

ABORDAGEM MULTIFRACTAL 3D E MICROTOMOGRÁFIA COMPUTADORIZADA DE RAIOS-X NA AVALIAÇÃO DE UM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES TIPOS DE MANEJO

C. L. Tseng^{1*}, A. N. D. Posadas², C. M. P. Vaz², M. Cooper³, S. Crestana²

¹ Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, Avenida Trabalhador São-carlense, 400, CEP: 13566-590, São Carlos, SP

² Embrapa Instrumentação, Rua XV de novembro, 1452, CEP: 13560-970, São Carlos, SP

³ Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Av. Pádua Dias - Agronomia, CEP: 13418-900, Piracicaba, SP

* Autor correspondente, e-mail: chienlt@unionebd.com.br

Resumo: O solo no meio ambiente é um sistema aberto e complexo, que é a base da produção de alimentos e suporte à vida. O manejo e uso atuais desse recurso estão em condições críticas para o desenvolvimento sustentável. A complexidade da estrutura do solo é constantemente modificada por diferentes práticas de manejos, ações antrópicas, ações pluviométricas, lixiviação dos nutrientes, salinização, dentre outras. As técnicas usadas para a recuperação dos solos degradados são também complexas e por sua vez precisam de indicadores na avaliação das áreas em processo de recuperação. Assim, o objetivo desse trabalho foi apresentar uma ferramenta matemática baseada na técnica multifractal como um indicador para a avaliação de um solo submetido a seis diferentes tipos de manejo. A análise multifractal em 3D foi aplicada em amostras de microtomografia de raios-x de um solo submetido aos seis tipos de manejo, solo de mata nativa (MT), solo degradado (SD), solo em recuperação (ER), solo de pastagem degradada (PD), solo de pastagem em recuperação (PR) e solo recuperado (SR). A caracterização dos diferentes manejos foi claramente distinguida pela técnica de análise multifractal, apresentando-se como uma ferramenta muito robusta na caracterização, indicador de manejo e recuperação de solos degradados.

Palavras-chave: solo, degradado, recuperação, multifractal, manejo.

3D MULTI-TRACTAL APPROACH AND X-RAY COMPUTED MICROTOMOGRAPHY IN THE EVALUATION OF A SOIL SUBJECT TO DIFFERENT MANAGEMENT TYPES

Abstract: The soil in the environment is an open and complex system being the basis of food production and life support. The current management and use of this resource are in critical condition for sustainable development. The complexity of soil structure is constantly modified by different management practices, anthropic actions, rainfall, nutrient leaching, salinization, among others. The techniques used for the recovery of degraded soils are also complex and in turn, need indicators in the assessment of areas under-recovery. Thus, the objective of this work was to present a mathematical tool based on the multifractal technique as an indicator for the evaluation of a soil submitted to six different types of management. The 3D multifractal analysis was applied to x-ray microtomography samples of a soil submitted to the six management types, native forest soil (MT), degraded soil (SD), recovering soil (ER), degraded pasture soil. (PD), recovering pasture soil (PR) and recovered soil (SR). The characterization of the different managements was clearly distinguished by the multifractal analysis, presenting it as a very robust tool for the characterization, management indicator and recovery of degraded soils.

Keywords: soil, degraded, recovery, multifractal, management

1. Introdução

O solo no meio ambiente é um sistema aberto e complexo, que é a base da produção de

alimentos e suporte à vida. O manejo e uso atuais desse recurso estão em condições críticas para o desenvolvimento sustentável.

A caracterização do espaço poroso de um solo fornece indicadores importantes no estudo de qualidade e vulnerabilidade de solos sujeitos a ações degradantes relacionadas às atividades humanas. A quantificação da forma, tamanho, continuidade, orientação e irregularidades dos poros pode permitir a previsão de modificações estruturais do solo induzidas por ações humanas, bem como avaliar o grau de degradação do solo devido à compactação e formação de crostas superficiais (KUNCORO et al., 2014b; PIRES et al., 2017). Nesse contexto, a caracterização em alta resolução é fundamental para avaliar a suscetibilidade do solo ao desenvolvimento radicular, erosão, armazenamento de água, capacidade de infiltração de água, entre outros.

