

DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DE CURVAS DE NÍVEL VIA MESAS DIGITALIZADORAS

Comissão Técnica III: Cartografia

Emerson Magnus de A. Xavier¹

Jorge Luís Nunes e S. Brito²

Instituto Militar de Engenharia (IME)

Departamento de Engenharia Cartográfica (DE/6)

Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha

Rio de Janeiro, RJ – CEP 22290-270

¹emerson@aquarius.ime.eb.br; ²jnunes@epq.ime.eb.br

RESUMO

Uma das principais fontes de dados para a produção modelos digitais do terreno (MDT) é a entrada de dados através da utilização de mesas digitalizadoras. Estas são equipamentos que traduzem informações gráficas em informações digitais expressando-a em par de coordenadas (X,Y). O trabalho tem por objetivos a concepção e implementação de um sistema de aquisição de dados cartográficos digitais, tridimensionais, obtidos através da digitalização das curvas de nível de uma carta topográfica. De posse desses dados será então possível gerar um MDT. Fez-se necessário o desenvolvimento de um *driver* próprio para a utilização da mesa pelo aplicativo feito. Também foi aplicada uma rotina para realizar o georreferenciamento dos dados enviados pela mesa. Após a implementação do algoritmo foram realizados testes em que os dados enviados pela mesa e traduzidos pelo *software* apresentaram uma variação menor que o erro gráfico máximo permitido.

ABSTRACT

One of the main sources of data for the production digital terrain models (DTM) is the data entry through the use of digitizers. These are equipment that translate graphical information into digital information expressing it in pairs of coordinates (X,Y). The work aims the conception and implementation of a system of acquisition of digital, three-dimensional cartographic data, gotten through the digitizing of contour lines of a topographic map. These data it will generate a DTM. The connection between the digitizer and the computer was established through a driver, which was implemented. A computer routine for georeferencing of gathered data was also implemented. The tests have indicated that the georeferenced data present errors that are below the threshold allowed for cartographic purposes.

1 INTRODUÇÃO

A digitalização de um documento cartográfico consiste em transformar informações que estão em meio físico (o papel da carta topográfica) em meio digital. A digitalização é feita na forma vetorial, isto é, os contornos das feições são transformados em um conjunto de pontos.

Uma das principais fontes de dados para a produção de documentos cartográficos e modelos digitais do terreno (MDT) é a entrada de dados através da utilização de mesas digitalizadoras. Estas são equipamentos que traduzem informações gráficas em

informações digitais, que poderão ser processados por computadores.

Na tentativa de serem de uso genérico, e não especificamente cartográficos, os sistemas disponíveis para Cartografia Apoiada por Computador são bastante complexos e, freqüentemente, requerem certo conhecimento de sua utilização, para que se possa digitalizar uma simples curva de nível ou outra feição fisicamente materializada (ou não) no terreno. Além da complexidade de utilização, os sistemas anteriormente mencionados são geralmente desenvolvidos no exterior, chegando ao usuário brasileiro em forma de "caixas-pretas". Nesse sentido, a pesquisa ora proposta visa ao domínio de tecnologia na área de Cartografia Apoiada por Computador.

O trabalho tem por objetivos a concepção e implementação de um sistema de aquisição de dados cartográficos digitais, tridimensionais, obtidos através da digitalização das curvas de nível de uma carta topográfica. De posse desses dados será então possível

gerar um modelo digital do terreno, para posterior uso na correção geométrica de imagens fotogramétricas digitais.

A Mesa Digitalizadora Digicon (MDD) utilizada neste trabalho traduz a posição do transdutor (cursor) em informação digital, expressando-a em par de coordenadas (X,Y), e enviando a mesma para o computador ou terminal. Para se gerar um MDT é necessário o conhecimento de 3 coordenadas: X, Y e Z. Como a mesa já fornece X e Y, o Z será então fornecido pelo usuário do software, de acordo com o que consta na carta topográfica. Para tal, serão digitalizadas preferencialmente as curvas de nível, feições que possuem como característica a altitude constante de seus pontos.

