

Organizadores



Informática Agropecuária



Promoção



Apoio



FUNDEPAG



Criação e produção: Embrapa Informática Agropecuária - ACN
Tiragem: 350 exemplares - 20 de setembro de 2007

SBIAGRD 2007

Anais

6º Congresso Brasileiro de Agroinformática
São Pedro, SP - 8 a 11 de outubro

UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICOS DE SOLOS BASEADA EM COM TOMOGRAFIA DE RAIOS X

MAURÍCIO FERNANDO LIMA PEREIRA¹
PAULO ESTEVÃO CRUVINEL²
LUCIANO DA FONTOURA COSTA³
JOSÉ HIROKI SAITO⁴
ÁLVARO MACEDO⁵

RESUMO: Este trabalho apresenta uma ferramenta para análise de densidade e porosidade de amostras de solo, com base em tomografia de raios X. O sistema utiliza algoritmos paralelos de reconstrução 2D e 3D para acelerar o processo de geração de imagens e objetos tridimensionais. A ferramenta permite ao usuário, através de um ambiente desenvolvido com uso da biblioteca *Visualization Toolkit*(VTK), a visualização de cortes sagitais, coronais e transversais das amostras tridimensionais de solo, bem como recursos para a extração de medidas de densidade do objeto. Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos no estudo de amostras tomográficas de solo que foram obtidas com o tomógrafo de resolução micrométrica da Embrapa Instrumentação Agropecuária. Destas amostras, extraíram-se medidas de porosidade e densidade que demonstraram o potencial da ferramenta na análise das características do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Porosidade, Densidade, Tomografia de Raios X, Visualização tridimensional, Processamento Paralelo.

A TOOL FOR SOIL PHYSICS PARAMETERS ANALYSIS BASED ON X-RAY TOMOGRAPHY

ABSTRACT: This work presents a tool for density and porosity analysis of soil samples based on X ray tomography's essay. The system uses parallel algorithms for 2D and 3D reconstruction in order to speed up the generation of images and objects. The tool allows the user, through an environment developed by using the library VTK, the visual inspection of sagittal, coronal and transversal cuts in three-dimensional reconstructed soil samples. It also permits the extraction of measurements of density of the objects. In this work, results have been obtained related to the study of tomographic soil samples that have been scanned with the micrometric resolution scanner from the Embrapa Agricultural Instrumentation. Measurements of porosity were obtained, and the respective density demonstrated the potential of this tool for analysis of geometrical features of soil images.

KEY-WORDS: Porosity, Density, X-Ray Tomography, Tridimensional visualization, Parallel Processing.

1. INTRODUÇÃO

Avaliando a evolução que vem ocorrendo na área física de solos, percebe-se o crescente interesse da comunidade científica para o desenvolvimento e aplicação de técnicas não invasivas para o estudo de características do solo. Dentre as técnicas utilizadas, destaca-se a tomografia computadorizada de raios X, que se sobressai em relação às demais técnicas aplicadas na física de solos devido à sua precisão na extração de atributos físicos, como densidade e umidade, e pela característica de possibilitar o exame de amostras de solo de forma não destrutiva (TEIXEIRA *et al.* 2005) (AYLMORE; HAINSWORTH, 1983) (CRESTANA, 1985). Outra vanta-

¹ Doutor em Física Aplicada, IFSC-USP, E-mail: mauricioflp@if.sc.usp.br

² Doutor em Engenharia Elétrica, Embrapa Instrumentação Agropecuária, E-mail: cruvinel@cnpdia.embrapa.br

³ Doutor em Engenharia Elétrica, IFSC-USP, E-mail: luciano@if.sc.usp.br

⁴ Doutor em Engenharia Elétrica, DC-UFSCar, E-mail: saito@dc.ufscar.br

⁵ Doutor em Engenharia Ambiental, Embrapa Instrumentação Agropecuária, E-mail: alvaro@cnpdia.embrapa.br

