

VISUALIZAÇÃO DE VOLUMES NA AVALIAÇÃO DE SOLOS¹

Volume visualization for soil's evaluation

ANDREA LOPES IESCHECK¹

CLAUDIA ROBBI SLUTER²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia
andrea.iescheck@ufrgs.br

²Universidade Federal do Paraná
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
robbi@ufpr.br

RESUMO

O presente trabalho trata da representação e da visualização de volumes apartir de dados espaciais, e apresenta novas possibilidades para análise das propriedades dos solos. As representações das propriedades do solo foram geradas com interpolações tridimensionais a partir de amostras pontuais coletadas em campo. A manipulação dos volumes gerados, com programas computacionais, permite ver e explorar o fenômeno como um corpo contínuo, incorporando dessa forma, a terceira dimensão na cartografia de solos. As representações dos volumes por interpolação foram geradas com um SIG-3D denominado GRASS GIS; e para as visualizações e manipulações dos volumes gerados foi utilizado o programa Vis-5D, ambos de domínio público e desenvolvidos para plataforma LINUX. Os resultados obtidos são uma forma de visualizar as propriedades físicas, químicas e morfológicas dos solos que se constituem em uma fonte de novos conhecimentos para o seu estudo.

Palavras-chave: Visualização de Volumes; SIG-3D; Interpolação Tridimensional.

ABSTRACT

This work deals with volumes representation and visualization of spatial data. It presents new possibilities to visualize soil's properties on 3D. Three-dimensional data of soil's properties were obtained from sampling points, and they were interpolated in order to be continuously represented in 3D space. The use of

¹ Uma versão prévia deste trabalho foi apresentada no II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas.

volumes allows one to visualize and to explore the phenomenon as a continuous body in the space, thus incorporating the third dimension in the cartography of soils. Volume representation and visualization improve the understanding of many scientific fields. To conclude with the outcome of volume representations of physical, chemical and morphological properties is a new way to visualize the soil and a new source of knowledge to the study of this phenomenon.

Keywords: Volume Visualization; 3D-GIS; Three-Dimensional Interpolation.

1. INTRODUÇÃO

O termo visualização está relacionado aos métodos que permitem a extração de informações relevantes a partir de conjuntos de dados, utilizando técnicas de computação gráfica e de processamento de imagens (PAIVA et al., 1999). De acordo com EARNSHAW e WISEMAN (1992), a visualização científica trata da exploração de dados e de informações na busca pelo entendimento e compreensão intuitiva dos fenômenos. Atualmente, uma área dentro da visualização científica que tem apresentado rápido crescimento é a visualização de volumes. A visualização de volumes possibilita a extração de informações a partir de um conjunto de dados volumétricos e está relacionada com a representação, a manipulação e o “rendering” (texturização) destes dados (KAUFMAN, 1996). Segundo FUJISHIRO et al. (1996), a visualização de volumes tem por objetivo explorar a estrutura interna e o comportamento complexo de objetos volumétricos.

Para realizar a visualização de volumes é necessário dispor de dados volumétricos. Dado volumétrico é um conjunto A de amostras (x, y, z, w) que representa o valor w de algum atributo na posição tridimensional (x, y, z) , e estes dados são geralmente tratados como um conjunto ordenado de elementos de volume (*voxels*) (KAUFMAN, 1996). *Voxel* é o menor elemento de uma imagem tridimensional e, de acordo com KAUFMAN (1996), é definido como um cubóide retangular com seis faces, doze lados e oito vértices, o qual abrange a região de valor constante no entorno de cada amostra. PAIVA et al. (1999) definem *voxels* como paralelepípedos agrupados, formados pela divisão do espaço do objeto por um conjunto de planos paralelos aos eixos principais desse espaço.

Neste trabalho, aplicam-se os conceitos e as técnicas de visualização de volumes, propostos e desenvolvidos em visualização científica, nas representações cartográficas das propriedades dos solos. Ainda, entende-se por volume um corpo sólido ou não no espaço tridimensional.

Modelos de dados tridimensionais pressupõem representações capazes de distinguir e de armazenar a forma, a estrutura e as propriedades do fenômeno original (RAPER, 2000). Na visualização de volumes a exploração dos dados não é fixa, ou seja, constitui-se em um processo dinâmico de análise na busca do conhecimento do fenômeno. Assim, como pressuposto, deve-se interagir com a representação do volume, por meio de rotações, aproximações, cortes e outras formas de manipulação gráfica, buscando a informação de maneira completa.

Para a identificação e a classificação pedológica, no processo de avaliação de solos, são utilizados dados de natureza qualitativa e quantitativa. A partir da caracterização morfológica do perfil do solo (critérios qualitativos) e das análises físicas e químicas das amostras dos horizontes (critérios quantitativos), pode-se identificar e classificar os solos. Os horizontes dos solos são diferenciados pelas suas características e propriedades, e sua sucessão, da superfície até a rocha, é denominada de perfil do solo (KIEHL, 1979).