A tendência natural é que o estudo possibilite a entrada de dados num Sistema de Informações Geográficas de Aplicação Militar, também de grande utilidade para as escolas de formação e aperfeiçoamento da linha bélica, além de outras organizações militares, de forma a acelerar o processo de análise de informações sobre o relevo de uma região "geográfica". A importância dessa pesquisa reside em se desenvolver um programa simples, que seja capaz de originar os dados que permitam a criação de um MDT.

2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada consistiu nas seguintes etapas:

2.1 Escolha dos materiais: Os materiais utilizados foram os seguintes: computador para o desenvolvimento dos aplicativos, mesa digitalizadora DIGICON (Summagraphics - Microgrid) e um computador para teste dos programas conectado à mesa digitalizadora. Além desses equipamentos utilizou o ambiente de desenvolvimento de *software* Borland Delphi, da Inprise. Para a visualização dos MDT's criados optou-se pelo uso do Surfer, desenvolvido pela Golden Software.

2.2 Pesquisa bibliográfica: Nesta fase foram selecionadas as principais abordagens para a solução do problema encontradas na literatura. Um estudo foi então dirigido para a solução do mesmo. Destaca-se nessa fase o mini-curso de Delphi para eletrônica, apresentado pela revista "Saber Eletrônica" (Vilela, 1999). Esse mini-curso forneceu suporte técnico à comunicação serial de um aplicativo desenvolvido no Delphi, além de fornecer, gratuitamente, em sua *home page*, os componentes para essa comunicação.

2.3 Desenvolvimento do algoritmo: O desenvolvimento do algoritmo foi realizado através das etapas descritas a seguir:

2.3.1 Comunicação Mesa « Micro: Surgiu a necessidade de desenvolver um *driver* próprio para a utilização da mesa pelo aplicativo feito no Delphi. A solução encontrada foi a utilização do componente para Delphi "TComPort" desenvolvido por Dejan Crnila, esloveno da University of Ljubljana (Vilela, 1999). Apesar da complexidade inerente a esse tipo de comunicação, que necessita do conhecimento de linguagens de baixo nível, este componente é um *freeware*, ou seja, quem o desenvolveu não cobra pelo seu uso. Todas as funções que liam os dados enviados pela porta serial (padrão RS-232C) foram desenvolvidas baseadas nesse componente. A mesa envia comandos de software na forma de *strings* (Digicon, 1987). Portanto usa-se os métodos desse componente, armazenando a mensagem recebida para posterior análise, de onde serão tirados os valores de X e Y necessários ao MDT.

2.3.2 Tradução do dados enviados pela mesa: A mesa pode enviar o valor da coordenada em dois formatos: ASCII BCD ou Binário Compactado. Esse formato é configurado pelo próprio *hardware* da mesa, via chave (*Dip Switch*). O modo escolhido foi o ASCII BCD, por ser de mais fácil interpretação que o Binário Compactado (Digicon, 1987). A apresentação em contagens desse formato de envio dos dados é "SXXXXXASYYYYAFFAT<CR><LF>" onde S é o sinal em ASCII, podendo ser "+" ou "-"; X é um dígito em ASCII BCD, varia de "0" a "9", representa a coordenada X; A é o separador, normalmente a vírgula ","; Y é um dígito em ASCII BCD, varia de "0" a "9", representa a coordenada Y; FF são dois caracteres em ASCII BCD, variando de "00" até "04", indica a tecla pressionada; T é também um caracter ASCII BCD, variando de "0" a "6", indica o modelo da mesa; <CR><LF> são caracteres ASCII indicando "Carriage Return" e "Line Feed" (Zelenovski e Mendonça, 1999), apenas indicam o final da mensagem transmitida.

