

Caracterização Física de Caminhos Preferenciais da Água em Solos Agrícolas em Ambiente de Realidade Virtual

Introdução

A infiltração é o nome dado ao processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. É um processo de importância prática, pois afeta diretamente o escoamento superficial. Após a passagem da água pela superfície do solo, ou seja, cessada a infiltração, a camada superior atinge um elevado teor de umidade, enquanto que as camadas inferiores apresentam-se ainda com teores menores de umidade. Há então, uma tendência de um movimento descendente da água provocando um molhamento das camadas inferiores, dando origem ao fenômeno que recebe o nome de redistribuição.

A redistribuição ocorre com base em caminhos preferenciais. Originalmente, a modelagem tradicional considera o movimento da água em um solo não-saturado descrito pela equação de Darcy, originalmente deduzida para solos saturados e representada pela equação (DARCY, 1856):

$$q = K_0 \frac{H}{z}$$

onde q representa a densidade de fluxo (mm.h^{-1}), K_0 representa a condutividade hidráulica do solo saturado (mm.h^{-1}), H é o potencial total da água no solo (mm) e z a distância entre pontos considerados (mm).

Denomina-se de gradiente hidráulico a razão entre a taxa de variação do potencial da água no solo, ao longo da distância por ela percorrida, dado pela razão entre as derivadas parciais do potencial total de água no solo e da distancia entre pontos considerados. O gradiente hidráulico representa a força responsável pelo escoamento da água no solo. O sinal negativo na equação de Darcy indica que o escoamento se estabelece do maior para o menor potencial da água no solo.

Na equação de Darcy para solos saturados, evidencia-se que as condições imprescindíveis para que se estabeleça o movimento da água no solo são a existência de uma diferença no potencial entre os pontos considerados e um meio poroso condutivo, isto é, a condutividade hidráulica do solo não pode ser nula. Se ambas as condições não forem satisfeitas, o escoamento da água no solo não ocorrerá.

A relação linear entre a densidade de fluxo e o gradiente hidráulico só é verificada em condições de escoamento laminar, tornando a equação de Darcy válida somente sob esta condição. Outra limitação para o emprego desta equação refere-se à velocidade de escoamento muito baixa, ou seja, um gradiente hidráulico muito pequeno. A aplicação da equação de Darcy, para condições de solos não-saturados, exige que seja considerada também a variação da condutividade hidráulica com o teor de umidade do solo, tendo esta como limite superior o próprio valor da condutividade hidráulica do solo saturado. Nesse caso, o potencial da água no solo tem dois componentes, o gravitacional e o matricial, sendo representado pela equação:

$$H = Z + \psi$$

Onde ψ representa o potencial matricial da água no solo (mm) e Z representa o potencial gravitacional da água no solo (mm).

Nessas condições, a equação de Darcy torna-se:

$$q = K(\theta) \frac{(-Z + \psi)}{z}$$

onde $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo para um teor de umidade θ em (mm.h^{-1}).

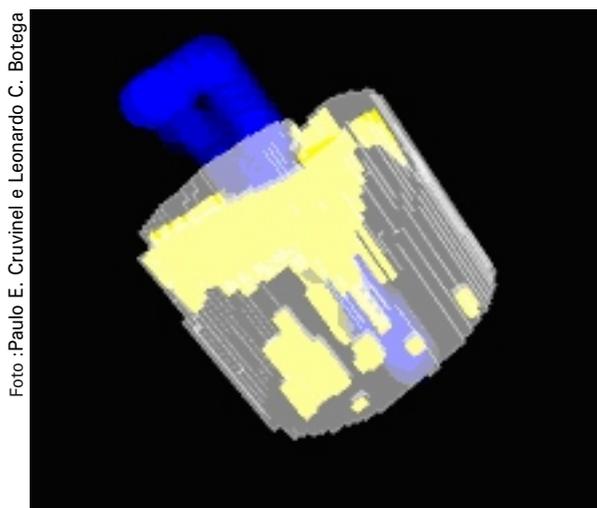


Foto: Paulo E. Cruvinel e Leonardo C. Botega

Autores

Paulo Estevão Cruvinel
Engenharia, Dr., Pesquisador,
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970, São Carlos, SP,
cruvinel@cnpdia.embrapa.br

Leonardo Castro Botega
Ciência da Computação, MSc.,
Universidade Federal de São Carlos,
Rod. Washington Luis, Km 235,
CEP 13565-905, São Carlos, SP,
leonardo_botega@dc.ufscar.br

A taxa de infiltração da água no solo é alta no início do processo de infiltração, particularmente quando o solo está inicialmente muito seco, mas tende a decrescer com o tempo, aproximando-se assintoticamente de um valor constante, denominado taxa de infiltração estável. Este comportamento pode ser compreendido a partir da aplicação da equação de Darcy às condições de escoamento, em meio não-saturado.

Na literatura são encontrados diferentes modelos que buscam avaliar a partir dos fundamentos apresentados pela equação de Darcy e a partir da posição da água no solo a infiltração e os caminhos preferenciais em agregados de solos (COATS e SMITH, 1964; PHILIP, 1975; BOUMA, 1981; BEVEN e GERMANN, 1982; GERMANN, 1985; FLURY et al., 1994; WANG et al., 1998; RITSEMA et al., 1998; CRESTANA e POSADAS, 1998; KÖHNEA et al., 2009).

De acordo com a SSSA (*Soil Science Society of America*), um agregado de solo é definido como um grupo de partículas primárias unidas mais fortemente que as partículas que o circundam (SSSA, 1997). Agregados de solos têm sido estudados em termos de sua distribuição de tamanhos na matriz do solo, estabilidade, densidade e resistência (DEXTER et al., 1984; AMÉZKETA, 1999). Entretanto, há pouca pesquisa sobre as propriedades hidráulicas dos solos em nível de agregados (LEEDS-HARRISON e YOUNGS, 1997) e também pouca investigação no sentido de relacionar informações a respeito da estrutura do solo ou do agregado com suas propriedades hidráulicas.

Por outro lado, a aplicação da tomografia computadorizada (TC) de raios X em solos (AYLMORE e HAINSWORTH, 1983; CRESTANA, 1985; PEDROTTI et al., 2003; CRUVINEL, 1987; NAIME, 1994; NAIME, 2001; MACEDO, 1997; MACEDO et al., 2002) viabilizou de forma não invasiva o estudo da água e da estrutura de agregados e sua distribuição, sobressaindo em relação às técnicas gravimétrica e de sonda de nêutrons (TEIXEIRA et al., 2005; FERREIRA et al., 1998).

