

MODELOS DIGITAIS DE TERRENOS CONCEITUAÇÃO E IMPORTÂNCIA

Celestino Aspiazú^{*}
Laci Mota Alves^{**}
Oswaldo Ferreira Valente^{***}

RESUMO

O solo é o substrato, a base de grande parte dos recursos naturais. A representação gráfica do seu relevo é tarefa quase sempre imprescindível. Reproduzir sobre um plano, graficamente, a sensação de que o relevo terrestre esteja sendo representado espacialmente é processo prático, acessível, rápido e barato. São apresentados conceitos básicos relacionados com a elaboração e apresentação, por meio de computadores, de modelos digitais em perspectiva e a importância que estes últimos têm do ponto de vista aplicativo.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo de recursos naturais, digitalização de curvas de nível.

DIGITAL TERRAIN MODELS - CONCEPTS AND IMPORTANCE

ABSTRACT

The ground is the substrate of most natural resources. Graphically representing ground relief is almost always an indispensable task. To reproduce on a plane, graphically, the feeling about the terrain relief being represented, is a practical accessible, fast and economic procedure. Presented on this paper are basic concepts in relation to terrain perspective model elaboration and presentation using computers, and their importance considered from the application standpoint.

KEY-WORDS: Management of natural resources, contour lines digitizing.

1. INTRODUÇÃO

O planejamento e o manejo de recursos naturais requerem, frequentemente, um bom mapeamento. O solo é o substrato de grande parte desses recursos e a representação gráfica do seu relevo é tarefa indispensável. Mapas de levantamentos planialtimétricos reproduzem as curvas de nível do terreno. Porém, estas exigem alto grau de abstração para poderem reconstruir os modelos desses relevos. Noções realistas do conjunto das diferenças de nível da superfície terrestre são, às vezes,

* Eng.-Agrônomo, Ph.D., Professor do Departamento de Engenharia Florestal da U. F. de Viçosa, Viçosa, MG.

** Eng.-Florestal, atualmente cursando o Doutorado no Departamento de Solos da U. F. de Viçosa, Viçosa, MG.

*** Eng.-Florestal da U.F. de Viçosa, Viçosa, MG.

procuradas por meio da construção de maquetes a partir de mapas topográficos. Essas miniaturas da realidade requerem acurado senso artístico e tempo. Além disso, em razão da escassez de literatura referente ao assunto, são poucos os que se dedicam a essa atividade. A fotogrametria, baseada na visão tridimensional, é eficiente para uma visualização da configuração do relevo do solo. Porém, essa visão não é prática.

Reproduzir sobre um plano, graficamente, a sensação do relevo terrestre, representado espacialmente é um processo prático, acessível, rápido e barato, levando em consideração os recursos computacionais atualmente disponíveis. O desenho perspectivo procura representar, sobre uma folha de papel ou no vídeo, os objetos tais quais se apresentam, posicionados em determinado ponto de vista.

A obtenção de modelos em perspectiva torna-se possível por meio da digitalização de mapas. O processamento dos dados digitais do terreno requer a concorrência da computação eletrônica, sendo necessário dar ênfase à utilização de microcomputadores, por serem equipamentos extremamente poderosos e confiáveis.

Neste trabalho, são apresentados conceitos básicos relacionados à elaboração e apresentação de modelos em perspectiva, por meio de computadores, e a importância que estes têm, do ponto de vista aplicativo.

2. CARACTERIZAÇÃO E ORIGEM DOS MODELOS

Os modelos em perspectiva são conhecidos como Modelos Digitais do Terreno ("*Digital Terrain Model*" ou DTM), ou Modelos Digitais da Superfície ("*Digital Ground Model*", DGM). O termo Modelo Digital do Terreno é o mais utilizado. Segundo DOYLE (1978), ele parece ter origem num trabalho de Charles L. Miller e colaboradores; no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, entre 1955 a 1960.