2.3.3 Georreferenciamento da Mesa @ Mundo: O georreferenciamento consiste em se criar pontos no meio digital homólogos no documento cartográfico, de forma que eles estejam compatíveis. Dessa forma, como o usuário necessita das coordenadas E, N e H do sistema de projeção da carta topográfica e a mesa envia em coordenadas de mesa X e Y, há a necessidade de se transformar as coordenadas [X,Y] enviadas em coordenadas [E,N,H] que são as coordenadas da carta ou de mundo. O modelo matemático utilizado foi a Transformação Afim, que é implementada através das fórmulas (1) e (2) :

$$E = a_0 + a_1x + a_2y \quad (1)$$

$$N = b_0 + b_1x + b_2y \quad (2)$$

onde: E e N são as coordenadas de mundo no sistema de projeção da carta; x e y são as coordenadas de mesa; a_0 , b_0 , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 são os parâmetros da transformação.

Os parâmetros são obtidos através de um ajustamento pelo Modelo Paramétrico, utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados (Vasconcellos, 1999). Como os parâmetros são sempre em número de seis, deve-se optar por colher então, pelo menos quatro pontos não-colineares homólogos da mesa em relação à carta. Este número se justifica pelo fato de cada ponto possuir duas coordenadas cartesianas distintas, x e y ou E e N. Este modelo se caracteriza por poder explicitar as observações em função dos parâmetros (equação 3). A modelagem matemática fornece então os parâmetros ajustados, nesse caso os coeficientes da transformação afim, que serão amplamente utilizados em todo o processo de digitalização das feições.

$$F(X_a) = L_a \quad (3)$$

O modelo paramétrico implica na seguinte formulação de cálculo para a determinação dos parâmetros ajustados (equação 4):

$$X_a = (A^T P A)^{-1} (A^T P L_b) \quad (4)$$

Na equação (4), “P” é a matriz dos pesos das observações brutas, porém as observações são tomadas no quadriculado da carta, que serve de referência para todo documento. Logo, todas as observações têm o mesmo peso. Em vista desse fato, adota-se a matriz identidade como sendo a matriz dos pesos. Computacionalmente, a equação matricial “ X_a ” é transformada no sistema de equações lineares (5) e resolvida pelo método numérico da decomposição LU (Dieguez, 1992).

$$(A^T A) X_a = A^T L_b \quad (5)$$

Uma vez encontrados os referidos parâmetros de transformação, cada vez que um dado é enviado pela mesa, é automaticamente convertido para coordenadas já georreferenciadas.

2.3.4 Georreferenciamento Vídeo ® Mundo: Este georreferenciamento será necessário para possibilitar a visualização, no monitor de vídeo, das coordenadas geradas pelo programa. Este procedimento é para facilitar o uso do aplicativo pelo operador, que poderá acompanhar o seu trabalho de forma mais confortável e segura. Este georreferenciamento também utiliza-se da Transformação Afim. O Delphi usa um objeto com propriedades, métodos e eventos próprios para a manipulação dos *pixels* num aplicativo, denomina-se “Canvas” (Cantù, 2000).

2.3.5 Análise da qualidade do georreferenciamento: Para que o usuário tenha uma idéia da qualidade do ajustamento, para saber se atende às suas necessidades, foi inserida mais esta capacidade no aplicativo. Ainda utilizando-se do Modelo Paramétrico de ajustamento, foram aplicadas as seguintes fórmulas, com o intuito de saber os resíduos das observações “V” (equação 6) e

consequentemente a variância da unidade de peso a posteriori $\hat{s}_0^2$ (equação 7).

$$V = A \cdot X_a - L_b \quad (6)$$

$$\hat{s}_0^2 = \frac{V^T \cdot P \cdot V}{n - m} \quad (7)$$

Com “P” ainda sendo representado pela matriz identidade, n o número de observações (2 vezes o número de pontos coletados) e m parâmetros (sempre seis).