As representações das informações dos solos são, normalmente, realizadas por meio de mapas pedológicos, perfis de seqüências topográficas, cartas com curvas de isodiferenciação, superfícies representativas das variações dos atributos, bloco diagramas e gráficos. Estas representações descrevem padrões sobre superfícies ao invés da distribuição espacial dos atributos da subsuperfície e, portanto, limitam a visualização completa das variações dos atributos nas três dimensões. Pode-se considerar, assim, que visualizar tridimensionalmente as propriedades dos solos significa um avanço para o estudo deste fenômeno.

Nesta pesquisa são apresentados os procedimentos utilizados e os resultados obtidos para a representação e a visualização dos volumes das propriedades dos solos. Estes procedimentos abrangem todo conjunto de atividades, desde a aquisição de dados até a geração do produto final, as quais definem as etapas operacionais da metodologia adotada. Tanto as representações como as visualizações e as manipulações dos volumes gerados foram realizadas com tecnologia baseada em *software* livre.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento das etapas operacionais para a visualização dos volumes das propriedades dos solos contempla as fases de aquisição, organização e codificação dos dados, interpolação tridimensional, formação dos volumes e as operações computacionais para as apresentações visuais. A primeira etapa trata da aquisição de dados. Esta fase envolve o levantamento planialtimétrico para geração da base cartográfica da área de estudo, a coleta e a descrição morfológica dos monólitos, e a coleta das amostras dos perfis para análises laboratoriais. Após sua aquisição, os dados são organizados e codificados. Em seguida, realiza-se a interpolação tridimensional destes dados para representação e visualização dos volumes das propriedades dos solos.

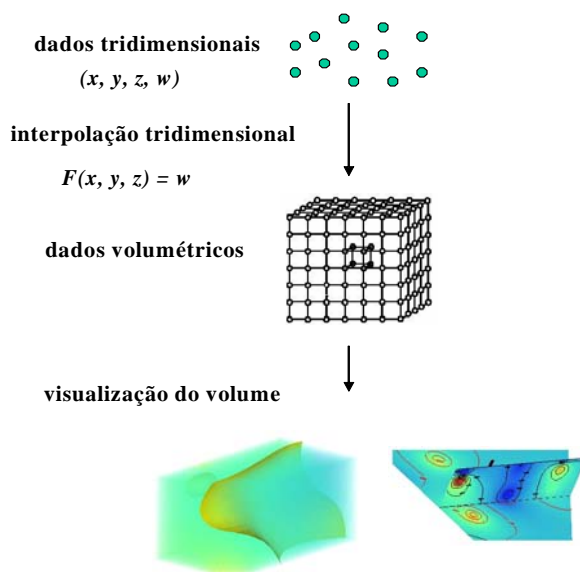
O processo de visualização pressupõe a formação do volume, a qual demanda dados volumétricos. Os dados volumétricos aqui utilizados foram gerados com interpolações tridimensionais, e os dados de atributos em suas posições tridimensionais foram obtidos a partir de amostras pontuais coletadas em campo (IESCHECK, 2006). Estes procedimentos estão esquematizados na figura 1.

Para realizar de maneira adequada os procedimentos necessários à visualização de volumes, utilizou-se um sistema de informações geográficas tridimensional (SIG-3D) em conjunto com um programa para visualização de

volumes, ambos de domínio público e de código aberto. Este trabalho foi desenvolvido em um ambiente SIG-3D, utilizando o programa GRASS GIS, versão 6.1, para o ambiente Linux. O GRASS GIS (*Geographic Resources Analysis Support System*) é um programa computacional documentado e organizado como bibliotecas de funções, sendo também possível o conhecimento de sua estrutura de dados.

A visualização dos volumes das propriedades dos solos foi feita no programa Vis5D. Esse programa permite a visualização interativa de dados volumétricos considerando a posição no espaço (x , y , z), o atributo (w) e, quando houver, a variável temporal (t). O Vis5D é oferecido nos termos do GPL (*General Public License*) e disponibilizado para os ambientes UNIX e Linux.

Figura 1 – Processo de visualização de volumes.



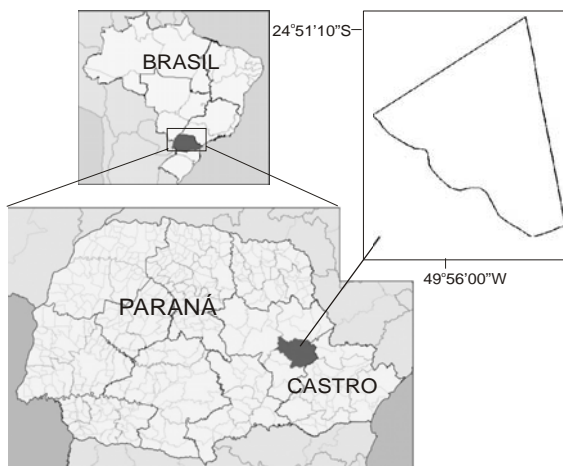
2.1 Área de Estudo

A área escolhida para o desenvolvimento da pesquisa localiza-se no Centro de Treinamento da Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, no município de Castro, Estado do Paraná. O talhão selecionado abrange uma área de 21,5 hectares (figura 2).