Adicionalmente, aliado ao desenvolvimento de scanners tomográficos, novos métodos de reconstrução tridimensional foram desenvolvidos, principalmente devido à insuficiência de informações dos modelos bidimensionais para um diagnóstico preciso (ELBAKRI e FESSLER, 2002; PAN, 2008; JANG-IL et al., 2009; JEONG et al., 2009), em estudos que necessitem de informações volumétricas. Tais métodos sugerem a composição de superfícies e volumes dos modelos, contribuindo com o aumento da precisão em processos de análise e extração de informação, incluindo as ferramentas de visualização e as técnicas de Realidade Virtual (RV), para auxiliar a investigação não invasiva, através de processos imersivos e interativos (BOTEGA e CRUVINEL, 2007a; BOTEGA e CRUVINEL, 2007b; BOTEGA, 2008)

A RV nasceu nos anos 80 com iniciativas creditadas Bolt e Lanier, sob a necessidade de diferenciar simulações computacionais tradicionais dos mundos sintéticos que começavam a despontar (BOLT, 1980; LANIER, 1984).

Acadêmicos, desenvolvedores de software e pesquisadores buscam definir a RV baseados em suas próprias experiências, tornando-a difundida. Tecnicamente, o termo relata uma experiência imersiva e interativa baseada em imagens geradas por computadores, renderizadas ou não em tempo real (PIMENTEL e TEIXEIRA, 1995).

Sob a perspectiva tecnológica, o objetivo principal da RV é fazer o participante sentir sua presença no mundo virtual (JACOBSON, 1994). Para criar esta sensação, sistemas de RV integram sofisticados dispositivos tais como luvas digitais, vídeo-capacetes, cavernas digitais, mesas digitais e outros.

O presente trabalho apresenta um ambiente sintético baseado em RV, que possibilita a visualização, análise e

reconhecimento de caminhos preferenciais da água em amostras de solo agrícola utilizando imagens tomográficas de raios X, um algoritmo de reconstrução tridimensional de imagens tomográficas de raios X, ferramentas computacionais gráficas e dispositivos não convencionais de RV.

Materiais e Métodos

A estruturação conceitual e metodológica aplicada no desenvolvimento do sistema de Realidade Virtual (RV) dedicado à inspeção de amostras de solos agrícolas, foi organizado tomando por base o imageamento com tomografia de raios X e classes para *Reconstrução, Loader, Transformações, Extração de Atributos Polígonos, Filtro, Transparência, Iluminação, Colorização, Colisão Convencional, Colisão Não Convencional, Manipulação Convencional do Modelo, Manipulação Não Convencional do Modelo, Manipulação Convencional de Cena, Manipulação Não Convencional de Cena, Quatérnios, Visualização* e Ambiente de RV.

Os recursos computacionais foram implementados utilizando a linguagem de programação Java e a API Java3D (SUN MICROSYSTEMS, 2008). As funcionalidades das principais classes são apresentadas na Figura 1.

Para a obtenção dos dados tomográficos, foi utilizado o minitomógrafo de raios X da Embrapa Instrumentação Agropecuária (CRUVINEL et al., 1990) tomando-se por base seu ajuste para operação com resolução espacial igual a 1 mm e energia de 59,9 keV, bem como janela de 10 segundos de exposição por amostra das projeções.

Para a reconstrução bidimensional, foi utilizado o algoritmo de retroprojeção filtrada, conjuntamente à uma filtragem com janelas de Hamming, implementada sob transformada rápida de Fourier 1-D, utilizando-se a linguagem C + +. Posteriormente, com as imagens reconstruídas, uma técnica de filtragem 2-D adaptativa foi utilizada. Tal técnica, denominada transformada wavelet Doubechies, filtrou determinadas áreas das imagens preservando bordas e detalhes das mesmas, através de uma janela de 76 coeficientes.

Para a reconstrução tridimensional de superfícies e volume foi adotado o algoritmo de sobreposição de fatias bidimensionais (PEREIRA, 2007). Tal técnica consiste em montar os planos gerados pelas funções $f(x, y, z)$ para $i = 0, \dots, n-1$, onde n é o número de planos reconstruídos. Conseqüentemente, dados específicos das fatias bidimensionais puderam ser interpolados de forma a reconstituir os espaços deixados entre estes planos sobrepostos, reconstruídos bidimensionalmente. O algoritmo de interpolação por *B-Wavelets* (ou *B-splines*) viabiliza a determinação dos valores dos voxels intermediários entre uma seqüência de planos conhecidos.

Para descrever a interpolação faz-se necessário considerar uma $f(u)$ de aproximação spline de ordem m dada por:

$$f = \sum_{i=2}^{N-2} a_i B_N \quad i$$

onde N é o número de pontos conhecidos.

De forma a aperfeiçoar os cálculos, implementa-se a função B_x também chamada de função de *blending*, a qual tem a forma:

$$B(x) = \begin{cases} \frac{1}{6}(2-x)^3 & 2-x < 1 \\ \frac{1}{6}(4-6x^2+2x^3) & 1-x < 0 \\ \frac{1}{6}(4-6x^2+2x^3) & 0-x < 1 \\ \frac{1}{6}(2-x)^3 & 1-x < 2 \\ 0 & 2 < |x| \end{cases}$$

A implementação da somatória apresentada na equação (1) fornece os valores intermediários da aproximação.

Para a implementação da interpolação, ao invés da simples aproximação, usa-se agora uma função muito próxima da função de aproximação, a qual é dada por:

$$f = \sum_{i=1}^{N-2} A_i N_m N_i$$

Assim, usa-se a seqüência de pontos A_i no lugar de a_i . Essa seqüência é dada pela multiplicação das matrizes $A M^{-1} a$, onde A é o vetor (seqüência) a ser encontrado, v é o conjunto de pontos conhecidos com os pontos adicionados (fantasmas) e M é uma matriz $N + 3 \times N + 3$ dada por:

$$M = \begin{bmatrix} \frac{N}{2} & 0 & \frac{N}{2} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \frac{N}{2} & 0 & \frac{N}{2} \end{bmatrix}$$

Adicionalmente, o modelo tridimensional é convertido para o formato *Wavefront File Format* (.obj), utilizando-se a classe *vtkOBJExporter* presente no pacote *vtkOBJExporter.h* do *Visualization Toolkit*. A escolha desse formato justifica-se pelo alto desempenho e flexibilidade ao importar tais modelos para ambientes virtuais, onde todos seus atributos podem ser customizados por API's gráficas.

