



MÉTODO PARA VISUALIZAÇÃO DE IMAGENS TOMOGRÁFICAS DE ALTA RESOLUÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO BASEADO EM ALGORITMOS PARALELOS

M.F.L. Pereira¹, J.M.G. Beraldo², P.E. Cruvinel³

- (1) Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, 78060-900, Cuiabá, MT, mauricio@ic.ufmt.br
(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, Rua Pedro Vicente, 625, 01109-010, São Paulo, SP, jmgeraldo@ifsp.edu.br
(3) Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, 13560-970, São Carlos, SP, paulo.cruvinel@embrapa.br

Resumo: Este trabalho apresenta um método que viabiliza a reconstrução, visualização e análise de imagens tridimensionais (3D) de amostras de solos agrícolas, geradas a partir da técnica de tomografia de alta resolução. O objetivo do trabalho foi permitir a extração de informações desses objetos tridimensionais e inferir sobre características do solo, através das ferramentas de visualização. Devido ao grande volume de imagens e informação envolvidas exploram-se arquiteturas paralelas que possibilitam o processamento de grande quantidade de dados. Na validação do método utilizou-se amostras de campo coletadas em dois sistemas de manejo do solo. As amostras foram tomografadas utilizando-se o tomógrafo SkyScan modelo 1172, composto por um tubo de raios-X de microfoco com fonte de alta tensão de 100 kV. Para a reconstrução 3D foram utilizados algoritmos paralelos baseados na biblioteca MPI. Para a visualização foi utilizada a ferramenta Paraview, da Kitware, a qual permitiu a paralelização dos algoritmos. Neste contexto, utilizando tal estrutura foi possível fazer comparações entre amostras de solo de mata e sob sistema de plantio direto. Resultados mostram a possibilidade de se inferir sobre a diferença de porosidade encontrada nos diferentes sistemas de manejo.

Palavras-chave: porosidade do solo, modelagem 3D, microtomografia, algoritmos paralelos, física do solo.

METHOD FOR VIEWING ANALYSIS OF UNDEFORMED SOIL SAMPLES WITH HIGH RESOLUTION TOMOGRAPHY BASED ON PARALLEL ALGORITHMS

Abstract: This paper presents a method that enables the reconstruction, visualization and analysis of three-dimensional (3D) samples of agricultural soils, generated from a high-resolution tomographic technique. Its goal is to allow the extraction of information from these three-dimensional objects and infer on soil characteristics, through visualization tools. Due to the large volume of images and information involved parallel architectures were applied, enabling to process large amount of data. To validate the method we used field samples collected under two soil management systems. Soil samples were scanned using a SkyScan 1172 system, comprising of a 100 kV microfocus X-ray source. For 3D reconstruction, the parallel algorithms were based on the MPI library. For big data visualization it was used a tool named Kitware, which allows the algorithms parallelization. In this context, by using this structure it was possible to make comparisons between both sampled areas i.e., from forest soil and under no-tillage system. Results show the possibility of inferring about the difference of the porosity in the different management systems.

Keywords: soil porosity, 3D modelling, microtomography, parallel algorithms, soil physics.

1. Introdução

Muitas áreas de desenvolvimento têm enfrentado problemas com objetos que possuem grandes volumes de dados. Inúmeras vezes esses objetos estão relacionados a processos de simulação de larga escala, em outros casos, a sistemas equipados com sensores com capacidade de extrair muitos dados. Esses grandes volumes de dados criam dificuldades computacionais relacionadas ao gerenciamento da informação, acomodação na memória principal, armazenamento *off-line* em disco local e problemas relacionados largura de banda e latência para processamento dessas informações (MICHAEL COX; DAVID ELLSWORTH, 1997). Além disso, para entender o significado desses dados é necessário buscar novas formas de visualizá-los, fugindo-se das formas tradicionais (FRANKEL; REID, 2008).

A organização do método utiliza algoritmos paralelos de reconstrução 3D desenvolvidos por (PEREIRA, 2007). Os objetos utilizados para visualização demanda valores superiores a 1 gigabyte para seu armazenamento em disco. Tal característica cria problemas para o gerenciamento dos dados e para extração das informações. As-

sim na análise dos objetos reconstruídos utiliza-se um ambiente de visualização que também explora o poder do processamento paralelo das arquiteturas atuais. Esse ambiente permite além da visualização 3D, a extração dados pontuais de amostras, visualização de cortes ou regiões e a visualização VOI (*Volume of Interest*) dessas amostras.