Considerando que o solo é caracterizado por horizontes que acompanham a configuração da superfície física da Terra, procedeu-se, inicialmente, à representação detalhada desta superfície. Portanto, para subsidiar as atividades desenvolvidas neste trabalho, foi gerada a base cartográfica digital da área com

curvas de nível eqüidistantes de 20 cm, a partir de levantamento topográfico (IESCHECK, 2006; IESCHECK et al. 2008).

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



2.2 Aquisição de Dados

A representação dos dados no espaço tridimensional (R^3) é feita pelas três coordenadas espaciais (x , y , z) e um ou mais dados referentes aos atributos (w_i). Nesta pesquisa, estes atributos correspondem às propriedades físicas, químicas e morfológicas dos solos.

Para obtenção dos dados referentes às propriedades morfológicas dos solos, fez-se, inicialmente, a implantação de uma malha de pontos para coleta dos monólitos. Todos os pontos desta malha tiveram suas coordenadas tridimensionais determinadas em campo. A malha de amostragem foi distribuída regularmente sobre a área, com espaçamento de 30 em 30 metros (figura 3). A amostragem dos monólitos foi executada com trado tubular acoplado a um trator, utilizando tubos de PVC com 10 cm de diâmetro e 120 cm de comprimento. Dos 255 monólitos coletados foram aproveitados 231 e os demais foram descartados por problemas de identificação.

A caracterização morfológica da cobertura pedológica da área de estudo envolveu a descrição dos monólitos coletados em campo. Esta descrição foi realizada por um pedólogo e as características observadas foram: horizontes, cor e estrutura (tipo, classe e grau).

Para proceder às análises laboratoriais das amostras, fez-se nova coleta em campo de perfis do solo. Esta coleta foi realizada em nove trincheiras, com um metro de largura, um metro de comprimento e um metro e meio de profundidade,

localizadas em pontos característicos do terreno (figura 4). As análises físicas e químicas foram realizadas nos laboratórios da Embrapa Florestas, localizada no município de Colombo, Estado do Paraná.

Figura 3 – Mapa de localização dos pontos de coleta dos monólitos.

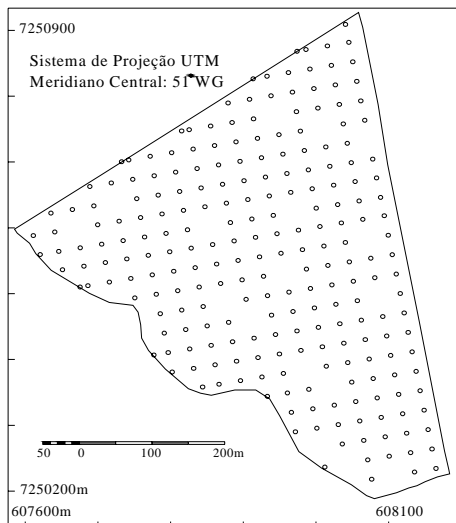
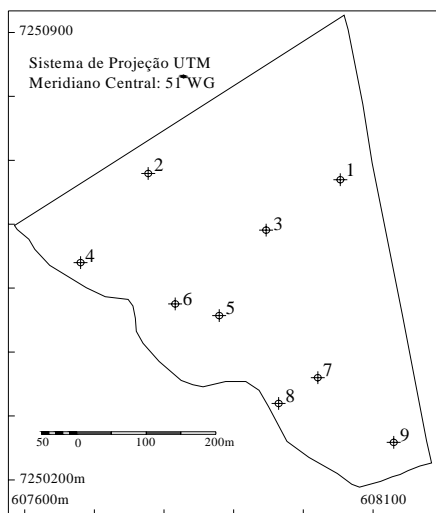


Figura 4 – Mapa de localização dos perfis.



2.3 Interpolação, Formação do Modelo e sua Visualização

Adotou-se, neste trabalho, a estrutura matricial para armazenamento e representação computacional dos dados, uma vez que este formato é adequado para representar fenômenos que se desenvolvem de maneira continuada no espaço, como é o caso dos solos. Os modelos matriciais são representações geométricas que subdividem o espaço bidimensional em elementos de imagem (*pixels*) e o espaço tridimensional em elementos de volume (*voxels*).

No caso, os dados tridimensionais das propriedades dos solos foram obtidos de maneira discreta, a partir de amostras pontuais medidas em campo, e foram interpolados para a representação dos volumes no domínio espacial. Estes dados, por sua vez, são de natureza qualitativa e quantitativa.