gem oferecida pela tomografia computadorizada, em relação às demais, é a possibilidade de fazer-se uso, após a reconstrução, das ferramentas do processamento de imagens para auxiliar a investigação dos fenômenos físicos que ocorrem no solo, tais como movimentação de água e soluto, formação de estruturas de poros e texturas e a distribuição de raízes. Para avaliar as características do solo, um conjunto de tomógrafos dedicados para aplicação em física de solos foi desenvolvido nos últimos 20 anos pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, em parceria com a Unicamp e a USP. Dentre os equipamentos desenvolvidos, destacam-se o minitomógrafo de raios X e γ (CRUVINEL *et al.* 1990), o minitomógrafo de campo (NAIME *et al.*, 1997), o tomógrafo de resolução micrométrica (MACEDO *et al.*, 2002), o tomógrafo de varredura em leque (NAIME, 2001) e mais recentemente, um tomógrafo que explora o efeito do espalhamento Compton e que permite a extração de medidas com menor degradação do ambiente de estudo (CRUVINEL; BALOGUN, 2006). Adicionalmente, melhorias têm realizadas como aprimoramento na interface de visualização dos objetos reconstruídos, acompanhando o desenvolvimento das áreas de computação gráfica (PEREIRA *et al.*, 2006) (ALVES *et al.*, 2006). Para análise tomográfica em solos, a amostragem pode ser conduzida de duas maneiras distintas. A primeira, que trata da análise laboratorial, é feita com base na coleta das amostras no campo, com uso de cilindros metálicos próprios, os quais são posteriormente envolvidos em parafina, para evitar a perda de umidade, a priori de seu encaminhamento para análise. A segunda, que trata de análise direta no campo com o uso de tomógrafos portáteis, é feita através da abertura de trincheiras em torno do local de análise. Quanto à profundidade possível para análise, a mesma tem sido limitada aos horizontes A e B dos solos, uma vez que são esses os horizontes de interesse para as práticas agrícolas. Neste trabalho apresenta-se um sistema para extração de medidas e visualização de imagens tomográficas que se baseia na biblioteca VTK (VTK, 2006).

2. OBJETIVOS

A medida e caracterização dos parâmetros físicos do solo tem sido objeto de estudo, visto que adicionalmente à sua gênese, necessita-se conhecer a sua textura, densidade e teor de umidade para as recomendações no processo de plantio. Este trabalho apresenta uma ferramenta para análise da porosidade e teor de umidade de amostras de solos ensaiadas com tomografia de raios X.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na agricultura moderna o tráfego de máquinas com peso excessivo por eixo e que trafegam quando o solo está muito úmido contribui para a compactação do solo. Esta compactação promove uma alteração estrutural e reorganização das partículas do solo, causando decréscimo da disponibilidade de água e nutrientes e da difusão de gases no solo. Também neste caso, ocorre o aumento da densidade e o decréscimo do volume de poros de maior diâmetro. Os poros grandes têm papel importante na penetração de raízes, gases e água no volume do solo. Na planta, a compactação do solo reduz o crescimento radicular por impedimento mecânico, aeração deficiente e menor taxa de absorção de água e nutrientes, causando decréscimos significativos de produtividade (BEUTLER *et al.*, 2006). A tomografia utiliza um feixe colimado de radiação e, através de vários feixes colimados paralelos, pode-se definir um plano. De cada reta de propagação dos feixes que partem da fonte para o detector, obtêm-se valores que formam uma projeção. Os dados necessários para a reconstrução são na realidade um conjunto de integrais de linha ao longo dos raios que atravessam o objeto sob análise. As varreduras devem ser realizadas para n valores de θ dentro do intervalo $0 \leq \theta < 180$. Com isso, o que se obtém após a varredura completa é a transformada de Radon

do objeto. Um dos principais algoritmos de reconstrução é o algoritmo da retroprojeção filtrada, o qual é um dos mais utilizados em aplicações que usam fontes não difrativas. O algoritmo utiliza as projeções P_θ , obtidas pelo conjunto fonte-detector em K ângulos θ , as quais são filtradas para redução de artefatos. Esta filtragem é realizada em frequência, através da implementação da Eq. (1).

$$Q_\theta(n\tau) = \tau \times IFFT\{FFT[P_\theta(n\tau)] \times FFT[h(n\tau)]\} \quad (1)$$

onde FFT e $IFFT$ representam as Transformadas Rápidas de Fourier e sua inversa, respectivamente, e a função $h(n\tau)$, conhecida como Ram-Lak, é responsável por remover as frequências indesejadas do sinal das projeções. Após a filtragem das projeções, cada *pixel* da imagem reconstruída será estimado através da aplicação da Eq. 2, a qual constitui o processo de retroprojeção

$$\hat{f}(x, y) = \frac{\pi}{K} \sum_{i=1}^K Q_{\theta_i}(x \cos \theta_i + y \sin \theta_i) \quad (2)$$

Algumas das idéias que fundamentam o algoritmo de retroprojeção filtrada podem ser melhor estudadas em (KAK; SLANEY; 1999) tornando mais clara a forma como o algoritmo atua na reconstrução tomográfica do objeto. Para reconstrução 3D utiliza-se um modelo, o qual envolve filtragem não linear *a priori* de Wiener, reconstrução 2D paralela com retroprojeção filtrada, empilhamento de planos reconstruídos e interpolação de planos virtuais, tal qual ilustra a Figura 1. com base em um algoritmo paralelo de B-Spline-Wavelet.