A classe de *Extração de Atributos* trata da obtenção de dados de *voxels* da amostra, utilizando como entrada dispositivos convencionais, como o mouse, e não convencionais como uma luva de dados *P5Glove*, fornecendo aos usuários informação sobre um ponto específico da representação tridimensional. Por outro lado, deve-se instanciar os objetos das classes *PickCanvas* e *PickResult*, os quais são responsáveis por ativar a extração de dados de um objeto *Canvas3D* e por armazenar tais dados em vetores de resultados de eventos, respectivamente. Desta maneira, utilizando-se dessas instâncias, pode-se decidir pela região de interesse e extrair os atributos desejados, onde a coordenada *z* é estabilizada no display, permitindo a seleção através de uma *viewport* bidimensional de maneira intuitiva.

Assim, os dados disponíveis para operações de *picking* sob instâncias de *Shape3D* e seus respectivos métodos são: as fronteiras, com *getBounds*; os grafos de cena, com *getLocale* e *numBranchGraph*; as geometrias, com *getGeometry*; as *ColoringAttributes*, com *getAppearance.getColoringAttributes*; o material sob os formatos *HSL* e *RGB*, a transparência e os polígonos considerando:

```
getAppearance.getMaterial;
GetAppearance.getTransparencyAttributes.getTransparen
cy; getAppearance.getPolygonAttributes.getPolygonMod.
```

Em seguida, um novo objeto é instanciado, pertencente à

classe *PickIntersection*, também do pacote *com.sun.j3d.utils.picking*, responsável por abrigar o ponto de colisão entre uma entidade/nodo e o cursor bidimensional. Desta maneira, esta instância armazena em seu conteúdo o produto da interseção entre uma entidade de *PickResult* com o ponto escolhido do *Canvas3D*, passado ao método *getClosestIntersection* como parâmetro. Assim, a instância da classe *PickIntersection* pode fornecer mediante seus eventos: a distância entre o ponto e o observador, com o método *getDistance*; as coordenadas do vértice mais próximo, com o método *getClosestVertexCoordinates*; as coordenadas do ponto, com o método *getCoordinates*; a reta normal do ponto, com o método *getNormal*; e as matrizes de transformação com o método *getMatrix*.

Alem das instancias das classes *PickIntersection* e de *PickResult*, a classe *Extração de Atributos* conta com a obtenção do coeficiente de atenuação linear (cm^{-1}). Neste contexto, essa medida é obtida através do nível dos tons de cinza, representada aqui pela luminância, índice "L" do padrão HSL, obtido pelo método *getMaterial*.

A classe de *Manipulação não Convencional de Cena* configura-se como uma das grandes responsáveis pela interatividade e imersão do usuário com o Ambiente de Realidade Virtual, uma vez que permite que o utilizador navegue pela cena sintética em todas as direções, se aproxime e adentre as estruturas reconstruídas utilizando-se da luva de dados *P5Glove*. Para a realização de tais eventos, as classes de manipulação, tanto de cena quanto de modelo, baseiam-se em outra classe auxiliar denominada *FPSGlove* presente no pacote *com.essentialreality*, fornecido pelo fabricante do dispositivo (KENNER, 2007). A classe *FPSGlove* é a responsável por abrigar todos os parâmetros referentes ao dispositivo não convencional, no que diz respeito ao posicionamento, orientação e dobra dos dedos, tornando possível detectar a proximidade e a inclinação no mesmo, e assim disparar uma série de eventos customizáveis.

Em seguida, são declarados os métodos responsáveis por detectar a posição da luva no ambiente real. São eles o *getXPosition*, *getYPosition* e *getZPosition*, os quais mapeiam as *triggers* antes citadas para disparar um tipo de evento, ou seja, monitora os valores recebidos pela luva através de instâncias da classe *P5State*, classe responsável por determinar o estado atual da luva. Assim, por intermédio do método *filterPos* de *P5State*, a exata posição do dispositivo é obtida e então atribuída aos métodos para checar se os limites foram ultrapassados.

De forma análoga aos métodos de detecção de posicionamento, ainda na classe *FPSGlove*, são descritos os métodos *getYaw*, *getPitch* e *getRoll*, os quais respondem por detectar a inclinação do dispositivo nos eixos Y, X e Z, determinando se os limites estabelecidos pelas flags foram atingidos.

Depois de implementados os monitores e triggers de eventos com a classe auxiliar, a *Manipulação não Convencional de Cena* deve agora ter seus eventos descritos em seu escopo. Para tal, a classe deve primeiramente ser estendida da classe *ViewingPlatform*, ou seja, ter suas instâncias interpretadas como eventos sobre a cena virtual. Em seguida, dois parâmetros específicos são incluídos, ou seja, o passo de translação e o passo de rotação, responsáveis por definirem o quanto os modelos virtuais serão deslocados ou inclinados a cada movimento do dispositivo no mundo real, depois de reconhecidos pela classe *FPSGlove*.

Finalizado o processo, a instancia da classe de *Manipulação não Convencional de Cena* devem ser atrelada ao objeto da classe *ViewingPlatform* do atual objeto *Canvas3D*, para que todos os movimentos afetem a cena e não o modelo tridimensional, através do método *setViewingPlatform*. A implementação de *Manipulação Não Convencional de Modelo* é a classe responsável por realizar a movimentação das representações tridimensionais através de movimentos reais da luva de

