

# ESTIMATIVA DA ÁGUA DISPONÍVEL DO SOLO POR MEIO DA TEORIA FRACTAL

FRANCISCO J. R. DA PAIXÃO<sup>1</sup>, ANTONIO R. S. ANDRADE<sup>2</sup>, CARLOS A. V. DE AZEVEDO<sup>3</sup>,  
EGBERTO E. DE HERDANI<sup>4</sup>, VERA L. ANTUNES<sup>3</sup>, JOSE D. NETO<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Msc, DEAg/CCT/UFMG, Campina Grande, PB, e-mail: [jardel.paixao@gmail.com](mailto:jardel.paixao@gmail.com);

<sup>2</sup>Meteorologista, Prof. Dr. UAG/UFRPE, Garanhuns, PE, e-mail: [arsa@fca.unesp.br](mailto:arsa@fca.unesp.br)

<sup>3</sup>Eng. Agric. Profª. Dra. DEAg/CCT/UFMG, Campina Grande, PB

<sup>4</sup>Msc. DER/UNESP, Botucatu, SP

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 04 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

**RESUMO:** Inúmeras pesquisas têm se procurado aplicar a geometria fractal nas mais variadas áreas do conhecimento científico, tendo se mostrado bastante promissora na estimativa das propriedades físico-hídricas do solo, neste sentido objetivou-se com esta pesquisa estimar a água disponível do solo (AD) por meio da teoria fractal baseada em duas propriedades físicas de fácil determinação; a curva de retenção de água no solo ( $D_{SWRC}$ ) e a curva de distribuição do tamanho das partículas do solo ( $D_{PSD}$ ). A teoria fractal por meio da determinação da dimensão fractal baseada na curva de retenção de água no solo ( $D_{SWRC}$ ) foi capaz de estimar com excelente precisão os valores de água disponível, seguida do modelo de Brooks e Corey sem uso da aproximação fractal.

**Palavras Chave:** física do solo, curva de retenção, manejo de irrigação

## ESTIMATE OF THE AVAILABLE WATER OF THE SOIL THROUGH THE TEORIA FRACTAL

**ABSTRACT:** Many researches, in several areas, have been done using fractal geometry, it has been useful to estimate soil physical hydric properties, thus the objective of this work was to determine the availability of water of the soil (AD) using fractal theory based on two easy physical properties, the water retention curve ( $D_{SWRC}$ ) and the distribution curve of soil particles ( $D_{PSD}$ ). Using the fractal theory by the determination of fractal dimension (D) based on the water retention curve permitted to estimate, with high precision, the availability water values, using Brook and Cary model.

**Keywords:** physics of soil, curves of retention, irrigation management

**INTRODUÇÃO:** A teoria dos fractais tem sido amplamente usada para descrever a rugosidade das superfícies terrestres devido à sua eficiência na sensibilidade em áreas de texturas diferentes, sendo útil também, na classificação de imagens definições das diversidades de paisagens, determinação de escala operacional dos fenômenos naturais em imagens digitais, efeitos na conversão de dados em sistemas de informações geográficas e, ainda, no escalonamento aplicado às variabilidades espaciais em sensoriamento remoto para interferência na administração, evolução, ecologia, amostragens dos recursos e simulação (LAUX e PEREIRA, 2005). Em ciências do solo, os fractais são utilizados para descrição do percurso de infiltração e redistribuição da água, além de modelar, de forma eficiente, a ocorrência de fenômenos durante estes dois processos, uma vez que o solo é um corpo tridimensional. A dimensão fractal pode ser determinada com alguns atributos físicos do solo, permitindo estudos com novas abordagens fundamentadas em parâmetros físicos, passando a ocupar o espaço de estudos utilizando-se parâmetros puramente empíricos (HOTT et al., 2005). Diante do exposto objetivou-se com esta pesquisa estimar a água disponível do solo por meio da dimensão fractal com base na curva de retenção e também com base na curva de distribuição do tamanho das partículas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A pesquisa foi realizada no Laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de Campina Grande, onde inicialmente foram determinadas as percentagens de areia silte e argila do solo usado pesquisa, que classificado segundo a classificação da EMBRAPA, 1999, como um Neosolo Reolítico. Inicialmente foi determinada a curva de distribuição de partículas do solo e posterior mente a curva de retenção do mesmo. Foram coletadas amostras de solo deformadas de uma área cultivada com Gergelim irrigada com um sistema de irrigação por aspersão nas profundidades de 0-20, 20-40 e de 40-60 cm de profundidade, em um total de 36 pontos amostrais. No presente trabalho a curva retenção de água do solo foi determinada em laboratório usando o Extrator de Umidade de Reichardt, nas tensões de 10, 33, 100, 300, 500, 1000 e 1500 kPa, em que a água disponível foi obtida através da umidade correspondente aos potenciais matriciais de 10 e 1500 kPa, segundo a metodologia descrita por GUERRA (2000) e a curva de distribuição do tamanho das partículas do solo foi determinada pelo Método do Hidrômetro, como recomendado por BOUYOUCOS (1951). Uma das metodologias capazes de determinar a dimensão fractal do solo é baseada na distribuição do tamanho médio das partículas sólidas do solo uma vez em que o tamanho médio das partículas do solo bem como dimensão fractal, estão ligadas com a estrutura do solo e pode ser estimada através da expressão:

