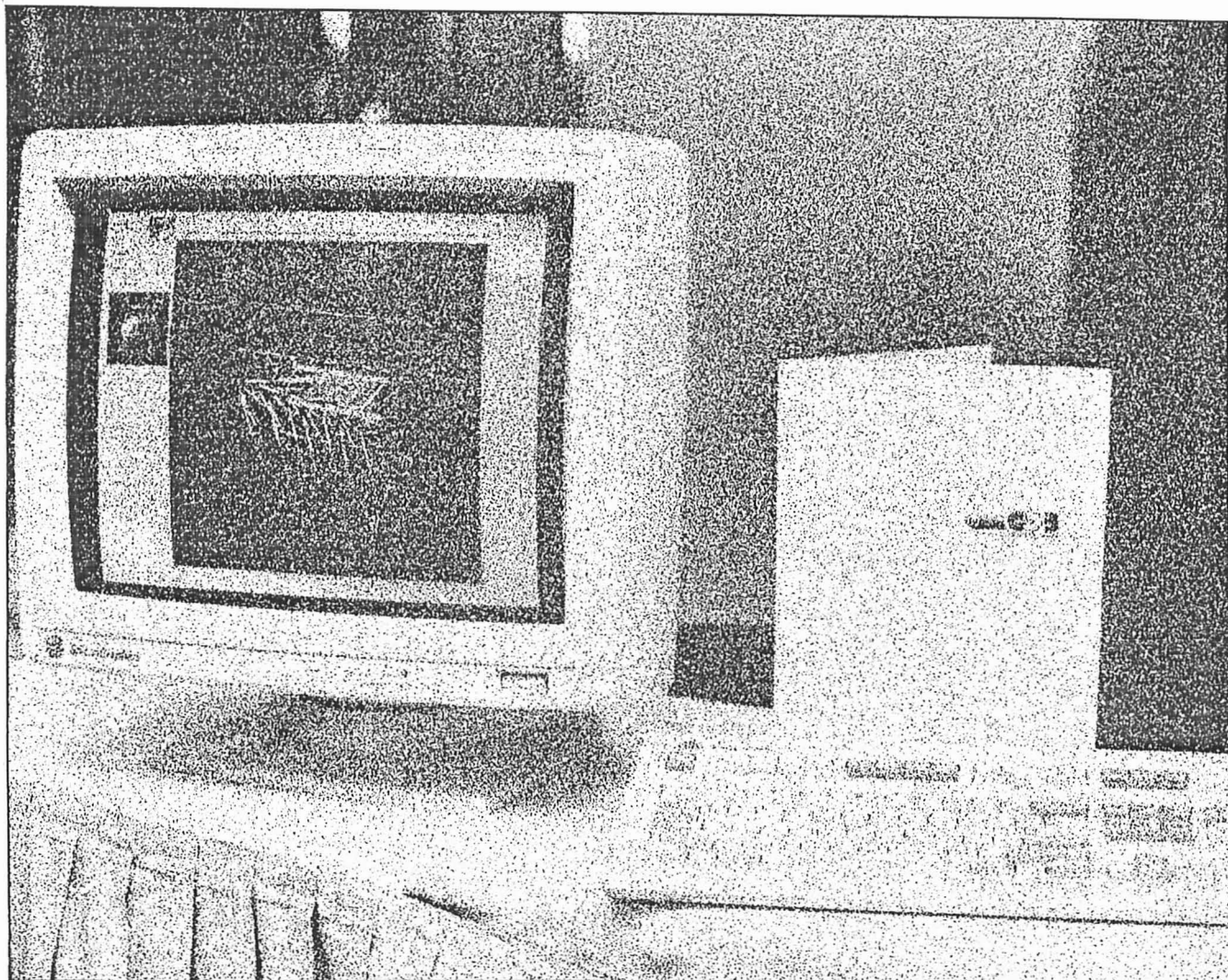




INFORMÁTICA

Infomap: um software aplicado à geologia

Celso Tatizana (1) e Jorge Kazuo Yamamoto (2)

Modelos digitais de terrenos (MDT) são conjuntos de dados de elevações armazenadas em uma malha topologicamente regular, os quais são normalmente utilizados para representações da topografia de uma determinada região.