Como a representação computacional e a interpolação de atributos qualitativos requerem que os dados sejam quantificados, foram definidas codificações numéricas para identificar cada classe dos tipos de horizontes e para identificar as cores das classes de solo. A codificação para representação dos tipos de horizontes foi feita por uma seqüência numérica crescente, da superfície até o último horizonte. Para as cores foi criada uma codificação mnemônica de forma que, ao se consultar o atributo diretamente sobre a imagem, identifica-se, por associação, a designação da cor no sistema de Munsell. Os dados qualitativos aqui utilizados, oriundos da descrição morfológica, correspondem à identificação dos tipos de horizontes e suas respectivas cores. Os solos são constituídos por uma sucessão vertical de camadas horizontais oriundas da ação conjunta de vários fatores, sendo que o horizonte do solo é a seção aproximadamente paralela à superfície formada por processos pedogenéticos (KIEHL, 1979). A cor é considerada uma das propriedades morfológicas mais importantes, pois caracteriza a composição do solo, e é obtida por comparação entre a amostra coletada e a referência padronizada na carta de Munsell (KIEHL, 1979).

Os dados provenientes das análises laboratoriais são de natureza quantitativa e representam as grandezas medidas das propriedades físicas e químicas dos solos e, portanto, não houve necessidade de codificação. Das análises físicas foram utilizados os dados das seguintes propriedades: densidade do solo, umidade volumétrica, porosidade total e porosidade macro, água disponível e frações granulométricas (areia, silte e argila). E, das análises químicas, os dados referentes ao pH em CaCl_2 , matéria orgânica, soma de bases e coeficiente de troca catiônica (CTC). As definições e as características das propriedades físicas e químicas dos solos podem ser consultadas em KIEHL (1979).

Após sua organização e sua codificação, os dados foram processados para formar os volumes. O processo de formação do volume envolve a transformação dos dados pontuais tridimensionais em dados volumétricos e, para tal procedimento, utilizou-se o programa GRASS GIS que disponibiliza dois métodos distintos. No primeiro método os pontos são convertidos para as suas respectivas representações tridimensionais sem estimar valores intermediários, ou seja, fica restrito aos valores

dos dados existentes e não gera novos valores por interpolação. O segundo processo, aplicado neste trabalho, realiza a interpolação tridimensional dos dados, com estimativa de valores para toda a área, e gera dados volumétricos distribuídos em grades regulares tridimensionais o que permite representar a variação espacial completa do fenômeno.

Para interpolação tridimensional dos dados dos solos foi utilizado o método da *spline* regularizada com tensão em três dimensões (3D-RST), cujo algoritmo está implementado no programa GRASS GIS. O detalhamento deste método de interpolação é descrito em MITASOVA e MITAS (1993) e MITASOVA e HOFIERKA (1993). Os arquivos resultantes desta interpolação correspondem aos dados volumétricos das propriedades dos solos.

As manipulações para visualização dos volumes gerados foram realizadas no programa Vis-5D. Para isto, foi necessário exportar os arquivos de dados volumétricos referentes às propriedades dos solos para o formato de entrada deste programa. O Vis5d realiza a texturização de volumes e possui ferramentas de interação, o que possibilita gerar isosuperfícies no espaço tridimensional, realizar cortes horizontais e verticais, visualizar estes cortes por meio de representações de áreas com cores e isolinhas limitantes, dentre outras formas de exploração e manipulação gráfica.

3. RESULTADOS

Depois de gerados os volumes e exportados para o programa Vis5D foi possível verificar a potencialidade destas novas propostas de representação cartográfica para análise de volumes. Explorando as ferramentas de interação e de manipulação gráfica do programa Vis5D, a informação dos volumes é mostrada de diferentes maneiras e pontos de vista.

Os dados provenientes da descrição morfológica são de natureza qualitativa. Por sua vez, os dados das análises físicas e químicas são de natureza quantitativa. A partir dos dados das propriedades morfológicas, além da definição dos limites dos horizontes, foram geradas representações dos diferentes tipos de horizontes e das cores do solo para cada horizonte. Dos resultados das análises físicas foram criadas as visualizações das seguintes propriedades: densidade do solo; umidade volumétrica a 6 kPa, umidade volumétrica a 10 kPa, umidade volumétrica a 100 kPa e umidade volumétrica a 1500 kPa; porosidade total e porosidade macro; água disponível; e frações granulométricas correspondentes aos percentuais de areia, silte e argila (textura). E, os dados das análises químicas foram utilizados para visualização das seguintes propriedades dos solos: pH, soma de bases, quantidade de matéria orgânica e coeficiente de troca catiônica.