$$W(R) = c R^{\frac{3D^2 - 13D + 14}{D^2 - 5D + 4} + 1} \quad (1)$$

Sendo que,  $W(R)$  – massa acumulativa das partículas do solo,  $c$  – constante,  $R$  – raio médio das partículas do solo,  $D$  – dimensão fractal.

A equação (1) é a expressão através da qual se estima o percentual da massa acumulativa das partículas, em função dos raios das partículas do solo. No sentido de se estimar  $D$ , aplica-se o método dos mínimos quadrados para obtenção dos coeficientes da reta linearizada e, por via de consequência da própria dimensão fractal ( $D$ ). A dimensão fractal  $D$ , obtida por este procedimento, resulta na dimensão fractal de superfície (baseada na distribuição do tamanho das partículas do solo) representada por  $D_{PSD}$ .

Com base na equação de proposta por BROOKS e COREY (1964), modificada por PIERRER et al (1996) citado por ANDRADE, 2002, aplica-se o processo de regressão não linear aos dados de tensão de água no solo. Uma maneira mais específica entre o volume de poros e o seu raio, foi encontrada por PERRIE et al. (1996) e se escreve da seguinte forma:

$$-\frac{dV(\geq r)}{dr} = \beta(E - D)r^{E-D-1} \quad (2)$$

em que :  $E$  - representa a dimensão euclidiana,  $\beta$  - uma constante e  $r$  – raio do poro.

Para estimar o teor de água no solo, assume-se que o valor que o raio de poro é inversamente proporcional ao potencial hidráulico  $h$ , assim como  $h=A/r$ , em que  $A$  é uma constante. Tradicionalmente, usam-se valores absolutos das tensões de água no solo, em lugar de tensões negativas. A equação (2) é muito usada para se estimar a curva de retenção de água no solo, mesmo havendo outras formas de se correlacionar os poros do solo com as tensões da água (TYLER e WHEATCRAFT, 1990; BIRD et al., 1996). O modelo para se estimar a curva de retenção de água proveniente da equação (2) apresenta uma rígida relação com uma lei física, o conteúdo de água do solo e a tensão com que esta água encontra-se retida entre as partículas sólidas do solo (PIERRER et al., 1996). Com base na equação de proposta por BROOKS e COREY (1964), modificada por PIERRER et al (1996) citado por ANDRADE, 2002, a dimensão fractal ( $D_{SWRC}$ ) foi determinada aplicando-se o processo de regressão não linear aos dados de unidade do solo ( $\theta$ ) versus o potencial matricial de água no solo ( $\psi_m$ ) por meio da seguinte expressão:

$$\theta_{(h)} = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left( \frac{h_s}{h} \right)^{3-D} \quad (3)$$

Sendo que:  $\theta(h)$  - umidade do solo em base de volume, na tensão  $h$ ,  $\theta_s$  - umidade do solo em base de volume na saturação,  $\theta_R$  a umidade residual do solo (correspondente ao ponto de murcha permanente),  $h_0$  - valor absoluto da tensão de água no ponto de entrada de ar e  $D$  representa dimensão fractal distribuição dos tamanhos de poros do solo ( $D_{SWRC}$ ). Para os valores da água disponível do solo foram aplicadas estatísticas descritivas e para análise de exatidão e precisão dos métodos de interpolação, adotando como padrão o erro padrão de estimativa (ER). Para ajuste da curva de retenção de água no solo por meio da dimensão fractal foi editado um programa em linguagem java e para ajuste da curva de retenção por meio do modelo de Brooks e Corey empiricamente usou-se o programa computacional Soil Water Retention Curve (Versão Beta 3.0).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1, estão descritos o resumo estatístico da água disponível para três profundidades estimadas pelos três modelos usados nesta pesquisa. Verifica-se que os valores médios da água disponível para as três profundidades apresentam normalmente distribuídos, e um crescente coeficiente de variação com o acréscimo da profundidade, para os três modelos estudados, porém dentro de uma faixa aceitável para solos.