Todas as expressões acima fazem referência à aquisição, processamento e utilização de dados digitais para a elaboração de modelos que representem, graficamente, o relevo da superfície terrestre. DOYLE (1978) os definiu como arranjos ordenados de números, que reproduzem a distribuição espacial das características do terreno. Na maioria das vezes, essa distribuição é representada por um sistema de coordenadas retangulares ou pela latitude e longitude. A característica do terreno, geralmente referenciada, é o relevo estimado pela sua cota ou altitude. Além da elevação, podem ser incluídas, nos modelos, muitas outras feições do terreno. Essas referem-se a tipo de solo, posse, valor da propriedade, profundidade do leito da rocha matriz, uso da terra e outros. Daí, surgiu a expressão Modelo Digital de Elevação ("*Digital Elevation Model*", DEM), para se referir aos modelos que consideram, como característica do terreno, somente a elevação. MIKHAIL et al. (1978) consideram os modelos de elevação como subconjuntos dos modelos digitais do terreno.

3. OBTENÇÃO DE DADOS

Os dados para elaboração dos modelos podem ser obtidos de mapas, de estereomodelos fotogramétricos, de levantamentos terrestres, ou por meio de outros sistemas como altímetros instalados a bordo de aviões e espaçonaves (DOYLE 1978). O método usual para aquisição de dados de mapas consiste em percorrer as curvas de nível, mediante a movimentação do cursor de um digitalizador. Durante o

percurso, são digitados no computador os valores das coordenadas cartesianas, obtidos automaticamente a intervalos regulares. As curvas de nível ficam aproximadas por vetores. Daí, o nome de digitalização vetorial dado a este método. Trata-se de uma operação que, além de cansativa, apresenta alta probabilidade de erros, por omissão ou duplicação de dados.

Esse processo pode ser melhorado, utilizando-se instrumentos que percorram automaticamente as curvas de nível na placa original com a qual foi confeccionado o mapa (DOYLE 1978). A placa é preparada apagando todos os números. Os espaços por eles deixados são preenchidos de modo a completar o traçado das curvas. O instrumento começa a percorrer cada curva a partir do ponto em que intercepta um borde da placa e continua seu deslocamento até completar o seu percurso. Pode ser necessária a intervenção do operador, quando as curvas forem fechadas dentro dos limites da placa, isto é, quando as curvas não interceptarem o borde do mapa.

Um segundo procedimento consiste na digitalização das curvas de nível dos mapas por varreduras feitas linearmente ("*rasters*"). Toda vez que uma curva for atravessada pelo varredor, são armazenadas as coordenadas cartesianas do ponto de intercepção. Às vezes, esses dados são posteriormente processados para vetorizar as curvas. Este método apresenta as mesmas dificuldades que o precedente, quanto à elevação correspondente às curvas.

Um outro procedimento consiste em filmar, com câmara de vídeo, o mapa e transferir a imagem para o computador, no qual ela fica armazenada em forma digital. Neste caso, também, é preciso levar em conta os espaços ocupados pelos valores das curvas de nível.

MacDOUGALL (1976) cita vários métodos manuais, cuja escolha depende da precisão desejada e do uso dos dados. Nesses, o mapa é quadriculado, ou se usa uma transparência quadriculada superposta a ele. Fica assim disposta uma matriz, cujos elementos são constituídos pelas interseções das linhas longitudinais e verticais das quadrículas. Estas últimas são, também, chamadas de células. Tais interseções formam uma rede de nódulos ou pontos nodais, centrais ou básicos. A cota, ou altitude, de cada ponto nodal, é estimada pela interpolação visual. Para isso, tomam-se, como referência, as duas curvas de nível adjacentes mais próximas, entre as quais o referido ponto está contido. MacDougall recomenda uma série de itens a serem seguidos para determinar as dimensões ideais da matriz. A utilização de métodos de interpolação manual só pode ser justificada pela carência de equipamentos para a digitalização automatizada. Porém, a organização dos dados em forma de rede é válida e já foi utilizada por ALVES (1982) para preencher as células de uma rede com valores interpolados automaticamente com microcomputador após digitalização vetorial das curvas de nível de um mapa topográfico. As redes permitem organizar os dados em forma simples e conveniente.