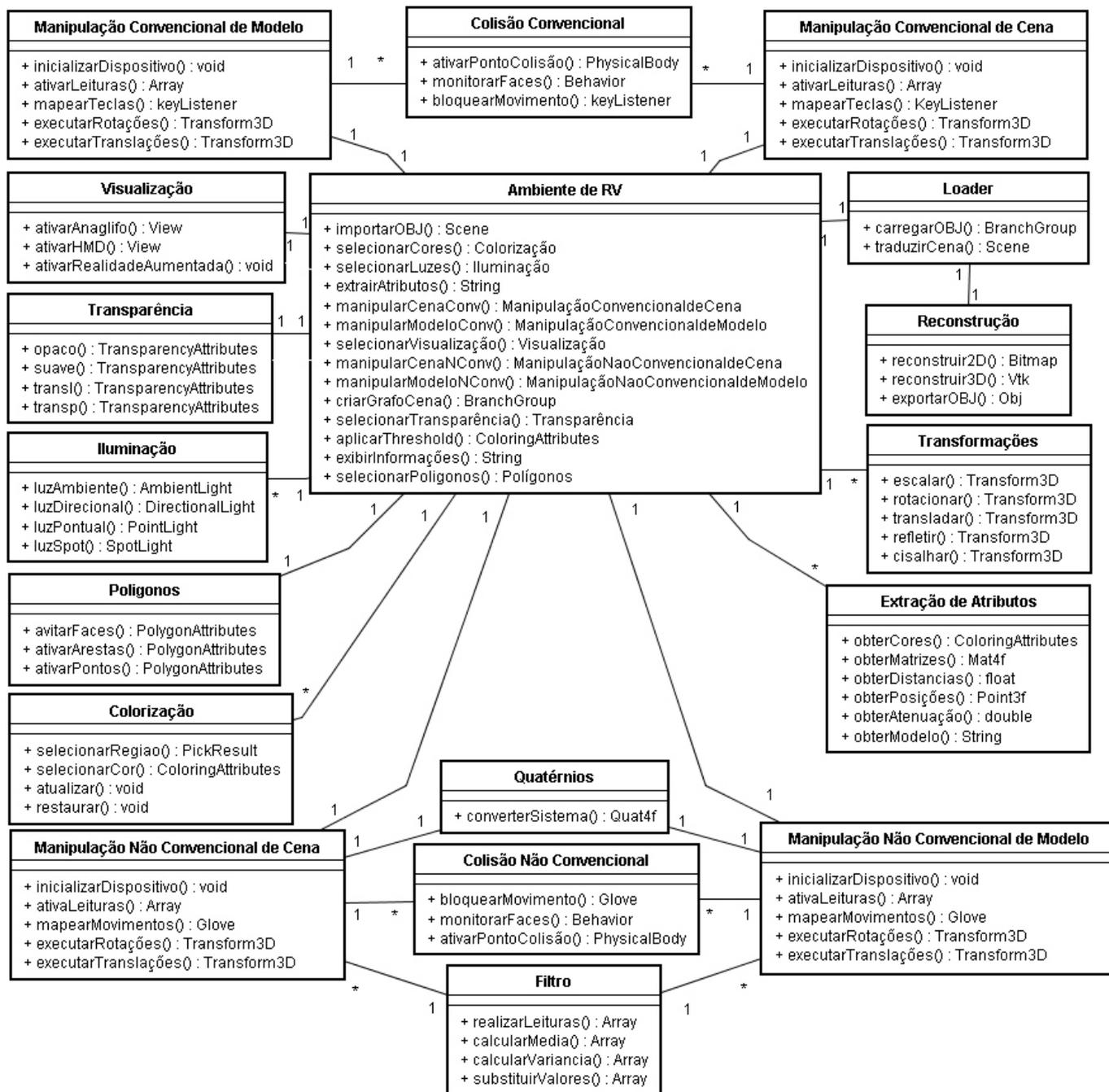


Fig. 1. Diagrama de classes do ambiente de Realidade Virtual para análise de solos agrícolas

dados *P5Glove*, onde o usuário pode alterar o posicionamento e orientação dos modelos em tempo real sob todas as direções e ângulos, contribuindo diretamente para a interatividade do ambiente virtual, em seis graus de liberdade.

Após atribuir os métodos *getXPosition*, *getYPosition*, *getZPosition* para obter o posicionamento, e os métodos *getYaw*, *getPitch* e *getRoll*, para obter as orientações, sob instâncias da classe *FPSGlove*, é chamado um novo método, denominado *rotateQuaternion*, responsável por converter rotações realizadas sob ângulos de Euler em coordenadas de Quatérnios, estabelecendo rotações com números complexos e eixos imaginários, a fim de contribuir com a precisão de movimentos.

O produto da classe de *Manipulação não Convencional de Modelo* é encapsulado sob a forma de um objeto *BranchGroup* e atribuído ao grupo de transformação *TransformGroup* que rege os movimentos da

representação tridimensional, de forma distinta à classe anterior, fazendo com que toda a detecção de movimento e a efetiva mudança de posicionamento e orientação das entidades surta efeito sobre os atuais modelos no objeto *Canvas3D*.

A classe denominada *Colisão Não Convencional* trata da implementação de um algoritmo de detecção de colisão agregado à classe de *Manipulação Não Convencional de Cena*, com seu funcionamento restrito a eventos que utilizem dispositivos não convencionais de entrada de dados, especificamente a luva de dados *P5Glove*. Desta maneira, por meio de tal algoritmo, os usuários são também impedidos de atravessar as faces das representações tridimensionais durante o processo de navegação na cena sintética, permitindo apenas a transposição das câmeras por dentro os espaços vazios entre tais faces, simulando processos físicos reais. A Figura 2 apresenta um pseudocódigo que ilustra a implementação dos métodos da classe de *Colisão Não Convencional*.

A classe de *Quatérnios* implementa um algoritmo de conversão para que o sistema deixe de utilizar apenas rotações sobre o eixos x, y e z passando a realizar orientações sobre eixos intermediários, definidos por um vetor que passa pela origem e atinge um ponto no espaço, o qual é representado por uma coordenada específica do dispositivo real, como por exemplo as coordenadas cartesianas (x, y, z) de um dos oito LED's da luva (KENNER, 2007; BIASI e GATTASS, 2007; DORST et al., 2007; STROUD e BOOTH, 2005; HARDY, 1987; O'CONNOR e ROBERTSON, 1998). Para realizar tal operação, a técnica utiliza-se de bases imaginárias e números complexos, fornecendo assim uma alternativa de parâmetro para o método *setRotation* da classe *Transform3D*, o qual permite a utilização de um quatérnio como argumento. .

O experimento de validação do método foi realizado no Laboratório de Técnicas Nucleares Dr. Silvio Crestana localizado na Embrapa Instrumentação Agropecuária, localizada na Rua XV de Novembro 1452, na cidade de São Carlos, considerando um conjunto de amostras de solo organizadas em colunas acrílicas com altura de 100 mm e raio de 146 mm contendo porções de latosolo vermelho, submetidos a um processo de aquisição tomográfico sob energia de 59.9 keV de uma fonte de, 150 mm de translação total, 1 mm de passo linear, 180° de rotação total, 1,2° de passo angular e 4 segundos de tempo de contagem por amostra de projeção.

A imagem resultante de uma tomografia computadorizada de raios X indica a quantidade de radiação absorvida por cada porção da secção analisada, traduzindo essas variações numa escala de cinza ou pseudo-cores. Como a capacidade de absorção de raios X de um material está intimamente relacionada com a sua densidade, zonas com diferentes densidades terão diferentes intensidades de cinza ou pseudo-cores, permitindo distingui-las claramente. A principal característica da técnica de tomografia computadorizada de raios X é a de permitir o estudo de secções transversais de amostras de forma não invasiva, rotações sobre o eixos x, y e z passando a realizar orientações sobre eixos intermediários, definidos por um vetor que passa pela origem e atinge um ponto no espaço, o qual é representado por uma coordenada específica do dispositivo real, como por exemplo as coordenadas cartesianas (x, y, z) de um dos oito LED's da luva (KENNER, 2007; BIASI e GATTASS, 2007; DORST et al., 2007; STROUD e BOOTH, 2005; HARDY, 1987; O'CONNOR e ROBERTSON, 1998). Para realizar tal operação, a técnica utiliza-se de bases imaginárias e números complexos, fornecendo assim uma alternativa de parâmetro para o método *setRotation* da classe *Transform3D*, o qual permite a utilização de um quatérnio como argumento. .