Tabela 1. Resumo estatístico da água disponível determinada pelo método de laboratório, estimada pelo modelo de Brooks e Corey modificado com fractal ( $D_{PSD}$  e  $D_{SWRC}$ ) e sem a dimensão fractal, para as três profundidades.

Parâmetro estatístico	Profundidade (cm)		
	0-20	20-40	40-60
<b>OBSERVADOS (OBS)</b>			
Média	9,242	9,305	10,978
Desvio padrão (%)	1,598	1,126	5,543
Coef. de variação (%)	17,293	12,098	50,496
<b>BCD<sub>SWRC</sub></b>			
Média	8,371	8,622	7,949
Desvio padrão (%)	0,674	0,554	0,762
Coef. de variação (%)	8,048	6,421	9,587
Erro padrão de estimativa (Er)	0,804	0,946	1,586
<b>BCD<sub>PSD</sub></b>			
Média	3,754	2,117	1,951
Desvio padrão (%)	0,545	0,196	0,663
Coef. de variação (%)	14,508	9,240	33,978
Erro padrão de estimativa (Er)	7,889	10,243	14,337
<b>BC original</b>			
Média	8,525	8,538	10,325
Desvio padrão (%)	1,289	0,852	5,636
Coef. de variação (%)	3,600	2,400	16,500
Erro padrão de estimativa (Er)	1,049	1,157	1,970

Estatisticamente constata-se que os valores de AD apresentaram pequena variabilidade nas profundidades estudadas de 0-20 e 40-40 cm com um acréscimo mais acentuado para a profundidade de 40-60 cm (50,496 %), para AD quando determinada pelo método de laboratório. Para o método de Brooks e Corey com a dimensão fractal baseada na curva de retenção (BCD<sub>SWRC</sub>) e Brooks e Corey original, verifica-se um baixo coeficiente de variação bem como do desvio padrão para as três profundidades estudadas, porém, para o modelo de Brooks e Corey com a dimensão fractal baseada na curva de distribuição de partículas, verifica-se uma maior variabilidade de forma mais acentuada na última profundidade. Verificando a Tabela 1 é possível observar os melhores valores para o modelo de Brooks e Corey com aproximação fractal baseada na curva de retenção de água no solo (BCD<sub>SWRC</sub>), mostrando-se satisfatórios quando comparados com os dados experimentais; desta forma, o modelo BCD<sub>SWRC</sub> apresenta-se adequado para estimativa da água disponível do solo, com um erro padrão de estimativa de 0,804, 0,946 e 1,586%, respectivamente, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

**CONCLUSÕES:** A teoria fractal por meio da determinação da dimensão fractal baseada na curva de retenção de água no solo ( $D_{SWRC}$ ) estimou com excelente precisão os valores de água disponível, seguida pelo modelo de Brooks e Corey sem aproximação fractal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. R. S. de. Aplicação da teoria fractal e da geoestatística na estimativa da condutividade hidráulica saturada e do espaçamento entre drenos. Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita” Faculdade de Ciências Agrônomicas Campus de Botucatu, Botucatu, SP, 2002. (Tese de Doutorado)
- BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer method for studying. Soil Sei., v.5, n.25, p.367-371, 1951.
- BIRD, N.R.A., BARTOLI, F. DEXTER, A.R. Water retention models for fractal soil structures. J. Soil Sci., v.47, p.1-6, 1996.
- BROOKS, R.H. & COREY, A.T. Hydraulic properties of porous media Hidrol. Pap. 3, Colorado State Univ. Fort Collins, 1964. 180p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- GUERRA, H.C. Física dos solos, 1 ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173 p.
- HOTT, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. Á. S.; GRIFFITH, J. J. Análise fractal de textura usando um operador de Hurst em uma imagem TM/Landsat. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4089-4093. IN. Anais.
- LAUX, P. R.; PEREIRA R. S. Revisão do Modelo de Geometria Fractal. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4103-4110. IN. ANAIS
- PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. 1º. ed. Curitiba: C.L, 1996. 446p.
- TYLER, S.W., WHEATCRAFT, S.W. Fractal processes in soil water retention. Water Resour. Res., v.26, p.1047-1054, 1990.