podem ser usados na estimativa de valores em espaçamentos mais próximos.

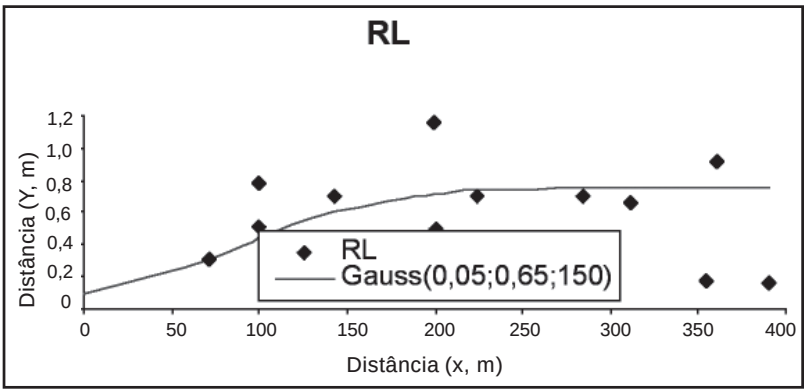


Fig. 2. Semivariograma experimental para o maior tamanho de agregado R_L. Modelo gaussiano ajustado com R^2=0,89%.

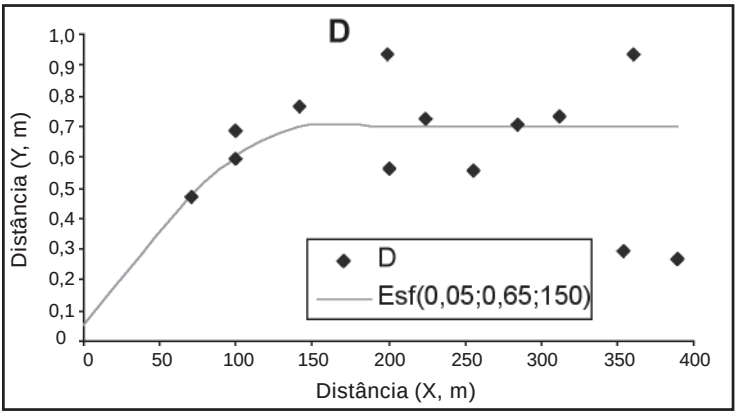


Fig. 3. Semivariograma experimental para a dimensão da massa fractal D. Modelo esférico ajustado com R^2=0,93%.

Os resultados da aplicação da estatística clássica e geoestatística sugerem que a variabilidade espacial na fragmentação do solo pode ser detectada na área em questão. Como pode ser visto nas Fig. 4 e 5, o mapa de contorno para R_L e D foi produzido por interpolação dos valores calculados para as duas variáveis usando os modelos de semivariograma conforme obtidos nas Fig. 2 e 3 e o método de estimação de krigagem ordinária (Vieira et al., 1983). A variabilidade na fragmentação do solo é bem clara quando da observação dos dois mapas, especialmente para R_L.

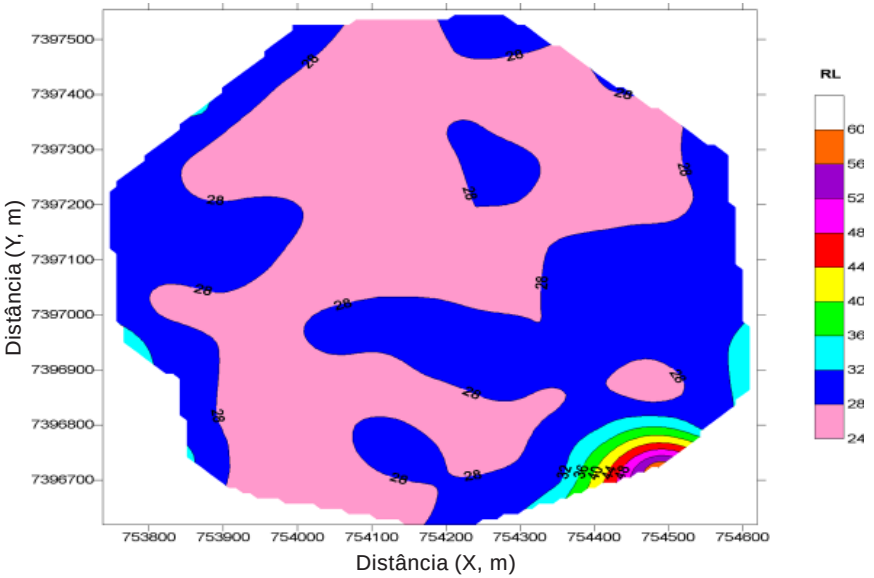


Fig.4. Mapa de isolinhas usando krigagem ordinária para o maior tamanho de agregado RL.