O experimento de validação do método foi realizado no Laboratório de Técnicas Nucleares Dr. Silvio Crestana localizado na Embrapa Instrumentação Agropecuária, localizada na Rua XV de Novembro 1452, na cidade de São Carlos, considerando um conjunto de amostras de solo organizadas em colunas acrílicas com altura de 100 mm e raio de 146 mm contendo porções de latosolo vermelho, submetidos a um processo de aquisição tomográfico sob energia de 59.9 keV de uma fonte de, 150 mm de translação total, 1 mm de passo linear, 180° de rotação total, 1,2° de passo angular e 4 segundos de tempo de contagem por amostra de projeção.

A imagem resultante de uma tomografia computadorizada de raios X indica a quantidade de radiação absorvida por cada porção da secção analisada, traduzindo essas variações numa escala de cinza ou pseudo-cores. Como a capacidade de absorção de raios X de um material está intimamente relacionada com a sua densidade, zonas com diferentes densidades terão diferentes intensidades de cinza ou pseudo-cores, permitindo distingui-las claramente. A principal característica da técnica de tomografia computadorizada de raios X é a de permitir o estudo de secções transversais de amostras de forma não invasiva.

Procedimento Colisão Não Convencional:

Begin

Procedimento Inicializar:

Begin

Novo Critério De Inicialização;

Critério De Inicialização.Ao Encostar Na Face;

Critério De Inicialização.Ao Desencostar Da Face;

Critério De Inicialização.Ao Permanecer Encostado;

End;

Procedimento Estimulo:

Begin

Se Critério De Estimulo = Ao Encostar Na Face

Begin

Critério.Obter Objeto;

Se Ultimo Movimento Da Luva = Para Cima

Movimento Para Cima = Travado

Se Ultimo Movimento Da Luva = Para Baixo

Movimento Para Baixo = Travado

Se Ultimo Movimento Da Luva = Para Frente

Movimento Para Frente = Travado

Se Ultimo Movimento Da Luva = Para Trás

Movimento Para Trás = Travado

Se Ultimo Movimento Da Luva = Para Esquerda

Movimento Para Esquerda = Travado

Se Ultimo Movimento Da Luva = Para Direita

Movimento Para Direita = Travado

Exibir "Estado De Colisão Iniciado"

End;

Senão Se Critério De Estimulo = Ao Desencostar Da Face

Begin

Se Movimento Travado = Para Cima

Destruir Movimento Para Cima

Se Movimento Travado = Para Baixo

Destruir Movimento Para Baixo

Se Movimento Travado = Para Frente

Destruir Movimento Para Frente

Se Movimento Travado = Para Trás

Destruir Movimento Para Trás

Se Movimento Travado = Para Esquerda

Destruir Movimento Para Esquerda

Se Movimento Travado = Para Direita

Destruir Movimento Para Direita

Exibir "Deixando Estado De Colisão"

End;

Senão Se Critério De Estimulo = Permanecer Encostado

Exibir "Estado De Colisão Em Curso"

End;

End.

Fig. 2. Pseudocódigo para colisão não convencional

Resultados

Considerando a classe de *Reconstrução*, os algoritmos foram escritos em C++. Assim a partir das projeções tomográficas obtidas no minitomógrafo, dados bidimensionais foram reconstruídos por Retroprojeção Filtrada, entretanto, com presença de algum ruído. A reconstrução volumétrica gerou imagens que foram convertidas para o formato *Wavefront*, o que viabilizou o uso das classes descritas e manutenção de todas as propriedades físicas originais das amostras, tais como formas, coeficientes de atenuação e volume. A Figura 3 apresenta imagens de amostras de latosolo reconstruídas em 3-D.

Através da classe *Extração de Atributos*, características intrínsecas da cena e de amostras agrícolas puderam ser obtidas, através de *mouse* ou da *P5Glove*, tendo como origem dos dados as representações tridimensionais, as quais estão presentes apenas nas projeções 1-D ou então nas imagens 2-D, como é o caso dos níveis de cinza e coeficientes de atenuação linear.

Tais dados foram divididos em duas categorias: Relativos à Cena e Relativos aos dados Tomográficos. Dentre os dados da cena sintética, os dados obtidos foram: as fronteiras, as quais representam os limites da geometria

ou os limites da geometria que a envolve; o grafo de cena, que representa a hierarquia dos nodos presentes na árvore; a geometria atual no modelo e sua composição; a distância de determinado voxel em relação às coordenadas escolhidas na cena; o vértice mais próximo ao ponto escolhido na cena; as coordenadas tridimensionais de tais coordenadas; e a reta normal na face mais próxima que envolve as coordenadas escolhidas.

Os seguintes dados são fornecidos em um processo de análise:

- atributos de cor, que representam as cores individuais de cada voxel, independente da intensidade de iluminação;
- os coeficientes de material, que representam as cores que cada voxel reflete ao se incidir determinada intensidade de luz;
- atributos de transparência; atributos de polígonos;
- a luminância (tons de cinza), coeficiente do sistema *HSL* de cores, o qual representa a intensidade de níveis de cinza encontrado no voxel escolhido;
- a saturação e matiz, também do coeficiente *HSL*;
- o coeficiente de atenuação linear, calculado com base nos níveis de cinza.

Em relação à *Manipulação Não Convencional de Cena*, os *feedbacks* produzidos pela implementação da classe indicam o total controle da navegação do usuário na cena, utilizando-se da luva *P5Glove*. Neste contexto, de acordo com o posicionamento do dispositivo, o usuário

pode navegar efetivamente pela cena, onde os deslocamentos de sua mão são fielmente traduzidos em movimentos da cena, deslocando as câmeras do ambiente em tempo real. De forma análoga, tais movimentos também são traduzidos em deslocamentos das amostras tridimensionais. Tais movimentos são iniciados a partir do fechar das mãos, onde os sensores de dobra dos dedos são ativados e a ação iniciada. A classe de *Manipulação Não Convencional de Modelo* simula a sustentação manual das amostras 3-D, bem como sua total movimentação dentro da cena, também sob 6 graus de liberdade.

Através da classe de *Visualização*, as amostras tridimensionais puderam ser examinadas pelo *Head Mounted Display* de forma realmente imersiva. Inicialmente, o *Canvas3D*, responsável pela renderização das imagens tridimensionais, foi maximizado de forma a omitir no dispositivo as partes correspondentes da interface principal, a fim de focar apenas a região onde a amostra é exibida. Desta maneira, cada display do *HMD* forma uma imagem, as quais são fundidas pelo cérebro com uma paralaxe significativa, ou seja, com maior efeito de profundidade.