Os resíduos das observações e a variância a posteriori são bons indicadores da qualidade do ajustamento. Valores muito elevados para esse parâmetro indicam que houve algum erro na entrada dos pontos de controle. A principal análise que pode ser feita a partir daí é o teste de hipóteses para variância da unidade de peso a posteriori. Utilizando um nível de confiança de 95% é realizado um teste de hipóteses sobre tal valor utilizando a distribuição Qui-quadrado (Vasconcellos, 1999). O intervalo de confiança é definido pela equação (8) e a hipótese a formular está representada na equação (9), que tem como aceitação a verificação do intervalo.

$$\left[c_1^2 \cdot \frac{s_0^2}{n - m} \leq \hat{s}_0^2 \leq c_2^2 \cdot \frac{s_0^2}{n - m} \right] \quad (8)$$

$$H_0 : \hat{s}_0^2 = (s_0^2)_H \quad (9)$$

Os valores de χ_i^2 que poderão ser usados pelo usuário são escritos no próprio algoritmo e acessados de acordo com o caso a que se refere. Ao final dos cálculos, o programa informa se o georreferenciamento foi bem sucedido ou não.

3 IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do algoritmo foi feita no compilador Borland Delphi, tendo sempre a preocupação de tornar o aplicativo o mais simples possível de usar. Essa simplicidade irá dispensar o usuário do programa de conhecimentos de computação, concentrando suas atenções no trabalho de digitalização propriamente dito. A interatividade do usuário com o aplicativo também foi levada em conta. A cada nova coordenada inserida ela é mostrada no monitor. Essas preocupações foram levadas em conta durante a implementação do *software*.

4 TESTES

Essenciais no desenvolvimento de qualquer *software*, a fase de testes iniciou-se logo após o desenvolvimento do primeiro protótipo da comunicação

serial concomitantemente com a implementação do aplicativo. Após a detecção de um problema, é consultada a bibliografia adotada. Logo após, é formulada uma solução para esse determinado problema, seguida do desenvolvimento do algoritmo. Após este algoritmo estar pronto, o mesmo é formatado em linguagem própria do compilador, é a implementação. Estando esse algoritmo já como rotinas de computador, é então possível realizar os testes. Se erros forem detectados, deve-se fazer uma depuração de tudo o que foi feito até então, para descobrir se esse erro teve origem na implementação, desenvolvimento do algoritmo ou na pesquisa bibliográfica. Seja em qual parte da metodologia for detectado o erro, o mesmo deve ser sanado e retomados os testes, até que os resultados obtidos sejam satisfatórios. Esta é uma das etapas do trabalho que requer mais atenção durante sua execução. Erros grosseiros são comuns na produção de aplicativos.

5 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho serão apresentados de acordo com as etapas desenvolvidas:

5.1 Comunicação Mesa « Micro: Os dados enviados pela mesa digitalizadora são recebidos numa forma, a princípio, ininteligível. Com o conhecimento do formato enviado e do ASCII foi possível traduzir a mensagem enviada pela mesa. Percebeu-se claramente que nem sempre o dado esperado é o recebido. Por exemplo, no caso da vírgula, o *bit* mais significativo foi alterado de 0 para 1, fato que ocorreu em boa parte dos dados. Mas os valores numéricos ASCII BCD, representados no *nible* menos significativo, estão intactos, conferindo com o esperado. Na representação do BCD, têm-se um byte completo, porém BCD utiliza apenas 4 *bits*, nesse caso os menos significativos. Em alguns *bytes*, alguns valores BCD coincidiram com o ASCII padrão. Foi feito um estudo com diversos pontos enviados para que se pudesse chegar a parâmetros confiáveis de interpretação.

5.2 Georreferenciamento Mesa ® Mundo: Após georreferenciar a mesa a uma carta topográfica nela colocada, foram tomados nove pontos de coordenadas planas conhecidas. Para se ter uma maior certeza do valor verdadeiro de E e N que esses pontos apresentavam, os mesmos foram escolhidos como pontos no próprio reticulado da carta. A carta estava na escala 1:50000, sendo o valor do erro gráfico para tomada dos pontos calculado pela equação (10). O valor 0,2 representa o valor 0,2 mm, que é o comprimento da menor feição que o olho humano pode identificar, e dE_c é o denominador da escala da carta. Obtêm-se então como resultado o valor de 10 metros, que é o valor máximo do erro de tomada de pontos no terreno, nessa escala.

$$e = 0,2 \times dE_c \quad (10)$$

Após uma análise de diversos pontos de coordenadas conhecidas, percebeu-se que os valores informados pelo *software*, após o georreferenciamento, apresentaram erros, em coordenadas de mundo, menores do que o erro máximo permitido. Todos os valores apresentaram erros, em módulo, menores do que 10 m, alguns com erro na casa do centímetro, fato que comprova a correção da implementação realizada.