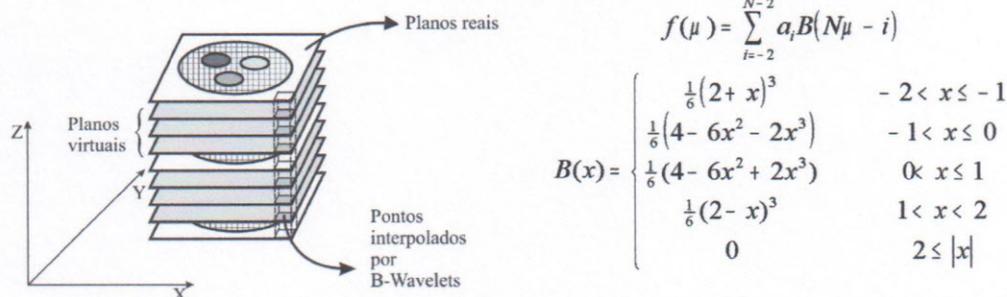


Figura 1 - Ilustração do empilhamento de planos reais e interpolação de planos virtuais através do uso de B-Spline-Wavelets. As funções $f(\mu)$ e $B(x)$ são utilizadas no cálculo dos pontos interpolados.

Na figura 1 apresentam-se as funções $f(\mu)$ e de Blending $B(x)$, as quais são responsáveis pelo cálculo dos pontos interpolados baseando-se nos pontos reais, representados por a_i . Finalmente, o modelo de reconstrução 3D também inclui a visualização baseada em uso de VTK.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o potencial da ferramenta desenvolvida na contagem de poros e na análise de densidade, realizaram-se estudos em amostras de solo, com base nos seguintes parâmetros tomográficos:

Translação total	Passo linear	Rotação total	Passo angular	Tempo de contagem	Energia
15,000 mm	0,083 mm	179°	1,000°	4s	58,5 keV

Assim, a partir das imagens reconstruídas, a exemplo da mostrada na figura 2(a), aplicou-se o algoritmo de detecção e contagem de poros na imagem reconstruída, a qual tem os elementos reconhecidos em círculos amarelos na imagem apresentada na figura 2(b). Dado que, de antemão, os parâmetros de aquisição das projeções são conhecidos, pode-se determinar a medida em milímetros do *pixel* na imagem reconstruída e conseqüentemente é possível estabelecer-se os diâmetros dos poros reconhecidos. A partir dos resultados obtidos, gerou-se

um histograma da distribuição dos poros detectados em função de seus diâmetros, conforme é apresentado na Figura 2(c).

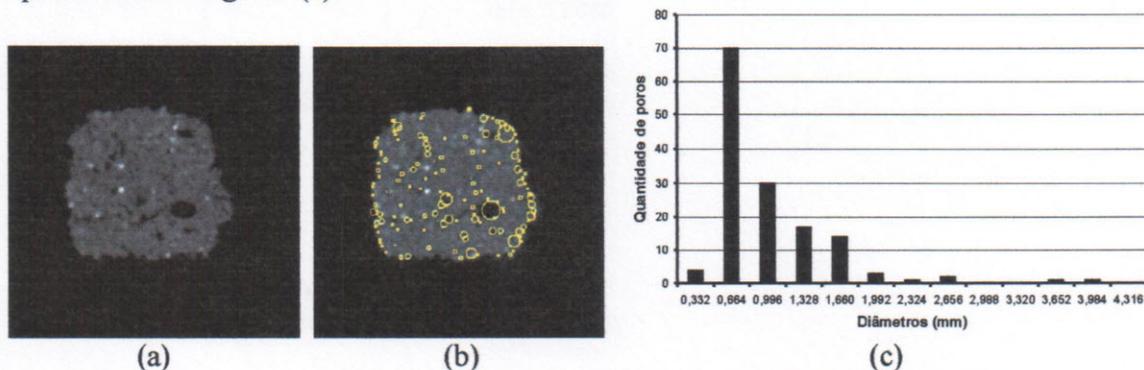


Figura 2 - Detecção e contagem de poros de uma imagem reconstruída de torrão de solo (a)Imagem Original; (b)Imagem com poros detectados; (c)Distribuição de diâmetros de poros.

Utilizando-se a biblioteca VTK, desenvolveu-se na ferramenta, um ambiente interativo onde o usuário tem a possibilidade de realizar rotações e translações no objeto reconstruído, analisar faixas de coeficientes de atenuação de seu interesse, bem como, visualizar planos sagitais, coronais e transversais. Os cortes podem ser gravados de forma que o usuário pode estabelecer medidas de porosidade em todos os planos interpolados. Na ferramenta, a largura e a profundidade dos *voxels* no objeto reconstruído estão relacionadas aos parâmetros da varredura tomográfica. A altura do *voxel* é determinada pela razão entre a distância entre os planos reais e a quantidade de planos virtuais inseridos. Na Figura 3, apresenta-se um corte sagital de uma das amostras de solo, onde é possível observar um cursor realizando a extração de uma medida do coeficiente de atenuação em um determinado *voxel*, o qual segundo calibração pré-estabelecida viabiliza a obtenção do valor de densidade da amostra, ou da umidade da amostra, caso o ensaio tomográfico seja feito em dupla energia. No exemplo apresentado na Figura 3 o valor em pseudo-cor equivale a um coeficiente de atenuação, o que é obtido a partir da calibração do método a partir de *phantoms* pré-estabelecidos.