O estudo de casos em simulação da formação dos caminhos preferências de fluxo de água e solutos (*Fingering*) com base na estrutura de poros de uma amostra de solo considerada e a aferição da porcentagem de volume de vazios. Em Ciência de Solos, os poros (ou volume de vazios) configuram-se como os espaços vazios localizados no interior de uma determinada amostra

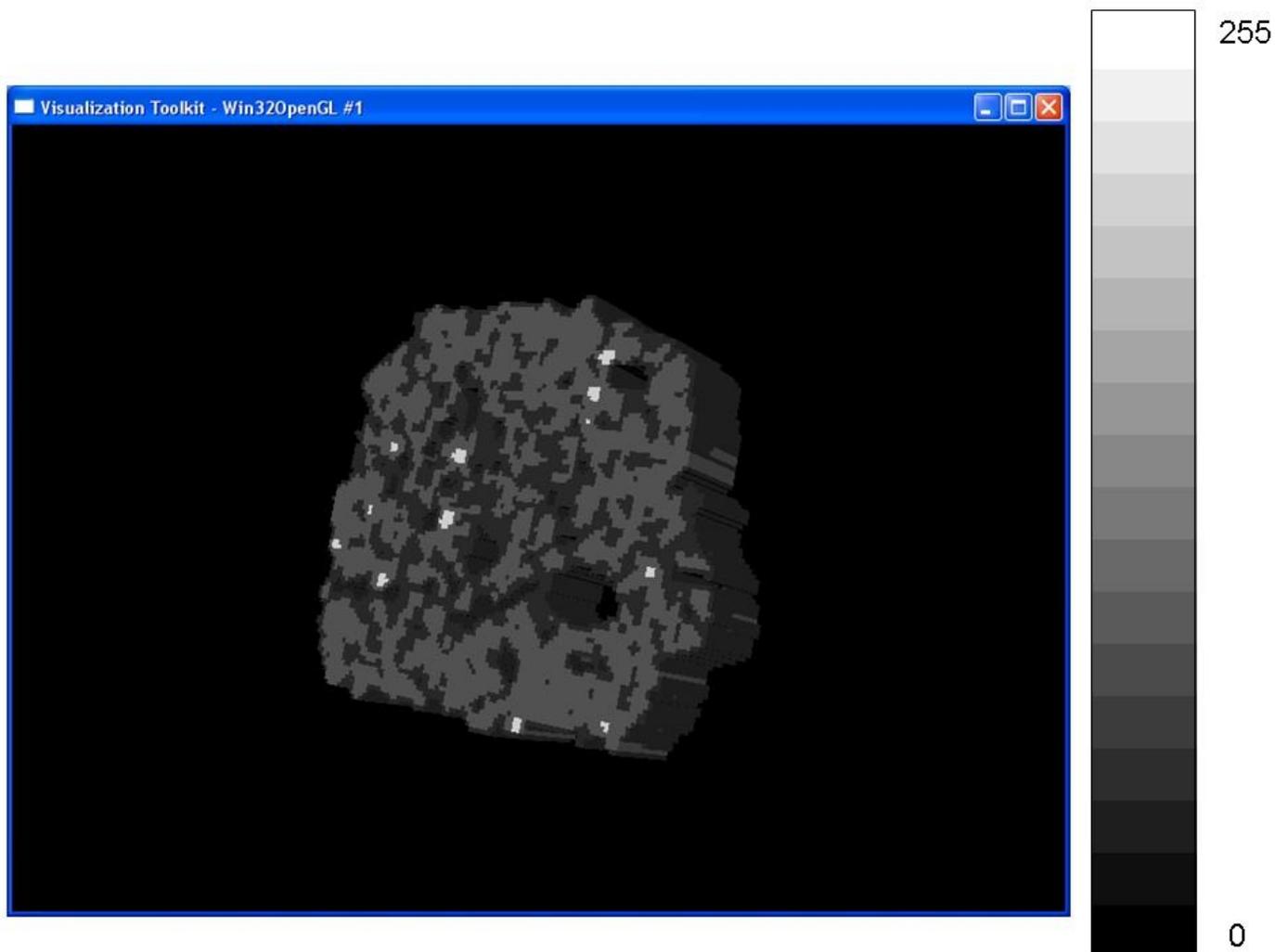


Fig. 3. Imagem tridimensional de amostra de um latosolo vermelho reconstruída considerando três planos reais (obtidos com medidas tomográficas) e dez planos intermediários obtidos com interpolação B-wavelet.

agrícola, onde água, solutos e outros fluidos possam transpassar-la, no caso de poros conexos, ou simplesmente se acumularem em pequenas cavidades. Tais poros podem ser maiores ou menores, o que torna a amostra mais ou menos densa, o que influi diretamente na permeabilidade da mesma. Também podem estar preenchidos com água, ar ou ambos.

A porosidade do solo (n) é expressa em percentagem e definida como o volume de poros dividido pelo volume total de uma amostra de solo:

$$n = \frac{V_p}{V_t} 100$$

onde V_p é o volume de poros e V_t o volume total da amostra.

Na existência de poros conexos, formam-se os chamados caminhos preferenciais, (fingering) ou seja, trajetos comuns do fluxo de água em solos.

Para a caracterização de tais eventos, foram utilizados os processos implementados sobre o sistema de visualização e análise de amostras reconstruídas tridimensionalmente. Conforme descrito nas classes *Manipulação Convencional de Cena* e *Manipulação Não Convencional de Cena*, à medida que as câmeras são deslocadas com os processos de navegação, ativados por interação de teclado ou da luva de dados *P5Glove*, os caminhos percorridos podem ser demarcados, deixando registrado o trajeto, sob forma visual e matemática.

A cada movimento de dispositivo identificado, tem-se uma nova posição da câmera sob coordenadas cartesianas (x , y , z). Tais posições são únicas e ocupadas somente uma por vez. Desta maneira, ativado o processo de demarcação, a partir de qualquer ponto, pode-se simular o caminho percorrido por um determinado fluxo de fluidos ao atingir uma amostra agrícola. Ao realizar um determinado movimento, o ponto atual ocupado pela câmera recebe um Shape3D sob a forma de uma esfera azul, a qual simula a presença de uma gota de fluido ocupando a posição outrora ocupada pela câmera, deixando um rastro azulado por onde a câmera passou.

De forma análoga à simples manipulação de cena, tal demarcação obedece às leis impostas pelas classes *Colisão Convencional* e *Colisão Não Convencional*, ou seja, o caminho percorrido é impedido de transpassar as faces não porosas da amostra agrícola, obrigando o fluxo de fluidos a passar por dentro os poros conexos, os caminhos preferenciais. O processo pode ser repetido inúmeras vezes, simulando a entrada de diversos fluxos de fluidos, de forma semelhante às situações reais.