Atualmente, o desenvolvimento de técnicas avançadas de processamento de imagens, permite quantificar o volume de poros do solo e representar o objeto em três dimensões (PETH et al., 2008; TAINA; HECK; ELLIOT, 2008). Esta técnica pode torna-se importante para avaliar a porosidade do solo, como um método alternativo, onde é possível a visualização em três dimensões, permitindo conhecer a dinâmica da rede de poros formada, assim como o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Esse trabalho tem o objetivo de apresentar um método para extração de informações de objetos tridimensionais gerados a partir de um conjunto de imagens tomográficas de alta resolução obtidas a partir de amostras coletadas em campo sob dois sistemas de manejo do solo.

2. Materiais e Métodos

2.1. Reconstrução tridimensional através de algoritmos de processamento paralelo

A reconstrução tridimensional ocorre através da aplicação de um algoritmo de interpolação que produz planos intermediários virtuais entre planos reais. O método de reconstrução baseia-se no algoritmo de interpolação por B-Spline Wavelets (MINATEL, 2003) com o objetivo de tentar preservar as características reais de textura do solo. Devido a grande quantidade de pontos a serem interpolados, explora-se o processamento paralelo através do uso de MPI para dividir a carga de trabalho entre diversos processadores (PEREIRA, 2007).

2.2. Visualização tridimensional utilizando software Paraview

O Paraview é uma ferramenta *open-source*, multiplataforma, baseada na biblioteca VTK, desenvolvida pela Kitware. Ela é capaz de processar grandes volumes de dados, utilizando técnicas do processamento em arquitetura de alto desempenho (AYACHIT; OTHERS, 2012; CEDILNIK et al., 2006; FABIAN et al., 2011). Além de sua escalabilidade, a ferramenta possibilita estender suas funcionalidades criando-se novos filtros e métodos de renderização, utilizando-se de linguagem C/C++, Python ou Tcl. Assim, módulos desenvolvidos utilizando-se a biblioteca VTK podem ser acoplados a ferramenta. Ao compilar-se o código-fonte da ferramenta para ambiente Linux ou instalando-se a ferramenta, tem-se a opção de configuração para distribuição processamento entre diferentes máquinas, o que acelera o *pipeline* de visualização. Para facilitar o uso da ferramenta alguns filtros fundamentais são disponibilizados, tais como *Threshold*, *Corte*, *Clipping* e *Plot Over Line*.

2.3. Descrição dos sistemas de Manejo de solo e amostragem de solo

Dois sistemas de manejo do solo foram selecionados para o estudo: Mata – caracterizada pela mata, no qual o solo não sofreu qualquer tipo de manejo; Plantio Direto de milho – área cultivada por 6 anos com duas culturas anuais, soja no verão e milho no inverno em sistema de semeadura direta.

Foram coletadas amostras indeformadas na camada superficial do solo (0,0-0,10 m) em cada sistema de manejo de solo, utilizando cilindros de PVC, com borda biselada, de 6,4 cm de altura, 3,7 cm de diâmetro interno e volume aproximado de 68,8 cm³.

Após a coleta, as amostras indeformadas de solo foram levadas ao Laboratório de Técnicas Nucleares “Silvio Crestana” na Embrapa Instrumentação localizada em São Carlos-SP. As imagens tomográficas foram obtidas utilizando um sistema de microtomografia de raios-X, modelo 1172 da SkyScan, composto por um tubo de raios-X de microfoco com fonte de alta tensão (100 kV), um porta-amostra com manipulador de precisão e um detector baseado em cintilador de óxido de gadolínio e câmera CCD com resolução de 10Mp (4000 x 2300 pixel) conectados a um computador para controle e aquisição das imagens.