A seguir, são apresentadas as visualizações dos volumes correspondentes aos tipos de horizontes, à porosidade e ao pH dos solos. Como as espessuras dos horizontes são da ordem de centímetros e as dimensões horizontais são da ordem de milhares de metros quadrados, a representação da variação vertical das propriedades

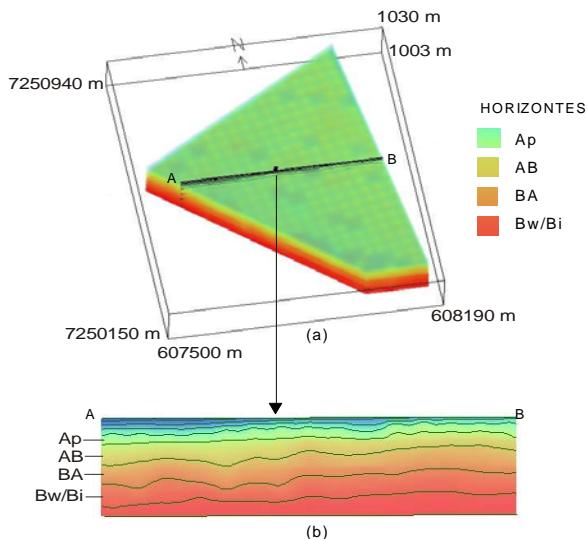
dos solos foi realizada com um exagero de escala de cem vezes. Cabe ressaltar, ainda, que o processo de visualização de volumes é interativo e dinâmico mas, aqui, a apresentação dos resultados se dá por meio de registros estáticos obtidos durante este processo.

3.1 Horizontes dos Solos

Informações acerca dos horizontes são fundamentais para o estudo dos solos, pois as características e a disposição dos horizontes diagnósticos em relação à superfície terrestre resultam da ação dos processos de formação do solo (KIEHL, 1979). A representação cartográfica dos horizontes deve mostrar, portanto, as transições laterais e verticais entre os diferentes tipos de horizontes. Os horizontes do solo são, genericamente, denominados de A, B e C, sendo que o horizonte A é superficial e enriquecido com material orgânico, o horizonte B é intermediário e surge entre os horizontes A e C, e o horizonte C é mais próximo do material de origem (KIEHL, 1979).

Normalmente, os horizontes são representados por meio de cortes verticais. Com a visualização de volumes, é possível incorporar a característica tridimensional da feição na própria representação. Por meio de interação e de manipulação gráfica, pode-se observar em detalhe pontos específicos de interesse, sob diferentes ângulos, e obter a informação desejada por meio de diversas formas de apresentações visuais.

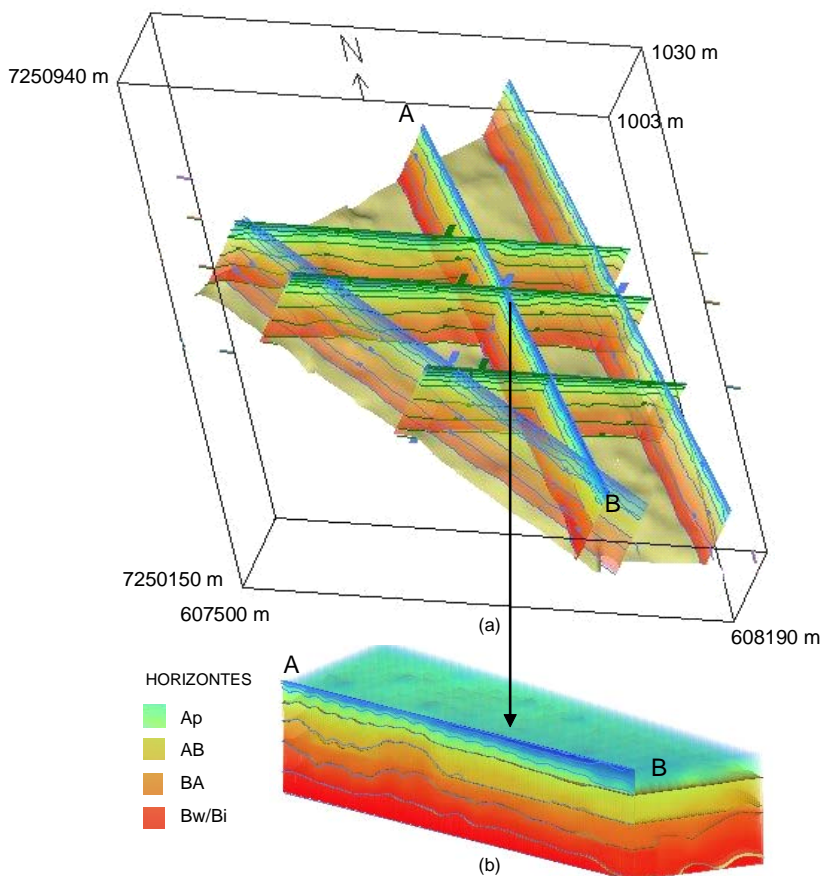
Figura 5 – Horizontes dos solos.



A diferenciação entre os tipos de horizontes foi feita aplicando-se a variável visual tom de cor, adequada à representação cartográfica de diferenças qualitativas.