A partir do cálculo de fronteiras, onde os limites da amostra tridimensional são identificados no espaço, como na classe *Extração de Atributos*, através do uso de *getBounds* sobre instâncias Shape3D, aliado a um algoritmo de detecção de bordas tridimensionais chamado de *Polytope*, presente no pacote *Bounds* da API *Java3D*. Tal algoritmo encarrega-se de traçar inúmeros planos ao redor das superfícies da amostra, percorrendo toda sua extensão a fim de delimitar com exatidão suas fronteiras, permitindo que as partes não porosas da amostra, inclusive as internas, possam ser identificadas, permitindo a aferição de seu volume em cm^3 .

Identificada a parte não porosa, as porções restantes, os vazios da amostra, as quais apresentam cor e material zero devido à ausência de atenuação de fótons, e que obedeçam os limites impostos pela parte não porosa, são então preenchidas com uma geometria amarela semi-transparente, visando um maior destaque junto à amostra. Tal geometria representa o total de poros, parte que se deseja calcular o volume em cm^3 .

Com tais dados disponíveis, é possível calcular o volume total da amostra (soma das partes não porosas com seu complemento) em cm^3 . Desta maneira, a partir do volume total e do volume individual da parte não porosa, é possível calcular de forma precisa o volume representado pelos vazios da amostra tridimensional. A Figura 4 apresenta o resultado do estudo de caso em uma imagem de solo degradado em diferentes orientações e posições, onde a amostra encontra-se em tons de cinza, os vazios ou poros encontram-se em amarelo e o fluxo de água em azul, demarcando os caminhos percorridos. O resultado é obtido a partir do uso de um modelo tridimensional submetido à processos gráficos de customização, como controle de transparência e de polígonos, a fim de tornar disponível a visualização de todas as estruturas componentes da amostra. Em seguida, é estabelecido um reconhecimento das estruturas vazias a fim de demarcar os poros e calcular seu volume. Por fim, realiza-se uma navegação na cena, utilizando a luva de dados, a fim de projetar no espaço os caminhos possíveis a se percorrer, simulando os caminhos adotados por um fluxo de água e solutos.

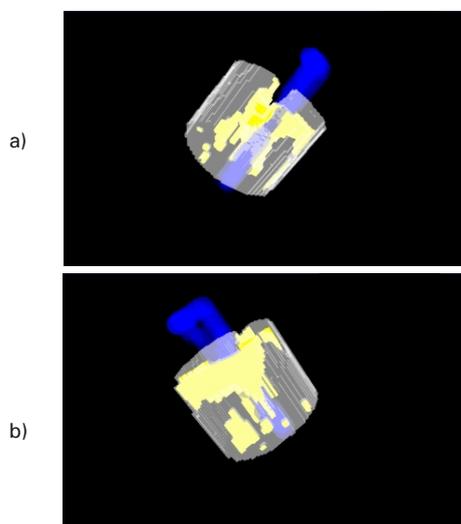


Fig. 4. (a) Resultado de estudo de caso com amostra de solo degradado com representações da porção de solo não porosa (cinza), os vazios (amarelo) e o fluxo de água por dentre os poros. (b) posição e orientação distintas, ilustrando a continuidade do uso das classes.

Conclusões

A validação de um sistema de Realidade Virtual (RV) dedicado à inspeção de amostras de solos agrícolas, utilizando dados de imagens tomográficas de raios X viabilizou a caracterização de caminhos preferenciais da água em amostras de solos agrícolas. Tal inovação metodológica obtida através de uma *interface* com o usuário, viabilizou processos de manipulação e visualização tridimensional, onde, por intermédio de recursos computacionais gráficos puderam ser somadas operações de imersão e interação do usuário com as amostras. Tais recursos envolveram controle de renderização, iluminação, colorização, extração de atributos e transformações físicas, além da integração de dispositivos não convencionais de entrada e saída de dados, tais como um vídeo-capacete (*head-mounted-display*) e uma luva digital (*digital glove*). O estudo de caso demonstrou a aplicabilidade do método considerando os avanços e facilidades ao realizar inspeções não invasivas, uma vez que o Ambiente de Realidade Virtual possibilitou mensurar o volume de vazios das amostras (poros) e visualizar o trajeto do fluxo de água em caminhos preferenciais (*fingering*). Desta maneira, tal resultado amplia a viabilidade do uso de Realidade Virtual na ciência de solos.