O objetivo desse trabalho é mostrar a eficiência da técnica de análise multifractal 3D aplicada em microtomografia de raios-x de um solo submetido a seis diferentes tipos de manejo.

2. Materiais e Métodos

2.1. Descrição do modelo teórico

O conceito do modelo matemático multifractal surgiu como uma generalização a partir do modelo de geometria fractal (MANDELBROT, 1982). A análise multifractal permite detetar as variações internas de um sistema, resolvendo sua densidade local através do espectro multifractal (HALSEY et al., 1986; CHHABRA et al., 1989). A aplicação desse modelo para descrever meios poros e heterogêneos em diversas áreas. Vale a pena destacar aqui dois trabalhos realizados por Posadas et al. (2003 e 2009), dos quais caracterizaram a estrutura interna de três grupos de solo através da forma e simetria do espectro e a quantificação do fenômeno de fingering (fluxo preferencial) no interior do solo por meio das imagens de ressonância magnética (MRI).

As equações fundamentais utilizadas para este estudo são (Posadas et al., 2003):

$$f(\alpha(q)) = q\alpha(q) - \tau(q) \quad (1)$$

$$\alpha(q) = d\tau(q)/dq$$

(2)

$f(\alpha)$ representa dimensão fractal de um conjunto de caixas com expoente α ; q é o valor de ordem do momento ($-\infty < q < \infty$) e τ é a correlação de q -ésimo expoente da ordem do momento.

A partir das equações anteriores, pode-se ainda deduzir o grau de multifractalidade (Δ) e de assimetria (A) (HALSEY et al., 1986; SZCZPANIAK e MACEK, 2008):

$$\Delta = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} = D_{-\infty} - D_{\infty} \quad (3)$$

$$A = \frac{\alpha_0 - \alpha_{\min}}{\alpha_{\max} - \alpha_0} \quad (4)$$

2.2. Delineamento experimental

2.2.1. Obtenção das imagens micro-tomográficas

As imagens de microtomografia computadorizada de raios-x foram obtidas na Embrapa Instrumentação – São Carlos, utilizando um microtomógrafo de alta resolução modelo 1172, Skyscan (Bruker). As imagens foram reconstruídas (Figura 1) (Tseng, 2017) com o software fornecido pelo próprio fabricante e depois foram utilizadas como dados de entrada no programa NASS (Non-Linear Analysis Scaling System), desenvolvido com o apoio da empresa AgriEntech Ltda, São Carlos, SP e a Universidade de Rutgers, Departamento de Ciências Ambientais, New Jersey, USA, baseado no método canônico introduzido por Chhabra et al. (1989), Posadas et al. (2005) e Chung et al. (2008).

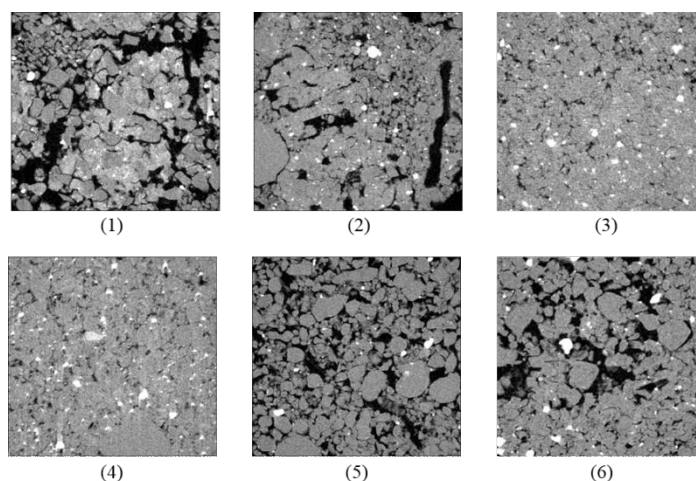


Figura 1. Microtomografia (1000x1000 pixels) de solo dos seis manejos - (1) solo de mata nativa (MT); (2) solo recuperado (SR); (3) solo em recuperação com *Astronium fraxinifolium* (Gonçaloalves) + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto (ER); (4) solo degradado (SD); (5) solo de pastagem em recuperação (PR) e (6) solo de pastagem degradada (PD)