A segunda maior fonte de dados está constituída pelos estereomodelos fotogramétricos, cujos dados, extraídos por instrumental automatizado, são instantaneamente gravados em fitas de papel ou magnéticas. São digitalizadas as curvas de nível, os perfis, os pontos de inflexão da declividade do terreno, as linhas de drenagem e os divisores de águas (DOYLE 1978). BAXTER (1976) afirma que o modelo digital do terreno torna-se consideravelmente mais vantajoso quando se têm por base modelos fotogramétricos. Finalmente, altímetros constituídos por aparelhos de radar e também de raios laser, fornecem dados de elevação diretamente em forma digital.

ACKERMANN (1978) estudou a obtenção de curvas de nível a partir de

modelos digitais de terreno, levando em consideração a precisão requerida pelos mapas topográficos e cartográficos. Os resultados confirmaram a equivalência entre as curvas de nível obtidas por digitalização e as provenientes diretamente da fotogrametria ou dos levantamentos topográficos.

4. ARMAZENAMENTO E MANEJO DE DADOS

Qualquer que seja o procedimento para obter os dados, a quantidade deles a ser armazenada sempre é grande. Para poderem ser utilizados convenientemente, os dados devem ser organizados com informações que permitam identificá-los apropriadamente, visando otimizar o processamento.

Os meios atualmente utilizáveis para o armazenamento de dados são variados. A adoção de determinado meio deverá levar em consideração a quantidade de dados que ele pode armazenar. A elaboração de modelos de áreas terrestres relativamente pequenas permite a utilização de discos flexíveis. Esses discos podem ser de 8 polegadas, praticamente em desuso na atualidade; de 5,25 polegadas, os mais comuns no Brasil; ou de 3,50 polegadas que dispõem de maior capacidade de armazenamento. Todos eles são utilizados por microcomputadores. Discos de 5,25 polegadas de dupla face e dupla densidade permitem o armazenamento de 360 kbytes por unidade gravada. Já estão disponíveis, no mercado, acionadores de discos de 5,25 polegadas que permitem a formatação quádrupla, possibilitando a gravação de até 1,2 Mbytes por unidade.

Em se tratando de modelos representando áreas geográficas de grandes dimensões, o armazenamento só será possível com a utilização de discos rígidos ou de fitas magnéticas compatíveis com o computador. Os discos rígidos possuem grande capacidade de armazenamento e altas taxas de transferência (40 ou mais vezes a taxa de transferência dos acionadores de discos flexíveis) (ASPIAZÚ & BRITES 1989). No mercado são encontrados dispositivos para microcomputadores de 16 bits, padrão IBM, com capacidade de armazenamento de 10, 20, 30 e 44Mbytes.

Existem, atualmente, fitas magnéticas para conexão direta a microcomputadores. Antigamente, para a recuperação dos dados contidos nas fitas, era necessário conectar o microcomputador a um computador de maior porte (*mainframe*) e, após este último ter lido a fita, arquivos de interesse eram transferidos para o microcomputador. Fitas cartucho (*streamer*) também podem ser utilizadas e está sendo planejada a utilização de discos óticos (LIGHT 1986).

Antes de começar a armazenar os dados, é preciso decidir quanto à forma dos arquivos que conterão os dados. A formatação dos arquivos deverá ser feita considerando as possíveis aplicações e os prováveis usuários, visando possibilitar a utilização dos dados por outras organizações ou instituições. Isto porque, uma vez que os dados tenham sido armazenados, será difícil e dispendiosa a adaptação do formato para o atendimento de usuários com necessidades específicas não previstas no planejamento dos arquivos.