5.3 Georreferenciamento Vídeo ® Mundo: Este georreferenciamento pode ser realizado através da análise das curvas de nível digitalizadas na mesa, visualizadas em uma janela de dispositivo. Observando a Fig. 1 é possível perceber que nenhuma curva de nível cruzou outra nessa representação no vídeo. Apesar das limitações da saída gráfica é possível ter uma noção de que a geometria da feição no vídeo se assemelha muito com a feição representada na carta topográfica. O compromisso do aplicativo é com a aparência das curvas de nível no acompanhamento da digitalização, e não com sua integridade geométrica com acurácia superior.

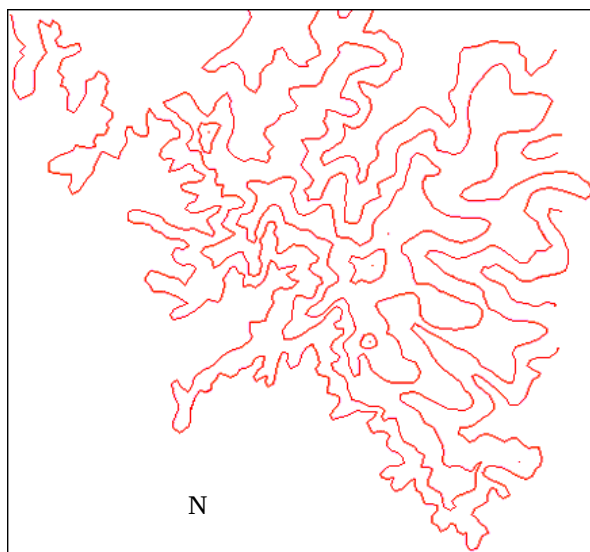


Fig. 1 – Arquivo matricial obtido na digitalização de curvas de nível.

5.4 Análise da Qualidade do Georreferenciamento Mesa ® Mundo: Os cálculos foram feitos utilizando o software MathCAD e os resultados foram idênticos aos apresentados pelo aplicativo. Estes estão apresentados nas equações (11) a (13).

$$X_a = (A^T A)^{-1} (A^T L_b) = \begin{bmatrix} 764162791 \\ 1,2519241 \\ 0.02195196 \\ 66858560609 \\ -0.0241736 \\ 1.25025487 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$V = A X_a - L_b = \begin{bmatrix} -1.268 \\ -0.915 \\ 1.267 \\ 0.914 \\ 1.269 \\ 0.916 \\ -1.269 \\ -0.915 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\hat{s}_0^2 = \frac{V^T V}{n-m} = \frac{9.783166}{2 \cdot 4 - 6} = 4.891583 \quad (13)$$

5.5 Visualização dos MDT's Gerados: A formatação do arquivo ASCII com a massa de coordenadas [X,Y,Z] para a entrada no Surfer é bastante simples. Os dados devem estar dispostos linhas, com cada linha contendo um valor para a coordenada X, outro para a Y e mais um para Z. Esses valores devem estar separados por, pelo menos, um espaço em branco. A Fig. 2 representa o exemplo de um MDT gerado a partir de dados obtidos com o uso do aplicativo.

Dentro do ambiente do Surfer o usuário poderá criar modelos digitais do terreno de acordo com suas necessidades, uma vez que é um *software* poderoso e bastante conhecido para a análise de MDT's. Vale salientar que as aplicações desses modelos do terreno estão diretamente ligadas às precisões alcançadas na geração da massa de dados que originaram o mesmo.