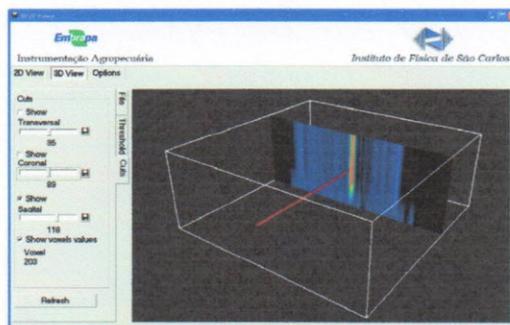


Figura 3 - Janelas da ferramenta de visualização tridimensional de uma análise de coeficientes de atenuação da amostra de solo em corte pré-selecionado, com $\mu(35,89,118)=0,492 \text{ cm}^{-1}$.

5. CONCLUSÕES

Foi apresentada uma ferramenta que viabiliza a extração de informações de parâmetros físicos de amostras de solo ensaiadas por tomografia de raios X. Sua aplicação contribui para o estabelecimento de um método de análise de solo em ambiente computacional que apresenta interatividade, acuracidade para medida de poros e capacidade para a medida de densidade de solos em cortes sagital, coronal e transversal.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq (Processos Nº 300.704/82-8, Nº 141.369/2002-7 e Nº 301303/06-1), à FAPESP (Nº 05/00587-5) e à Embrapa pelo apoio financeiro ao projeto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, G. M.; GOMES, H. A.; CRUVINEL, P. E. Método baseado no uso da transformada de Hough para contagem automatizada de unidades formadoras de colônias. In: *IX Encontro de Modelagem Computacional*. Belo Horizonte: Anais do IX Encontro de Modelagem Computacional, 2006. p. 1-9.
- AYLMORE, L.; HAINSWORTH, J. M. The use of the computed-assisted tomography to determine spatial distribution of soil water content. *Australian Journal Soil Res*, v. 21, n. 4, p. 435-443, 1983.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em latossolo vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 787-794, 2006.
- CRESTANA, S. *A Tomografia Computadorizada com um novo método para estudos da física da água no solo*. 140 p. Tese (Doutorado) — Instituto de Física de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1985.
- CRUVINEL, P. E.; BALOGUN, F. A. Compton scattering tomography for agricultural measurements. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, v. 26, n. 1, p. 151-160, Jan-April 2006. Disponível em: <http://www.sbea.org.br/rea/v26_n1/index.html>
- CRUVINEL, P. E.; E.; CESAREO, R.; CRESTANA, S.; MASCARENHAS, S. X-and γ -rays computerized minitomograph scanner for soil science. *IEEE - Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 39, n. 5, p. 745-750, 1990. IEEE.
- KAK, A. C.; SLANEY, M. *Principles of Computerized Tomographic Imaging*. New York: IEEE Press, 1999.
- MACEDO, Á.; VAZ, C.; PEREIRA, J.; NAIME, J.; CRUVINEL, P.; CRESTANA, S. Wood density determination by x-and gamma-ray tomography. *International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, v. 56, p. 535-540, 2002.
- NAIME, J. M.; CRUVINEL, P. E.; CRESTANA, S.; CONCIANI, W.; SOARES, M. M. *Portable cat scanner applied to collapsible soil studies*. In: _____. 1. ed. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1997. (R. Gazzinelli; R. L. Moreira; W. N. Rodrigues. (Org.), v. 1), p. 327-331.
- NAIME, J. M. *Um novo método para estudos dinâmicos, in situ, da infiltração da água na região não-saturada do solo*. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2001.
- PEREIRA, M. F. L.; CRUVINEL, P. E.; COSTA, L. F. Um método para paralelização de algoritmos de reconstrução tomográfica, aplicado em amostras agrícolas, com uso de processadores dsp. In: *Anais do IX Encontro de Modelagem Computacional*. Belo Horizonte, MG: IX Encontro de Modelagem Computacional., 2006. p. 1-10.
- TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. **Desempenho do tensiômetro, tdr e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 161-168, 2005.
- VTK. *Visualization Toolkit*. 2006. Disponível em: <<http://www.vtk.org/>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2006.