5. PRÉ-PROCESSAMENTO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

O pre-processamento é indispensável para dispor os dados em condições de utilização na elaboração dos modelos. Em primeiro lugar, é necessário apresentar os

dados em forma visual através de gráficos ou numa tela de vídeo. A visualização permitirá determinar o grau de qualidade dos dados, com base na existência ou não de superposições e dados errados ou faltantes. Qualquer uma destas situações deverá ser corrigida antes dos dados serem submetidos ao processamento.

Usualmente, é necessário dispor de programas de computação que transformem os dados, visando permitir a conversão recíproca entre curvas de nível, perfis e redes com dados de elevação da superfície. Se os dados tiverem sido adquiridos com varredores, é necessário transformá-los em dados lineares através da vetorização.

A transformação das coordenadas também faz parte do pré-processamento. Ela tem por finalidade dispor os dados, georeferenciados com sistemas de coordenadas diferentes, num sistema comum a todos. Outros pré-processamentos usuais consistem no ajustamento das superfícies e na interpolação. O ajustamento de superfícies é feito usando parâmetros calculados mediante funções matemáticas. A interpolação pode ser bidimensional ou polimomial; este pré-processamento é utilizado para a confecção de redes matriciais.

O processamento dos dados está diretamente ligado às aplicações para as quais são elaborados os modelos. As operações matemáticas relacionadas com o processamento foram resumidas por DOYLE (1978) como segue:

- a) dadas as coordenadas X e Y, achar a elevação Z;
- b) dado um arranjo de coordenadas X, Y e Z, ajustar uma superfície matemática que defina Z em função de X e Y;
- c) dado um arranjo de conjuntos de coordenadas X, Y e Z a intervalos fixos, interpolar para achar o valor de Z para quaisquer outros valores de X e Y.;
- d) determinar a interseção de linhas retas ou curvas com uma superfície definida matematicamente;
- e) determinar a interseção de planos horizontais, verticais ou inclinados, com a superfície definida matematicamente; e
- f) determinar o volume de terra existente entre superfícies definidas.

6. APLICAÇÕES ATUAIS DOS MODELOS

As aplicações dos modelos são variadas. Eles permitem traçar curvas de nível mediante interpolação (ALLAM 1978) ou pela interseção de um plano horizontal com uma superfície definida matematicamente. Dados de perfis digitalizados durante a produção de ortofotografias foram utilizados por YOUNG & ISBELL (1978) para o traçado de curvas de nível e a produção de seções transversais e visões tridimensionais em perspectiva.

Os modelos vêm sendo utilizados há muitos anos na escolha dos percursos mais convenientes para estradas, permitindo levar em consideração fatores ambientais e cênicos (TURNER 1978). Eles são também usados para calcular volumes de terra a serem removidos para o traçado de estradas e volumes de água contidos em reservatórios.

Com relação aos recursos naturais, as aplicações estão constituídas, essencialmente, por análises topográficas. A análise de declividades permite determinar as condições de acesso a regiões potencialmente aptas para alguma finalidade. A análise da orientação direcional de um dado local quanto ao aspecto, por exemplo, tem grande importância com relação aos fatores micrometeorológicos atuantes na região (radiação solar incidente, temperatura e umidade do ar e ventos).

TESCHE & BERGSTROM (1978) usaram dados digitais de regiões de topografia complexa para estudos de modelagem, tais como simulação de padrões de fluxo do vento sobre áreas costeiras e montanhosas na Califórnia e de qualidade do ar relacionada com a visibilidade de áreas remotas e cênicas. YOUNG (1978) simulou resultados da exploração de florestas. Os modelos digitais permitem também analisar a visibilidade que uma cena terá a um observador situado numa dada posição topográfica; esta análise é importante no planejamento de parques florestais (traçado de trilhas, escolha de locais para acampar).