As técnicas utilizadas para processamento e representação de MDTs podem ser estendidas para quaisquer variáveis numéricas georreferenciadas como toques e espessuras.

Esta forma de armazenamento apresenta as vantagens de dispensar o armazenamento e recuperação das coordenadas dos pontos, uma vez que os dados estão dispostos regularmente, além de facilitar sobremaneira o desenvolvimento de algoritmos para as representações gráficas espaciais como os blocos diagramas, mapas de isovalores e cálculos de parâmetros de interesse como volumes e declividade do terreno.

A representação de relevos por meio de MDT foi a solução adotada pelo United States Geological Survey para armazenamento das elevações de terrenos em cartas topográficas no banco de dados geográficos, denominado USGeoData

(USGS, 1986). Este banco cobre todo os Estados Unidos, em várias escalas.

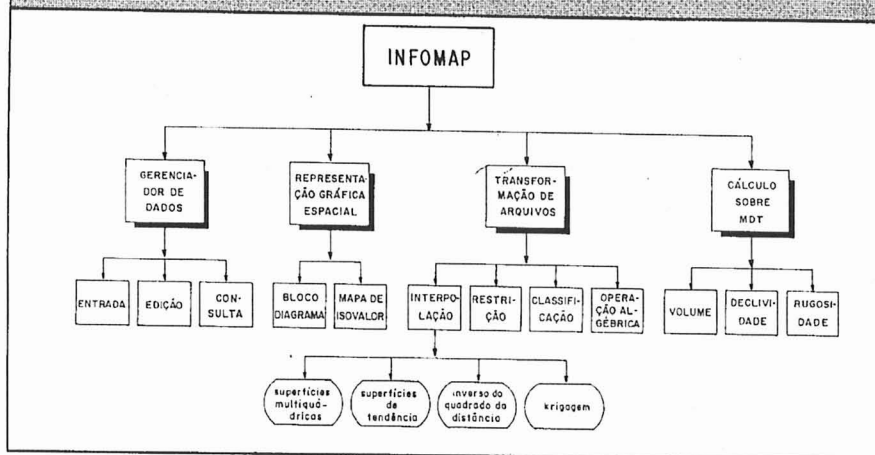
Entretanto, dificilmente as investigações em Geociências resultam em dados distribuídos regularmente e sim distribuídas irregularmente na área pesquisada. Portanto, a regularização destes dados, para construção do modelo digital que represente a variação no espaço da variável de interesse, requer rotinas de interpolações adequadas a cada caso específico.

Geralmente os programas de computação disponíveis comercialmente, para representações gráficas de MDTs em microcomputadores, apresentam algumas limitações que dificultam a uti-

(1) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

(2) Instituto de Geociências da USP.

Figura 1: Módulos principais do sistema INFOMAP.



lização pelo usuário final:

- Falta de controle sobre os processos de interpolação de dados. Normalmente os softwares limitam-se aos processos de interpolação pelo método dos mínimos quadrados e Krigagem com modelo linear de ajuste automático. No entanto, a interpolação é a fase de maior importância na obtenção do modelo digital, influenciando tanto no aspecto das representações gráficas, como nos cálculos numéricos aplicados sobre estes modelos;
- Indefinição da área de interesse, denominada de fronteira convexa, onde o processo de interpolação é válido. Com isto o sistema pode criar dados por extrapolação em regiões onde não existem informações suficientes;
- Falta de gerenciador de dados de MDT que facilite a entrada, edição, transformação e consulta de dados e arquivos dos MDTs, não obstante ser uma das fases mais demorada e custosa durante a operação do sistema.