A figura 5a mostra o volume dos horizontes dos solos para toda a área de estudo. Na figura 5b, observa-se um perfil do solo que apresenta os diferentes horizontes segundo o corte na direção AB da figura 5a. As coordenadas estão no sistema UTM. Embora as amostragens dos monólitos utilizados na descrição morfológica apresentem os horizontes dos solos até 1,20 m de profundidade, o desnível do terreno é de aproximadamente 27 m.

Figura 6 – Cortes no volume para visualização dos horizontes dos solos.



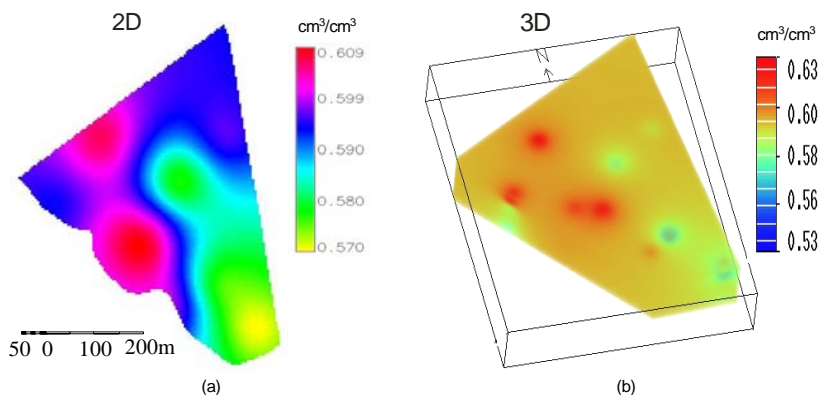
A fim de perceber as transições, nas diversas direções, da ocorrência dos diferentes tipos de horizontes de maneira contínua, deve-se interagir com o volume. Na figura 6a, são apresentados cortes verticais no volume, em diferentes direções,

para visualização detalhada da informação. Nesta figura, a isosuperfície representa o limite inferior do horizonte Bw/Bi, as cores apresentadas nos cortes diferenciam os tipos de horizontes e as isolinhas coincidem com os limites dos horizontes. Aplicou-se, também, 25% de transparência nas cores dos cortes verticais através da manipulação do histograma de cor e opacidade do programa utilizado para visualização dos volumes. A opacidade é uma medida de transparência que descreve a quantidade de luz incidente que é absorvida. Em detalhe, na figura 6b, a texturização do volume do corte vertical na direção AB da figura 6a mostra a distribuição espacial dos horizontes de maneira contínua.

3.2 Porosidade do Solo

A porosidade é o índice que se refere à porcentagem do solo que é ocupada por líquidos (água) e gases (ar), sendo que os poros menores (microporos) retêm a água e nos poros maiores (macroporos) circula o ar (KIEHL 1979). A figura 7a mostra a distribuição da porosidade total do solo no plano, o qual é definido pela projeção vertical da média dos valores da porosidade em cada amostra. E a figura 7b mostra a distribuição espacial da porosidade total do solo através do volume. Ao observar a representação da porosidade no plano não é possível saber em quais profundidades ocorrem os diferentes valores deste atributo. A partir da utilização das ferramentas de interação e de manipulação gráfica do programa Vis5D, a informação pode ser explorada de diferentes maneiras e pontos de vista, conforme apresentado na figura 8. Com a mudança do ponto de vista é possível conhecer a distribuição espacial dessas ocorrências em todas as direções dentro do volume.

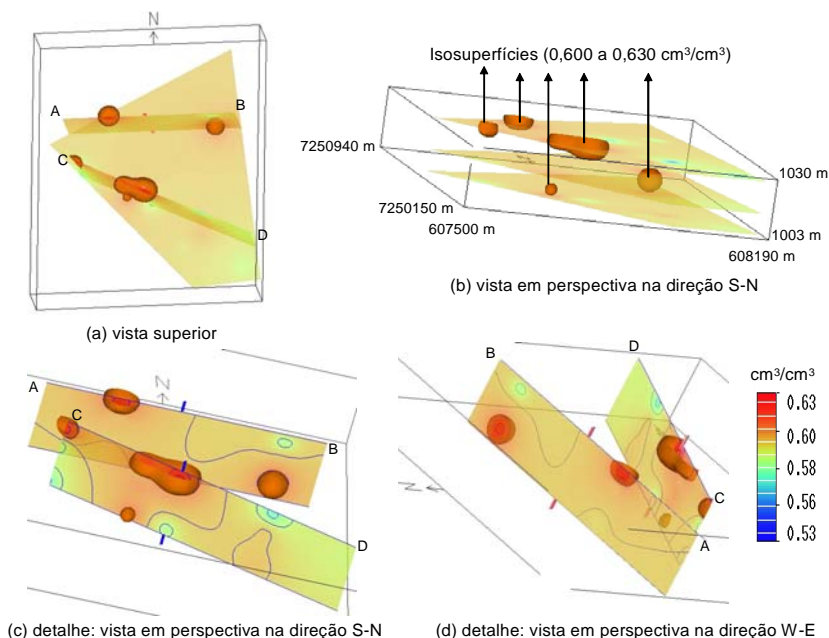
Figura 7 – Porosidade total do solo (cm^3/cm^3).