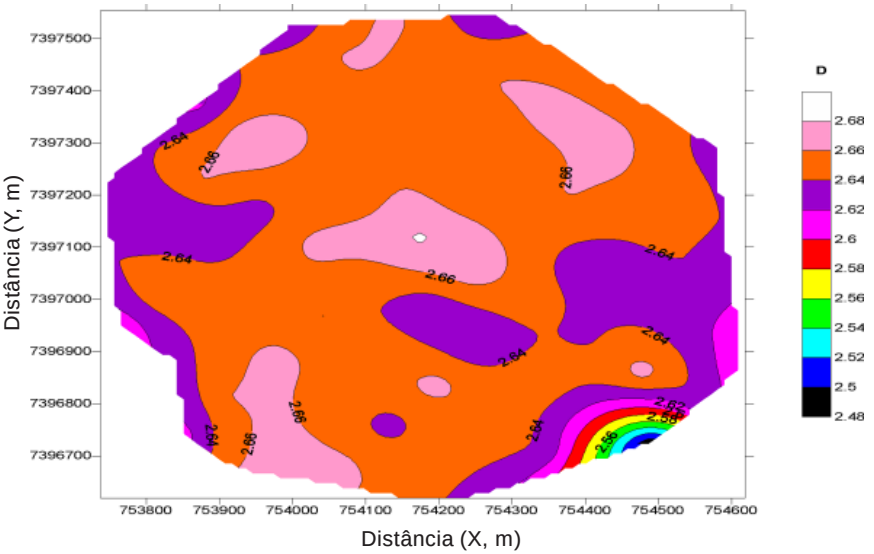


Fig. 5. Mapa de isolinhas usando krigagem ordinária para a dimensão da massa fractal D.

Mesmo assim, é possível detectar, examinando a Fig. 4, variação espacial. Os agregados de maior tamanho estão presentes no canto inferior direito e existe uma variação homogênea de baixos valores do tamanho do agregado na direção da diagonal principal (45º). Como sugerido pelo alto valor do coeficiente de correlação negativo entre os dois parâmetros, os menores valores de zonas fragmentadas (baixo D), correspondem as zonas aonde existem maiores quantidades de cascalho (maior R_L). Neste caso, tanto a estatística clássica como a geoestatística demonstram uma correlação espacial entre os dois parâmetros.

Considerando que a área em estudo é de tamanho reduzido, é bem provável que a maior parte da variabilidade do solo seja resultado de práticas culturais (plantio, rotação de culturas, aplicação de fertilizantes e uso de irrigação) realizadas no passado.

Conclusões

1. A distribuição espacial dos agregados de diferentes tamanhos não é devido ao acaso, mas sim resultado de processos naturais e práticas culturais que definem a correlação espacial no solo.
2. O uso da geometria fractal permite a interpretação das informações provenientes de diferentes tipos de solo.
3. O uso conjunto da teoria dos fractais com geoestatística permite a definição de áreas homogêneas, as quais podem receber as mesmas práticas culturais.
4. A variabilidade na fragmentação do solo é bem definida na área em estudo.

Referências Bibliográficas

BURROUGH, P. A. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. **Nature**, v. 294, n. 5838, p. 240-242, Nov. 1981.

BURROUGH, P. A. Multiscale sources of spatial variation in soil: I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. **J. Soil Sci.**, v. 34, p. 577-597, 1983.

CASTRIGNANÒ, A.; STELLUTI, M. Fractal geometry and geostatistics for describing the field variability of soil aggregation. **J. Agric. Eng. Res.**, v. 73, p. 13-18, 1999.

DUFRANC, G. **Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos vermelhos em plantio direto no Estado de São Paulo.** 2001. 143 f. Tese (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical - Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico, Campinas.

EGHBALL, B.; HERGERT, G. W.; LESOING, G. W.; FERGUSON, R.B. Fractal analysis of spatial and temporal variability. **Geoderma**, v. 88, p. 349-362, 1999.

FEDER, J. **Fractals.** New York: Plenum Press, 1988. 442 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

KEMBLOWSKI, M. W.; CHANG, C.M. Infiltration in soils with fractal permeability distribution. **Groundwater**, v. 31, 187-192, 1993.

MANDELBROT, B. B. **The fractal geometry of nature**. 2nd ed. London: W. H. Freeman, 1982. 423 p.

PACHEPSKY, Y. A.; SHCHEBAKOV, R. A.; KORSUNSKAYA, L. P. Scaling of soil water retention using fractal model. **Soil Sci.**, v. 159, p. 99-104, 1995.

PERFECT, E.; KAY, B. D. Brittle fracture of fractal cubic aggregates. **Soil Science Society American Journal**, v. 59, p. 969-974,1995.

PERFECT, E.; RASIAH, V.; KAY, B. D. Fractal dimension of soil aggregate-size distributions calculated by number and mass.**Soil Science Society American Journal**, v. 56, p. 1407-1409, 1992.

SAS INSTITUTE. **SAS user´s guide**: statistics: version 5 edition. Cary, NC, 1985. 956 p.

SOUZA, G. da S. e. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear.** Brasília, DF: Embrapa-SPI/Embrapa-SEA, 1998. 505 p.

TYLER, S. W.; WHEATCRAFT, S. W. Fractal scaling of soil particle size distributions: analysis and limitations. **Soil Science Society American Journal**, v. 56, p. 362-369, 1992.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 181–190, 1997.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, June, 1983.

Embrapa
Informática Agropecuária