3. Resultados e Discussão

Nesse trabalho, utilizou-se um máquina com processador Intel i5 de 2 núcleos e 4 threads, operando a 2,6 GHz, com 4 GB de memória RAM e disco SSD de 240 GB. No trabalho organizou-se um fluxo de informações tal qual apresenta a Figura 1. Inicialmente, escolhe-se um conjunto de planos de diferente profundidade e seleciona-se a quantidade de planos que serão inseridos entre os planos reais. Depois disso, aplica-se o algoritmo paralelo de reconstrução 3D nos planos escolhidos. Como resultado o algoritmo gera um arquivo no formato VTK que pode ser importado no Paraview. Dentro da ferramenta os dados são comprimidos utilizando-se o algoritmo ZLib, o que garante que ocupem menor espaço em disco.

Para analisar-se o potencial do método de análise de grandes volumes de dados, realizou-se um estudo de caso que visou analisar as características dos dois tipos de amostras de solo. Realizou-se a reconstrução de dois objetos a partir de amostras de solo denominados Mata (solo original) e Milho (solo sob plantio direto). O primeiro foi construído com 63 planos reais de dimensão 1316x1240 pixels e um plano virtual entre cada par de planos, gerando-se um objeto com 125 planos, que ocupou 1,8 GB de espaço em disco. O segundo objeto foi gerado com 62 planos reais de mesma dimensão e três planos virtuais entre cada par de planos, gerando-se um objeto com

245 planos, que ocupou 3,6 GB. Na máquina utilizada, a etapa de reconstrução paralela foi em média 2,23 vezes mais rápida do que o algoritmo sequencial. É interessante observar que a geração dos objetos demandam de 1,5 a 3 minutos para serem reconstruídas em algoritmos sequenciais. Os dois objetos gerados são apresentados respectivamente nas Figura 2(a) e Figura 2(b).

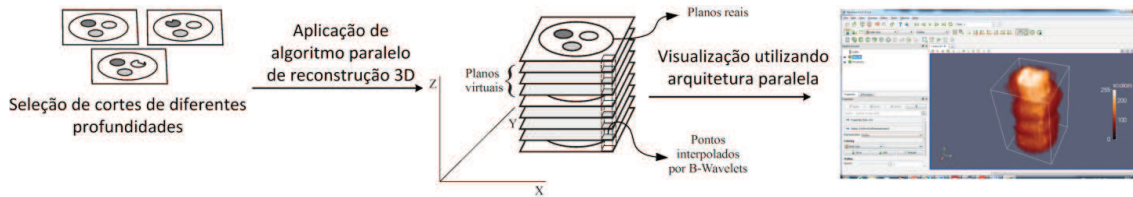
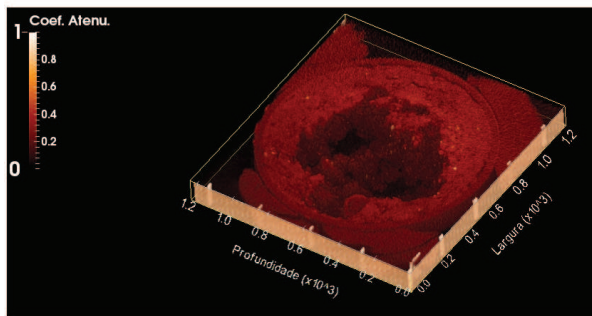
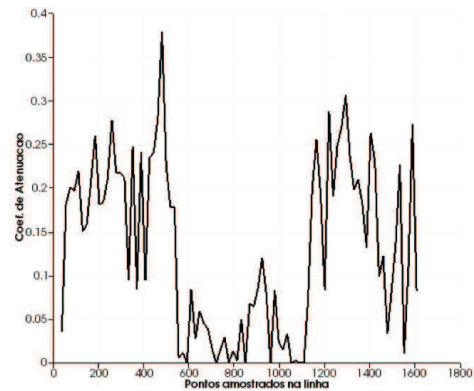


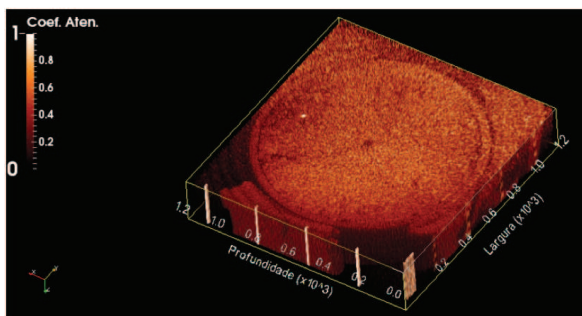
Figura 1. Fluxo de dados partindo das imagens tomográficas de alta resolução para criação e visualização de informações e extração de parâmetros.