O sistema INFOMAP, que ora se apresenta, propõe-se a fornecer uma alternativa para a geração e processamento de modelos digitais de terrenos, num ambiente integrado e de fácil utilização pelo usuário.

Aplicações de MDI em geologia

Como os modelos digitais de terrenos são bases de dados de grandezas numéricas regularmente espaçadas, torna-se fácil a sua manipulação, apresentando alta flexibilidade para a obtenção de inúmeros produtos aplicados em geologia de engenharia e mineração. Entre as mais importantes aplicações de MDT pode-se citar:

a) Auxílio no estudo do comportamento espacial de grandezas numéricas (cotas, espessuras, teores, etc...), através das representações gráficas na forma de mapa de isovalores, blocos-diagramas e perfis;

b) Cálculo de volumes a partir do MDT, incluindo cálculo de volume de um reservatório natural, cálculo de volume do material de remoção de uma elevação, cálculo de volume de uma camada ou veio, cálculo de volume do material de aterro e remoção em projetos de estradas, dado um determinado traçado;

c) Planejamento de uma lavra através da estimação de teores em malha regular;

d) Como parâmetro básico na construção de cartas de planejamento de uso e de ocupação do solo;

e) Como instrumento auxiliar no estudo de processos geomorfológicos de interesse à geologia de engenharia como os processos de erosão, escorregamentos e enchentes;

f) Para planejamento na locação de obras lineares (estradas, ferrovias) ou pontuais (barragens, edifícios) de engenharia.

Sistema INFOMAP

INFOMAP é um software de modelos digitais de terrenos aplicado à Geologia, para microcomputadores pessoais da linha IBM-PC, compatível com periféricos nacionais.

O Sistema, como um todo, forma um ambiente integrado (Fig. 1), composto por 4 módulos principais: 1 - Gerenciamento de dados; 2 - Transformação de dados; 3 - Representações gráficas espaciais; 4 - Cálculos

1 - Módulo de Gerenciamento de Dados

O sistema permite a entrada de dados de informações localizadas irregularmente no espaço, no formato X, Y, Z (Fig. 2), ou de informações

regulares na forma de MDT, sendo que neste caso são gravados apenas o valor de Z em uma ordem pré-definida pelo usuário.

Todo arquivo de dados do sistema é cadastrado automaticamente na base de dados indexada, com uma ficha de descrição que qualifica o tipo de informação, bem como o formato de gravação. O armazenamento em arquivos na forma de banco de dados facilita, sobremaneira, a consulta e a edição de informações.

2 - Módulo de Transformação de Dados

O sistema permite a criação de novos arquivos de dados a partir de arquivos já existentes, através de vários processos de transformação de arquivos: A - Interpolação; B - Restrição; C - Classificação; D - Operação algébrica. As rotinas de transformação criam novos arquivos, preservando os originais, com cadastro e descrição automática do novo arquivo de dados no banco de dados do sistema.

A) Interpolação

As rotinas de interpolação transformam um arquivo de informações irregularmente espaçadas em formato X, Y, Z para um arquivo regularizado (modelo digital) de formato Z, com número de linhas e colunas pré-definidas pelo usuário. A partir destes dados interpolados é possível visualizar o modelo digital utilizando o módulo de representações gráficas espaciais.

O sistema apresenta várias formas de interpolação.

• Ponderação pelo Inverso do quadrado da distância (IQD).

Método de interpolação local, proposto por Shepard (1968), sendo um dos mais comumente utilizados, preferido por sua simplicidade e rapidez. A fórmula geral para interpolação de um ponto com ponderação pelo inverso da distância é:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n F_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

onde: F é o valor interpolado;

F_i é o valor observado no ponto i;

W_i = 1/D_i² é o ponderador;

D_i = [(X_i-X)² + (Y_i-Y)²]^{1/2} é a distância entre o ponto i e o ponto a ser interpolado;