2.2.2. Descrição do experimento de campo

As amostras de solo foram coletadas na Fazenda Experimental da Unesp-Ilha Solteira, situada na cidade de Selvíria – Mato Grosso do Sul, às margens do Rio Paraná, onde teve a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira na década de 80. Houve na época uma decapitação de solo de 8 metros de profundidade, desde então, o solo ficou exposto, sofrendo problemas graves de erosão. Então, com intuito de recuperar essas áreas, foram implementados trabalhos de recuperação utilizando técnicas diferentes pela universidade, nas quais foram coletadas as amostras (Figura 1) (TSENG, 2017). O solo do local é um Latossolo Vermelho Distrófico.

3. Resultados e Discussão

A caracterização dos diferentes manejos foi claramente distinguida pela técnica de análise multifractal em 3D, como apresentados na figura 2. Para um melhor entendimento acerca dos espectros apresentados (Figura 2), separa-se esse tópico em duas partes: 1) análise da forma das curvas dos espectros multifractais e 2) parâmetros físicos extraídos do espectro.

1) Ao considerar o solo de mata nativa (Figura 2 – a)) como amostra de referência, pode-se observar que, a forma de seu espectro é curta e achatada, isso quer dizer, aproxima-se de um monofractal, pois tanto sua parte porosa, quanto parte sólida são uniformemente distribuídas (simetria da curva). O mesmo comportamento encontra-se também nos manejos em estado de recuperação ou recuperado (Figura 2 – e) e f)), ambos manejos apresentaram a tendência de achatar sua forma e encurtar o lado direito do espectro, isto é, reduzindo a distribuição da parte sólida, característica de um solo encontrado em mata nativa. Com exceção para solo em recuperação (Figura 2 – c)), o qual ainda apresenta uma forma bem semelhante de um solo degradado, no entanto, a raiz das árvores nativas implementadas no local tem sido eficiente no processo de descompactação do solo, constatado pela tendência de redução do lado direito do espectro. Por último, o solo de pastagem degradada (Figura 2 - d) mostra um formato achatado e com o espectro bastante alongado para lado direito, em outras palavras, pouca porosidade e alta compactação.

2) Com base nos parâmetros extraídos dos espectros (Tabela 1), o valor de multifractalidade (Δ) dos solos de PR e SR aproximam-se do MT, isto é, as técnicas de recuperação aplicadas na área têm sido eficientes, a redução desse valor significa uma distribuição mais balanceado entre os poros e sólidos. Enquanto ER, PD são semelhantes ao D, ou seja, comportamento multifractal e complexo (TSENG, 2017). Assim como o grau de assimetria (A) mostra (Tabela 1), quando maior o valor, maior espaço poroso contém na amostra, então, mais uma vez, PR e SR apresentaram valores próximos de MT, enquanto ER e PD são semelhantes ao SD. Em termo de dimensão fractal (D0)

(Tabela 1), os valores de MT, PD, PR e SR são semelhantes, porque o agrupamento ou a conexão entre seus poros são mais simplificados do que de SD e ER, pois os micro-poros são ainda predominantes na sua estrutura. Em relação a dimensão fractal de entropia, os valores de MT, PD, PR e SR são sistemas parecidos, em outras palavras, esses fornecem quantidade de informações próximos, tendem ser mais vulneráveis aos estímulos externos, já o SD e ER são sistemas mais estáveis para responder.