Na figura 8, representam-se os lugares de maior porosidade no solo. A figura 8a apresenta uma vista superior das ocorrências de maior porosidade no solo por

meio de isosuperfícies correspondentes aos valores entre $0,600$ e $0,630 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, a localização dos cortes verticais A-B e C-D, e o corte horizontal no plano de cota 1003 m , realizados durante a visualização do volume. A figura 8b mostra as mesmas isosuperfícies da figura 8a com a mudança do ponto de vista para a direção sul-norte, em perspectiva, e cortes horizontais no volume. E as figuras 8c e 8d mostram em detalhe as vistas perspectivas nas direções sul-norte e oeste-leste, respectivamente, dos cortes verticais A-B e C-D. Nestes cortes verticais, as isosuperfícies correspondem aos valores de $0,600$ a $0,630 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ da porosidade do solo. As cores no plano vertical dos cortes representam as quantidades deste atributo, conforme legenda apresentada, e as isolinhas verticais estão espaçadas de $0,009$ em $0,009 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Ao comparar a representação bidimensional apresentada na figura 7a com as interações realizadas no volume da figura 8 (b, c, d), nota-se que as ocorrências dos maiores valores da porosidade situados mais próximos da superfície são percebidas no plano, porém aquelas mais profundas somente são visualizadas na representação do volume.

Figura 8 – Ocorrência dos solos mais porosos: porosidade de $0,600$ a $0,630 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.



3.3 Visualização do pH do Solo

A informação referente ao pH do solo também pode ser mostrada de diferentes maneiras. Na figura 9a, a variação do pH em CaCl_2 é representada no plano por meio de isovalores apresentados por diferentes cores. Esta representação é obtida pela projeção vertical da média dos valores do pH em cada amostra. A figura 9b mostra o volume correspondente à distribuição espacial dos valores de pH dentro do solo.

Pela manipulação do histograma de cor e opacidade no programa de visualização de volumes, os valores do pH do solo foram agrupados em quatro classes que representam os seguintes valores:

pH alto: 5,6 a 5,75

pH médio: 5,0 a 5,5

pH baixo: 4,4 a 4,9

pH muito baixo: < 4,3

O volume resultante desta classificação é mostrado na figura 10, na qual se pode observar uma predominância de pH baixo na área de estudo. Ao interagir com o volume classificado, foram geradas isosuperfícies que representam as classes de pH alto, médio e muito baixo, conforme ilustrado na figura 11.

Figura 9 – Visualização no plano e do volume correspondente ao pH do solo em CaCl_2 .

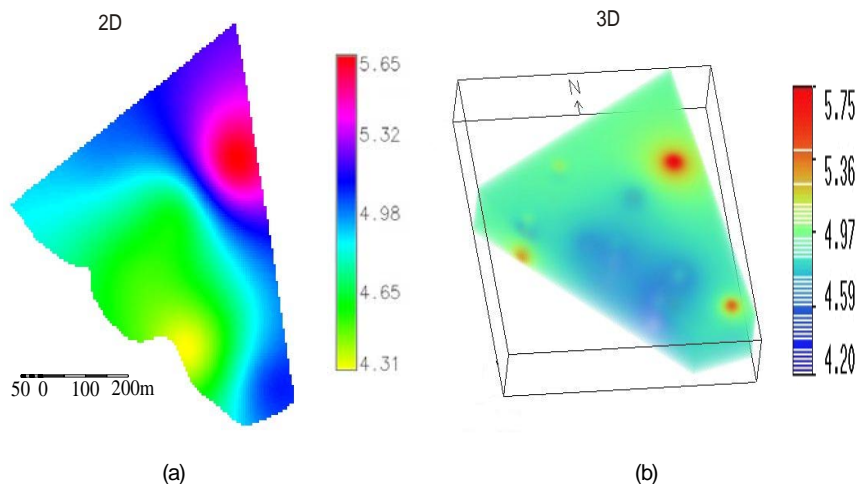


Figura 10 – Volume referente às classes de pH do solo.