Figura 2: Tela de entrada de dados do sistema INFOMAP

1989	INFOMAP: SOFTWARE DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO		DRGM/PT
ENTRADA EDICAO SAIDA PESQUISA REPRESENTACAO TRANSFORMACAO CALCULO DRIVE FIM			
CADASTRO DO MAPA SANTOS.DBF			
Descr. <u>mapa topografico</u>			
Coord. canto sup. esquerdo <u>0.00</u> <u>100.00</u> Leitura 0			
Coord. canto inf. direito <u>100.00</u> <u>0.00</u> Escala <u>1:10000</u>			
ENTRADA DE PONTOS IRREGULARES			
X	Y	Z	
2.0	3.0	14.0	
3.0	6.0	23.0	
4.0	6.0	19.0	
8.0	9.0		
VERSAO INICIAL - 1989			

n = número de pontos a ser interpolado;
p = potência da distância.

• Equações multiquádricas

Hardy (1975) et al. sugerem a aplicação de equações multiquádricas para a representação analítica da superfície de um terreno, a partir de um conjunto discreto de pontos de observação. A forma geral de uma equação multiquádrica é dada como se segue:

$$F = \sum_{i=1}^n C_i [(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + C]/p^2$$

onde: C_i é o coeficiente da equação multiquádrica;
 X_i é a coordenada leste oeste do ponto i ;
 Y_i é a coordenada norte sul do ponto i ;
 X é a coordenada leste oeste do ponto a ser interpolado;
 Y é a coordenada norte sul do ponto a ser interpolado;
 F é o valor da variável dependente interpolada;
 C é uma constante que irá definir os termos da superfície multiquádrica.

• Superfícies de tendência

Método de interpolação global, onde é feito o ajuste de uma superfície polinomial aos pontos amostrados, utilizando o método dos mínimos quadrados. A fórmula geral do cálculo de interpolação é:

$$F = \sum_{i=0}^m \left(\sum_{j=0}^{m-i} C_{ij} \cdot x^i \cdot y^j \right)$$

onde: F é a variável dependente;
 m é o grau do polinômio;
 C_{ij} são os coeficientes do polinômio;
 Y é a coordenada norte sul;
 X é a coordenada leste oeste.

• Krigagem

A krigagem é um processo de estimação local, que pode ser utilizado para se estimar o valor desconhecido Z sobre o nó de uma malha regular a partir de um conjunto de pontos vizinhos ao nó. O processo de krigagem definido pelo sistema é composto de 3 procedimentos distintos:

- definição do variograma experimental, a partir de cálculos de semi variâncias em várias direções;
- ajuste iterativo de variogramas com escolha

de modelos: linear, esférico, exponencial;

- geração de malha regular, a partir do modelo escolhido.

B) Restrição

Esta rotina cria um novo arquivo a partir da delimitação da área de interesse contida num arquivo pré-existente.