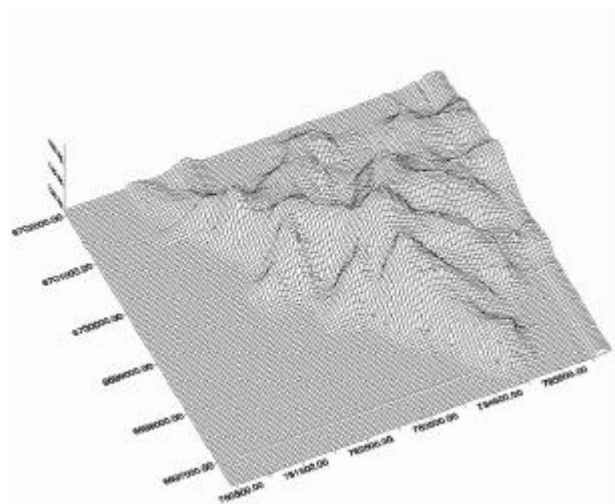


Fig. 2 – MDT visualizado utilizando o *software* Surfer.

5.6 Discussão dos Resultados: É possível obter os dados [X,Y] enviados pela mesa digitalizadora. Com a mensagem enviada traduzida, torna-se possível fazer qualquer trabalho em que se necessite extrair as coordenadas planas da mesa. O georreferenciamento da mesa ao documento cartográfico possibilita que as coordenadas de mesa - enviadas ao computador - sejam transformadas em coordenadas de mundo - reconhecíveis pelo usuário. A qualidade do georreferenciamento foi considerada satisfatória, após uma análise dos resultados obtidos. Ao se trabalhar com E e N, a massa de pontos [E,N,H] gerado pelo programa, sendo E e N fornecidos após uma conversão das coordenadas de mesa e H fornecido pelo usuário, poderá então gerar o modelo digital do terreno.

6 CONCLUSÕES

Os resultados da presente pesquisa indicam que os objetivos propostos foram alcançados. O aplicativo desenvolvido demonstrou que é possível fazer um *software* nacional de qualidade e que atenda às necessidades dos usuários da Cartografia Apoiada por Computador. Pode-se também perceber que essa pesquisa, visto à quantidade de ferramentas utilizadas (eletrônica, computação) aplicadas à cartografia denota o caráter interdisciplinar desse projeto. Esse estudo detalhado da comunicação entre um computador e um dispositivo via RS-232C poderá muito bem ser aplicado em algum outro projeto em que se faça necessário esse tipo de conhecimento.

O acompanhamento do trabalho de digitalização, imprescindível para auxiliar o trabalho do usuário é possível e funciona de forma a apresentar o que já foi digitalizado. Essa capacidade deve ser levada em conta para se realizar um bom trabalho de digitalização. Uma análise da qualidade do ajustamento realizado no georreferenciamento da mesa ao mundo permite que seja avaliado este ajustamento, apresentando os resultados ao usuário que, a partir de suas necessidades de trabalho, possa optar ou não por fazer um novo georreferenciamento.

A importância do desenvolvimento desse aplicativo está no fato de ser um meio fácil e barato de se obter dados para a criação de um MDT. Poderá vir a ser usado por usuários que possuam mesas digitalizadoras e computadores, porém não dispõem dos recursos necessários para se adquirir *softwares* profissionais para essa área.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cantù, Marco, 2000. *Dominando o Delphi 5*, Makron Books, São Paulo, 861 páginas.

- Dieguez, José P.P, 1992. Métodos numéricos computacionais para a engenharia, V. 1, Interciência, Rio de Janeiro, 301 páginas.
- Digicon S.A., 1987. Mesa digitalizadora - manual de instalação, operação, interfaceamento e programação, Ver 1.1., 76 páginas.
- Vasconcellos, J.C.P., 1999. Ajustamento de observações: modelos e análises, Notas de aula, UERJ, Rio de Janeiro, 203 páginas.
- Vilela, Eduardo D.D., 1999. Programação Delphi para eletrônica. Saber eletrônica, N° 14, pp. 17-25.
- Zelenovski, R. e A. Mendonça, 1999. PC: um guia prático de hardware e interfaceamento, 2. ed., MZ Editora, Rio de Janeiro, 762 páginas.