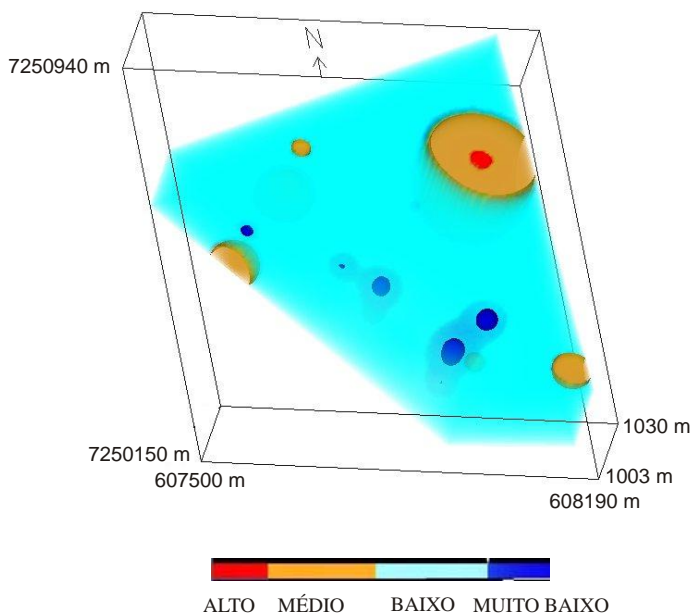
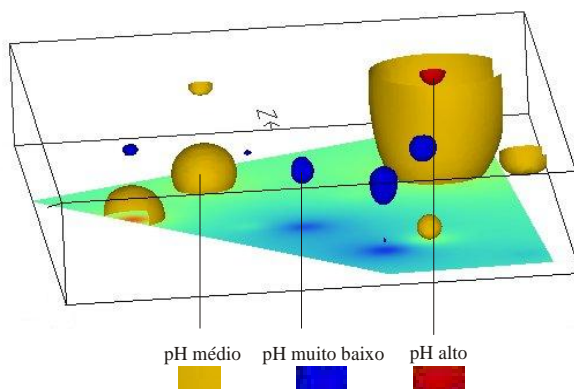


Figura 11 – Visualização do pH do solo por meio de isosuperfícies.



4. CONCLUSÕES

A visualização de volumes é importante para diversos ramos da ciência que estudam fenômenos naturais e suas propriedades. A representação das propriedades desses fenômenos e das suas variações auxilia no entendimento de seus comportamentos espaciais e permite a extração de informações científicas relevantes. Além disso, possibilita a melhor exploração dos dados disponíveis para a realização de análises.

No trabalho completo referente à presente pesquisa, geraram-se representações que mostram a distribuição das propriedades físicas, químicas e morfológicas em mapas temáticos, em superfícies de variação destes atributos, e em volumes. Estes diferentes produtos, desde a representação cartográfica clássica - mapas temáticos - até a representação moderna em volume, foram elaborados em diferentes etapas do trabalho de modo a subsidiar as decisões sobre os interpoladores e seus parâmetros.

É importante ressaltar que o trabalho realizado na área de representação e de visualização de volumes de dados espaciais conduziu a soluções que consistem em uma nova maneira de visualizar o fenômeno, incorporando a terceira dimensão na cartografia de solos. A visualização tridimensional das propriedades morfológicas, físicas e químicas dos solos permite reconhecer a distribuição espacial dos atributos através de volumes. A exploração das ferramentas de interação auxilia no exame detalhado de características específicas destas propriedades.

A eficiência dos resultados, no entanto, depende da ação integrada dos especialistas nas áreas de visualização cartográfica e de solos. Os resultados obtidos nessa pesquisa confirmam a hipótese inicial de que a representação e a visualização dos volumes dos solos possibilitam que se adquira conhecimentos além daqueles resultantes das análises de representações cartográficas em mapas planos ou em superfícies. Constitui-se, portanto, em uma ferramenta de apoio à avaliação dos solos, aumentando o potencial de utilização dos dados disponíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EARNSHAW, R. A.; WISEMAN, N. *An introductory guide to scientific visualization*. Alemanha: Springer-Verlag, 156 p, 1992.
- FUJISHIRO, I.; MAEDA, Y.; SATO, H.; TAKESHIMA, Y. Volumetric data exploration using interval volume. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 2, n. 2, p. 144-155, 1996.
- KAUFMAN, A. E. Volume visualization. *ACM Computing Surveys*, v. 28, n. 1, p. 165-167, 1996.
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia. Relações solo-planta*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 262 p, 1979.

- IESCHECK, A. L. *Representação e visualização volumétrica de dados espaciais para avaliação de solos*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, PR, 166p, 2006.
- IESCHECK, A. L.; SLUTER, C. R.; AYUP-ZOUAIN, R. N. Interpolação Qualitativa de Dados Espaciais. *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol. 14, n. 4, p. 523-540, 2008.
- MITASOVA, H.; HOFIERKA, J. Interpolation by regularized spline with tension: II. Application to terrain modeling and surface geometry analysis. *Mathematical Geology*, vol. 25, p. 657-667, 1993.
- MITASOVA, H.; MITAS, L. Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. *Mathematical Geology*, vol. 25, p. 641-655, 1993.
- PAIVA, A. C. ; SEIXAS, R. B. ; GATTASS, M. *Introdução à visualização volumétrica*. PUC-RioInf.MCC03/99. Rio de Janeiro, 106 p, 1999.
- RAPER, J. *Multidimensional geographic information science*. Londres: Taylor & Francis, 300 p, 2000.

(Recebido em novembro de 2008. Aceito em setembro de 2009).