C) Classificação

Os valores numéricos podem ser transforma-

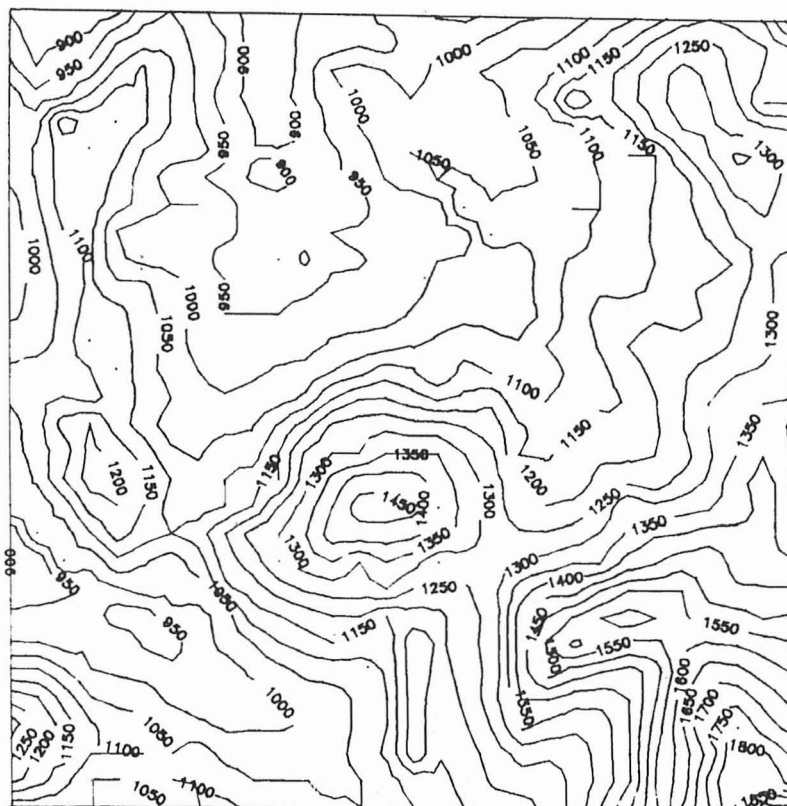
dos em códigos alfanuméricos que representam faixas de valores, que poderão ser utilizados para a composição de mapas na forma de clorópletos.

D) Transformação algébrica

Através desta rotina, os valores de Z podem ser transformados através de operações algébricas de soma, subtração, multiplicação, divisão e logaritmo.

3 - Módulo de Representações Gráficas Espaciais

FIGURA 3



Mapa de contorno do modelo digital do terreno de uma região de relevo acidentado do município de Petrópolis-RJ (Folha Fundrem).
Área: 3000 x 3000 m
Curva máxima: 1900 m
Intervalo de traçado: 50 m
Curva mínima: 500m
Intervalo de rotulação: 50 m

USINAGEM DE ALTO PADRÃO

Usinagem e tempera por indução de peças até 3,5 m de diâmetro, inclusive dentes retos, helicoidais e internos.

• FRESAGEM DE DENTES • TORNEADO • RETIFICA • TEMPERA • FURAÇÃO

Soluções rápidas, eficientes e econômicas.



POLITEC

Indústria de Usinagem

Rua Lídia Blanck, 48 - CEP 09920
Diadema - SP - Telefax: (011) 456-7977
Tele: 11 44677 RRER BR - CP 281

(011) 445-4877

O modelo digital do terreno real ou obtido por interpolação pode ser representado graficamente na forma de mapa de isovalores e bloco diagrama.

O sistema traça o mapa de isovalor utilizando o método de rastreamento de curvas, considerado o mais adequado para microcomputadores porque otimiza a memória alocada. Neste método, para cada linha de isovalor a ser traçada, é feito um rastreamento ao longo da malha fazendo o traçado da linha até que se feche em si mesma ou encontre a borda do mapa. Os mapas são traçados no monitor de vídeo, na impressora ou em plotadora nacional com as curvas identificadas com os valores respectivos (Fig. 3).

A representação em bloco diagrama é obtida através da projeção em perspectiva que consiste na transformação das três coordenadas de cada ponto do MDT para outras duas que são lançadas no plano de projeção, utilizando as fórmulas de Kubert et al. (1968). O bloco diagrama é apresentado sem as linhas ocultas, a diferentes ângulos de visadas e sobrelevação (Fig. 4).

4 - Módulo de Cálculos

A partir do modelo digital do terreno, o sistema estima alguns parâmetros numéricos de interesse à Geologia:

1) Cálculo de declividade do terreno

Os métodos clássicos mais comumente empregados se baseiam na análise do espaçamento de curvas de nível (Biasi, 1970) ou na contagem de curvas de nível em uma unidade de área pré-definida. Um método alternativo foi proposto por Yamamoto & Tatizana (1988), a partir de

MDT, sendo descrito o algoritmo a seguir. Em cada nó do modelo digital do terreno pesquisase os nós vizinhos mais próximos, com os quais são calculadas as declividades com relação ao nó central, atribuindo-se ao mesmo o maior valor encontrado. A declividade em cada par de pontos é calculada da seguinte forma:

$$dc = 100.(cn - cv)/d$$

onde: dc = declividade do nó ao seu vizinho (%);

cn = cota do nó (m);

cv = cota do vizinho (m);

d = distância entre os nós, assumindo valor da aresta X para os nós que se alinham nesta direção, Y caso a direção seja esta ou raiz quadrada de $(X^2 + Y^2)$ para o caso dos nós se localizarem diagonalmente.