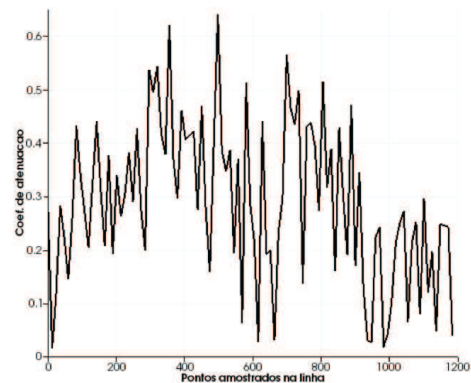
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2. Imagens tridimensionais dos objetos 3D reconstruídos (a) Mata (b) Plantio direto; Gráfico do coeficiente de atenuação do solo no sistema com Mata (c) e Plantio Direto (d).

Ao observar as imagens tridimensionais dos sistemas de manejo de solo 3D reconstruídos, verifica-se visualmente uma maior presença de poros no solo sob mata em relação à área sob Plantio Direto de milho (Figura 2(a) e (b)). Na área sob mata há um predomínio de poros, que pode ser resultante da grande extensão, ramificação e atividade das raízes, assim como da atividade de microrganismos que podem promover a agregação do solo.

A análise do perfil do solo foi extraída utilizando-se a ferramenta *Plot Over Line* a qual permite ao usuário determinar na amostra 3D, que pontos gostaria de extrair medidas. Uma vez determinados o VOI, pode-se construir o gráfico dos coeficientes de atenuação do volume escolhido, como mostram as Figuras 2(c) e 2(d).

4. Conclusões

A técnica utilizada no processamento de imagens tomográficas de alta resolução foi útil para detectar as variações na porosidade do solo entre os sistemas de manejo de solo avaliados, além de possibilitar sua visualização tridimensional, os resultados podem contribuir para o conhecimento de como é formada o sistema da rede de poros do solo e entender como a estrutura do solo pode afetar a retenção de água influenciando a dinâmica da água no solo.

Os algoritmos paralelos agilizam o processo da análise uma vez reduzem o tempo geral necessário. Além disso, eles exploram os potenciais de processamento das arquiteturas *multicore* e placas gráficas.

Agradecimentos

Ao projeto em rede do MP3 densitometria e tomografia em Agricultura de Precisão, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio.

Referências

- AYACHIT, U.; OTHERS. The ParaView Guide: A Parallel Visualization ApplicationKitware Inc., 2012.
- CEDILNIK, A. et al. Remote large data visualization in the paraview frameworkProceedings of the 6th Eurographics conference on Parallel Graphics and Visualization. Anais...2006
- FABIAN, N. et al. The paraview coprocessing library: A scalable, general purpose in situ visualization libraryLarge Data Analysis and Visualization (LDAV), 2011 IEEE Symposium on. Anais...IEEE, 2011
- FRANKEL, F.; REID, R. Big data: Distilling meaning from data. Nature, v. 455, n. 7209, p. 30, 4 set. 2008.
- MICHAEL COX; DAVID ELLSWORTH. Managing Big Data for Scientific VisualizationACM Siggraph. Anais...1997
- MINATEL, E. R. Modelo computacional baseado em técnicas Wavelets para relacionar imagensdigitais obtidas em diferentes escalas e resoluções. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2003.
- PEREIRA, M. F. L. Um modelo de reconstrução tomográfica 3D para amostras agrícolas com filtragem de Wiener em processamento paralelo. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2007.
- PETH, S. et al. Three-dimensional quantification of intra-aggregate pore-space features using synchrotron-radiation-based microtomography. Soil Science Society of America Journal, v. 72, n. 4, p. 897–907, 2008.
- TAINA, I. A.; HECK, R. J.; ELLIOT, T. R. Application of X-ray computed tomography to soil science: A literature review. Canadian Journal of Soil Science, v. 88, n. 1, p. 1–19, 2008.