Referências

- AMÉZKETA, E. Soil aggregate stability: A review. **Journal of sustainable agriculture**, Binghamton, v. 14, p. 83-151, 1999.
- AYLMORE, L.; HAINSWORTH, J. M. The use of the computed assisted tomography to determine spatial distribution of soil water content. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 21, n. 4, p. 435-443, 1983.
- BEVEN, K.; GERMANN, P. Macropores and water flow in soils. **Water Resources Research**, Washington, v. 18, n. 5, p. 1311-1325, 1982.
- BIASI, S. C.; GATTASS, M. **Utilização de quatérnios para representação de rotações em 3-D**. Relatório técnico, TecGraf Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-RIO. Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~mgattass/>>. Acesso em: 20 ago. 2007.
- BOLT, R. A. Put-that-there: Voice and gesture at the graphics interface. In: THOMAS, J. C.; ELLIS, R. A.; KRILOFF, H. Z. (Ed.). **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES**, 7., 1980, Washington. [Anais...]. [S. l.]: ACM press, 1980. p. 262-270.
- BOTEGA, L. C.; CRUVINEL, P. E. Three-Dimensional Soil Physics Image Analysis based on a Virtual Reality Environment. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 9., 2007, Petrópolis. **Anais...** Petrópolis: SBC, 2007a p. 314-318.
- BOTEGA, L. C. **Análise de Imagens Tomográficas da Ciência do Solo em Ambiente de Realidade Virtual**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- BOTEGA, L. C.; CRUVINEL, P. E. Desenvolvimento de Ambiente de Realidade Virtual para Análise de Solos Agrícolas. In: WORKSHOP DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA, Itumbiara, 2007b.
- BOUMA, J. Soil morphology and preferential flow along macropores. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 3, p. 235-250, 1981.
- COATS, B. E.; SMITH, B. D. Dead-end pore volume and dispersion in porous media. **Society of Petroleum Engineers journal - Journal / Society of Petroleum Engineers of AIME**, Dallas, v. 4, p. 7384, 1964.
- CRESTANA, S. **A Tomografia Computadorizada com um novo método para estudos da física da água no solo**. 1985. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- CRESTANA, S.; POSADAS, A. N. D. 2-D and 3-D Fingering in unsaturated soils investigated by fractal analysis, invasion percolation modeling and non-destructive image processing. In: BAVEYE, P.; PARLANGE, J.; STEWART, B. A. (Ed.). **Advances in Soil Science: Fractals in Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 293-332.
- CRUVINEL, P. E. **Minitomógrafo de Raios X e Raios Gama computadorizado para aplicações multidisciplinares**. 1987. Tese (Doutorado) - Universidade de Campinas, Campinas.
- CRUVINEL, P. E.; CESAREO, R.; CRESTANA, S.; MASCARENHAS, S. X-and Gamma-rays computerized minitomograph scanner for soil science. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, New York, v. 39, n. 5, p. 745-750, 1990.
- DARCY, H. P. G. **Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon**. Paris: Victor Dalmont, 1856.
- DEXTER, A. R.; KROESBERGEN, B.; KUIPERS, H. Some mechanical properties of aggregates of top soils from the IJsselmeer polders. 1. Undisturbed soil aggregates. **Nether. Journal of agricultural science**, Cambridge, v. 32, p. 205-214, 1984.
- DORST, L.; FONTIJNE, D.; MANN, S. **Geometric Algebra for Computer Science: An Object Oriented Approach to Geometry**. Amsterdam: Morgan Kaufmann Publishers, 2007. p. 167-190.
- ELBAKRI, I. A. FESSLER, J. A. Statistical image reconstruction for polyenergetic X: ray computed tomography. **IEEE Transactions on Medical Imaging**, New York, v. 21, p. 89-99, 2002.
- FERREIRA, E.; RESENDE, A. S.; BALIEIRO, F.; ZOTARELLI, L.; SILVA, L. A.; BACIS, M.; ALFARO, M. A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. **Avaliação de diferentes tubos de acesso para medição da umidade do solo através do uso de sonda de nêutrons**. Seropédica, RJ: Embrapa-CNPAB, 1998. 12 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 59).
- FLURY, M.; FLÜHLER, H.; JURY, W. A. Susceptibility of soils to preferential flow of water: A field study. **Water Resources Research**, Washington, v. 30, n. 7, p. 1945-1954, 1994.
- GERMANN, P. Kinematic wave approximation to infiltration and drainage into and from soil macropores. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, p. 745-749, 1985.
- HARDY, A. S. **Elements of Quaternions: Historical Math Monographs**. Boston: Cornell University Library, 1987. Disponível em: <<http://dlxs2.library.cornell.edu>>. Acesso em: 15 jul. 2009.
- JACOBSON, L. **Garage Virtual Reality**. Indianapolis: SAMS Pub, 1994.
- JANG-IL, S.; SUNGDO, C.; SEUNG-HO, S. Distortion correction of reconstructed three-dimensional image in an integral imaging system combined with a single imaging lens. **Applied Optics**, New York, v. 48, p. 3108-3119, 2009.
- JEONG, T. M.; PARK, J. R.; KO, D.; LEE, J. Direct reconstruction of an object from dual exposure Fourier intensity measurements. **Applied Optics**, New York, v. 48, p. 2890-2898, 2009.
- KENNER, C. **Essential reality P5GLOVE summary: Dual mode driver programming**. Disponível em: <http://www.geocities.com/carl_a_kenner/p5.html>. Acesso em: 23 jul. 2007.
- KÖHNEA, J. M.; MOHANTYA, B. P.; IMNEKB, J. Inverse Dual-Permeability Modeling of Preferential Water Flow in a Soil Column and Implications for Field-Scale Solute Transport. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 8, n. 2, p. 496-509, 2009.
- LANIER, J. **Visual programming languages**. [S. l.]: Scientific American, 1984.
- LEEDS-HARRISON, P. B.; YOUNGS, E. G. Estimating the hydraulic conductivity of aggregates conditioned by different tillage treatments from sorption measurements. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 41, p. 141-147, 1997.
- MACEDO, A. **Construção e uso de um tomógrafo com resolução micrométrica para aplicações em ciências do solo e do ambiente**. 1997. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.
- MACEDO, A.; VAZ, C. M. P.; PEREIRA, J.; NAIME, J. M.; CRUVINEL, P. E.; CRESTANA, S. Wood density determination by x- and gamma-ray tomography. **International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood**, [S. l.], v. 56, p. 535-540, 2002.

NAIME, J. M. **Projeto e construção de um minitomógrafo portátil para estudo de ciência de solo e plantas em campo**. 1994. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

NAIME, J. M. **Um novo método para estudos dinâmicos, in situ, da infiltração da água na região não-saturada do solo**. 2001. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

O'CONNOR, J. J.; ROBERTSON, E. F. **Sir William Rowan Hamilton, 1805-1865**. 1998. Disponível em: <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Hamilton.html>. Acesso em: 23 set. 2009.

PAN, S. D. Image Reconstruction and Multidimensional Field Estimation From Randomly Scattered Sensors. **IEEE Transactions on Image Processing**, New York, v. 17, n. 1, p. 94-99, 2008.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; MACEDO, A. Tomografia computadorizada aplicada a estudos de um planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 7, p. 819-826, 2003.

PEREIRA, M. F. L. **Um modelo de reconstrução tomográfica 3D para amostras agrícolas com filtragem de Wiener em processamento paralelo**. 2007. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

PHILIP, J. R. Stability analysis of infiltration. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 39, p. 1042-1049, 1975.

PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. **Virtual Reality: through the new looking glass**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

RITSEMA, C. J.; DEKKER, L. W.; NIEBER, J. L. Modeling and field evidence of finger formation and finger recurrence in a water repellent sandy soil. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, n. 4, p. 555-567, 1998.

SSSA - SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary of soil science terms**. Madison, 1997.

STROUD, K. A.; BOOTH, D. **Vector Analysis**. New York: Industrial Press, 2005.

SUN MICROSYSTEMS. **API JAVA3D DOCUMENTATION**. Disponível em: <http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/java3d/forDevelopers/J3D_1_3_API/j3dapi/index.html>. Acesso em: 12 jan. 2008.

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**, Campinas, v. 29, p. 161-168, 2005.

WANG, Z.; FEYEN, J.; RITSEMA, C. J. Susceptibility and predictability of conditions for preferential flow. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, p. 2169-2182, 1998.

Circular Técnica, 48

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: 16 2107 2800 - **Fax:** 16 2107 2902
e-mail: sac@cnpdia.embrapa.br
<http://www.cnpdia.embrapa.br>
1a. edição
1a. impressão 2009: tiragem 300

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Comitê de Publicações

Presidente: Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Membros: Dra. Débora Marcondes B. P. Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Valéria de Fátima Cardoso

Membro Suplente: Dr. Paulo S. P. Herrmann Junior

Expediente

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento das ilustrações: Valentim Monzane
Editoração eletrônica: Manoela Campos