Modelos digitais da paisagem, assim como fotografias aéreas foram aplicadas na detecção de alterações ou erros em mapas, tanto planimétricos como altimétricos (MASRY & McLAREN 1978). As alterações ocorridas com o tempo, em florestas, também foram acompanhadas através da análise de modelos digitais (MULLER et al. 1978).

Outras aplicações têm consistido na produção de estereopares com imagens orbitais Landsat; os dados de elevação fornecidos pelo modelo foram utilizados para calcular as paralaxes que poderiam ter sido geradas numa imagem obtida de uma estação de observação escolhida, com o objetivo de permitir a visão tridimensional (DOYLE 1978; SHORT 1982; TANAKA & SUGA 1979). DUBAYAH & DOZIER (1986) usaram modelos digitais para a obtenção de representações ortográficas em perspectiva. Doyle também faz menção da utilização de modelos para simular imagens de radar.

A evolução dos modelos, quanto às suas aplicações, está ligada à evolução do sensoriamento remoto. Tanto os modelos quanto as imagens orbitais consistem de dados digitais. Assim, surgiu, naturalmente, a ideia de combinar, através da superposição, ambas as fontes de dados. Assim, FLEMING & HOFFER (1978) procuraram resolver dificuldades causadas pelo relevo na interpretação de imagens orbitais que eles estavam utilizando para o mapeamento de tipos de cobertura florestal; eles combinaram imagens MSS Landsat com dados topográficos referentes à elevação, inclinação e orientação direcional (aspecto). Na mesma época, TESCHE & BERGSTROM (1978), lidando com modelos digitais, recomendaram a combinação desses com dados relacionados com a cobertura do solo, para facilitar estudos semelhantes ao realizado por eles.

Para a interpretação de imagens orbitais é indispensável dispor de dados terrestres (mapas de vegetação, de solos, topográficos, etc.). Assim, após a euforia inicial pela colocação em órbita do primeiro satélite dedicado ao estudo de recursos naturais, o satélite ERTS-1 (depois chamado Landsat-1), surgiu a ideia de digitalizar os dados terrestres e também combiná-los através da superposição, com as imagens orbitais. A digitalização de dados analógicos (isarithmas e coropletas) já havia sido considerada por MacDOUGALL (1976). Esta foi a evolução seguida pelos modelos digitais e as imagens orbitais, que deu origem, nos Estados Unidos da América, aos "*Sistemas de Informação Geográfica*". Um exemplo de integração de modelos digitais num Sistema de Informação Geográfica baseado na utilização de dendroquadrantes (*quadtrees*) é dado por CEBRIAN et al. (1985). MOREHOUSE (1986) fornece detalhes do ARC/INFO, um Sistema de Informações Geográficas de ampla difusão, atualmente, nos Estados Unidos da América, que faz uso de modelos digitais.

No Brasil, o desenvolvimento de modelos digitais terrestres para serem combinados com imagens orbitais, foi iniciado em 1980 e concluído em 1982, com o uso de microcomputador. (ALVES 1982). Pouco após, PONZONI (1984), utilizando

um dos modelos desenvolvidos por Alves, produziu um sistema de armazenamento e superposição de dados geográficos mediante microcomputador, constituindo, realmente, um Sistema de Informação Geográfica. Porém, este tinha aplicação limitada pela escassa capacidade de memória do equipamento utilizado (microcomputador HP9845B de 64 Kbytes). Nem Alves nem Ponzoni tentaram a combinação de modelos com imagens orbitais, devido, principalmente, à falta de computadores mais possantes. Posteriormente, GONÇALVES (1979) desenvolveu um Sistema de Informação Geográfica para microcomputador compatível com o padrão IBM PC.

Os modelos digitais são parte importante desses sistemas, mas não ficam limitados à sua participação neles. Esses modelos têm outras aplicações específicas, sendo a cartográfica uma das mais importantes. Daí a necessidade de acompanhar os avanços no desenvolvimento dos mesmos, especialmente no que se refere aos recursos computacionais utilizados e à precisão possível de ser obtida, que é função do tipo de aplicação previsto.

7. REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, F. Experimental investigation into the accuracy of contouring from DTM. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.44, n.12, p.1537-1548, 1978.
- ALLAM, M.M. DTM application in topographic mapping. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.44, n.12, p.1513-1520, 1978.
- ALVES, L.M. **Construção de modelos em perspectiva por meio da digitalização de mapas topográficos**. Viçosa UFV, 1982. 64p. Tese Mestrado.
- ASPIAZÚ, C.; BRITES, R.S. **SIGs - Sistemas de Informações geográficos, conceituação e importância**. Viçosa: SIF, 1989. 29p. (SIF. Boletim Técnico, 2).
- CEBRIAN, J.A.; NOWER, J.E.; MARK, D.M. Analysis and display of digital elevation models within a quadtree-based geographic information system. In: AUTO-CARTO 7 DIGITAL REPRESENTATIONS OF SPATIAL KNOWLEDGE, 1985. Washington, DC. **Proceedings**. Fall Church: American Society of Photogrametry/American Congress on Surveying and Mapping, 1985. p.55-64.
- DOYLE, F.J. Digital terrain models: an overview. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.44, n.12, p.1481-1485, 1978.
- DUBAYAH, R.O.; DOZIER, J. Orthographic terrain views using data derived from digital elevation models. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.52, n.4, p.509-518, 1986.
- FLEMING, M.D.; HOFFER, R.M. Machine processing of Landsat MSS data and DMA topographic data for forest cover type mapping. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY DATA SYMPOSIUM, 5, 1979 West Lafayette. **Machine ...** West Lafayette: Purdue University, 1979. p.377-390.
- GONÇALVES, W. **Um sistema de informações geográficas em microcomputador de 16 bits compatível com IBM/PC - Aplicação do método de combinação linear**. Viçosa: UFV, 1989. 56p. Tese Mestrado.

- LIGHT, D.L. Planning for optical disk technology with digital cartography. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.52, n.4, p.551 -557, 1986.
- MACDOUGALL, E.B. **Computer programming for spatial problems**. London: Edward Arnold, 1976. 160p.
- MASRY, S.E.; McLAREN, R.A. Digital map revision. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** v.45, n.2, p.183-200, 1979.
- MIKHAIL, E.M.; HELAVA, U.V.; JANCAITIS, J.R.; DOYLE, F.J.; HELMERING, R.J.; ACKERMANN, F.; TURNER, A.K. Panel discussion: the future of DMT. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.44, n.12, p.1487-1497, 1978.
- MILLER, L.D.; NUALCHAWEE, K.; TOM, C. **Analysis of dynamics of shifting cultivation in the tropical forests of northern Thailand using landscape modeling and classification of Landsat imagery**. Maryland: NASA, 1978. 19p. (Technical Memorandum, 79545).
- MOREHOUSE, S. ARC/INFO: a geo-relational model for spatial information. In: AUTO-CARTO 7 DIGITAL REPRESENTATIONS OF SPATIAL KNOWLEDGE, 1985, Washington, D.D. **Proceedings** Fall Church: American Society of Photogrammetry/American Congress on Surveying and Mapping, 1985. p.388-398.
- PONZONI, F.J. **Desenvolvimento de um sistema de armazenamento e superposição de informações regionais mediante microcomputador**. Viçosa: UFV, 1984. 75p. Tese Mestrado.
- SHORT, N.M. The **Landsat tutorial workbook**; basics of satellite remote sensing. Washington: NASH, 1982. 524p.
- TANAKA, S.; SUGA, Y. Landscape drawing from Landsat MSS data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.45, n.10, p.1345-1351, 1979.
- TESCHE, T.W.; BERGSTROM, R.W. Use of digital terrain data in meteorological and air quality modeling. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.44, n.12, p.1549-1559, 1978.