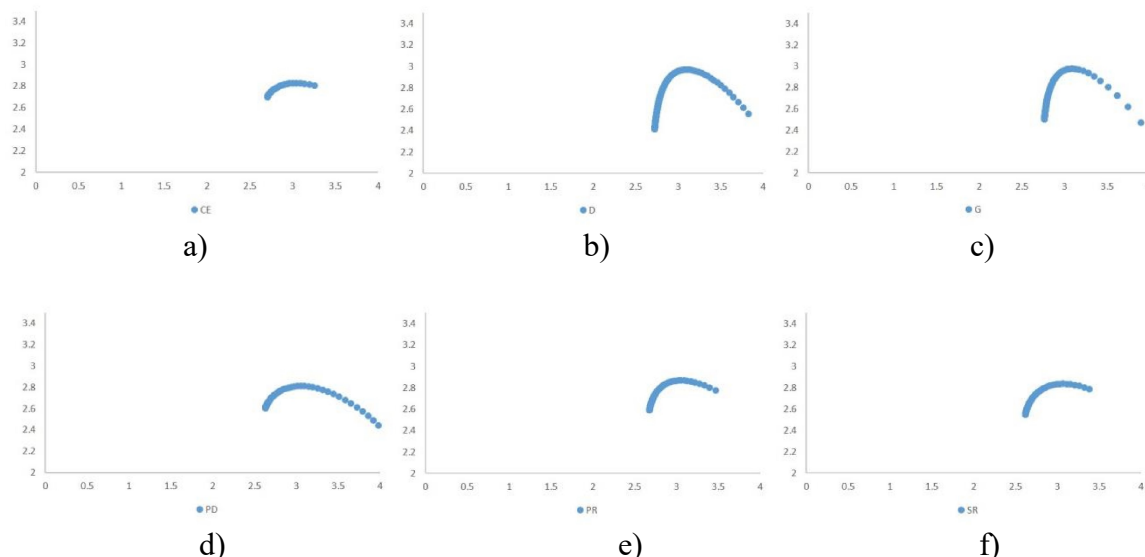


Figura 2. Espectro multifractal dos manejos – a) solo de mata nativa (MT); b) solo degradado (SD); c) solo em recuperação (ER); d) solo de pastagem degradada (PD); e) solo de pastagem em recuperação (PR); f) solo recuperado (SR).

Tabela 1. Parâmetros físicos adquiridos para os diferentes manejos

Tipos de manejo	Δ	A	D0	D1
MT	0,55	1,61	2,82	2,73
SD	1,11	0,51	2,97	2,89
ER	1,13	0,40	2,97	2,90
PD	1,58	0,36	2,81	2,69
PR	0,79	1,43	2,87	2,77
SR	0,77	1,43	2,84	2,71

4. Conclusões

Pode-se concluir que, a técnica da análise multifractal 3D aplicada em imagens de microtomografia computadorizada mostrou ser eficiente para caracterizar e quantificar a estrutura detalhada de diferentes manejos de solo, assim como um bom indicador de avaliação de solos em processos de recuperação e recuperados.

Agradecimentos

À Embrapa Instrumentação pelo fornecimento de equipamentos, ao CNPq pelo financiamento e ESALQ-USP pelo apoio técnico e à FAPESP - processo número 2018/16226-1.

Referências

- CHHABRA, Ashvin; JENSEN, Roderick V. Direct determination of the $f(\alpha)$ singularity spectrum. **Physical Review Letters**, v. 62, n. 12, p. 1327, 1989.
- CHUNG et al. Morphology, lacunarity and entropy of intra-aggregate pores: Aggregate size and

- soil management effects. **Geoderma**, 146: 83-93, 2008.
- HALSEY, Thomas C. et al. Fractal measures and their singularities: The characterization of strange sets. **Physical Review A**, v. 33, n. 2, p. 1141, 1986.
- KUNCORO, P. H. et al. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water I: Relative gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. **Soil and Tillage Research**, v. 143, p. 172-179, 2014.
- MACEK, Wiesław M.; WAWRZASZEK, Anna. Multifractal structure of small and large scales fluctuations of interplanetary magnetic fields. **Planetary and Space Science**, v. 59, n. 7, p. 569-574, 2011.
- PIRES, Luiz F. et al. Soil structure changes induced by tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 66-79, 2017.
- POSADAS, Adolfo ND et al. Multifractal characterization of soil pore systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 5, p. 1361-1369, 2003.
- POSADAS, A. et al. Characterizing water fingering phenomena in soils using magnetic resonance imaging and multifractal theory. **Nonlinear processes in geophysics**, v. 16, n. 1, p. 159-168, 2009.
- SZCZEPANIAK, A.; MACEK, W. M. Asymmetric multifractal model for solar wind intermittent turbulence. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 15, n. 4, p. 615-620, 2008.
- TSENG, Chien Ling. **The environment qualities evaluation of a degraded area in recuperation and the drying process of a Brazilian soil using nonconventional methods at micrometric scale**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.