Dessa forma toda a malha regular é varrida obtendo-se, ao final, a matriz de declividade, que pode ser representada na forma de mapa de isovalores de declividade ou simplesmente mapa de declividade. Este método automatizado apresenta algumas vantagens em relação aos métodos clássicos, sendo as principais:

a) Maior flexibilidade na obtenção de cartas de declividade: nos métodos manuais, os mapas de declividade são produzidos a partir de um gabarito que fornece classes de declividade pré-definidas. Se estas classes mostrarem-se inadequadas, o mapa precisa ser refeito a partir da definição de outras. Segundo o método automatizado, as cartas de declividade podem ser redefinidas sempre que necessário a partir de uma única base de dados;

b) Maior objetividade: nos métodos do espaçamento de curvas de nível, a definição de zonas homólogas de declividades em um mapa topográfico depende da experiência e do treinamento do técnico. Dois técnicos poderiam produzir dois mapas diferentes para uma mesma região, visto que o processo é subjetivo.

2) Cálculo de rugosidade do terreno

A rugosidade poderia ser entendida como uma medida da irregularidade do terreno, em função da escala de análise. Uma maneira de se medir esta irregularidade proposta por Hobson (1972), consiste em se comparar a área superficial do relevo com sua correspondente projeção planar. A razão entre esta área superficial e a projeção plana seria então uma medida da irregularidade do terreno, assumindo valor em torno de 1 para regiões planas e aumentando com a complexidade do terreno.

No presente trabalho, é proposta uma forma de cálculo deste parâmetro a partir de MDT. O procedimento para o cálculo é descrito a seguir.

a) Cada célula do MDT, definida pelos 4 nós contíguos, é subdividida em quatro triângulos, conforme a figura 5.

b) Determina-se o baricentro (G) da célula como:

$$xg = (x1 + x2 + x3 + x4)/4$$

$$yg = (y1 + y2 + y3 + y4)/4$$

$$yz = (z1 + z2 + z3 + z4)/4$$

onde: xg = coordenada x do baricentro

yg = coordenada y do baricentro

yz = coordenada z do baricentro

BRASIL mineral 1 EDIÇÃO EXTRA ESPECIAL

O setor mineral e o meio ambiente

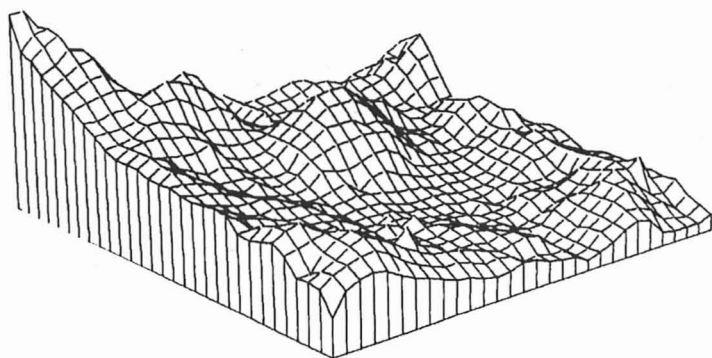
Comó está a questão ambiental nas empresas de mineração, metalurgia, siderurgia e ferro-ligas?

OBS: Esta edição circulará na ECO'92 a ser realizada de 6 à 11 de junho de 1992 no Anhembi.

Autorizações até 15/05/92 Fotolitos impreterivelmente até 22/05/92

Informações - SP - Tel: (011) 814-6899 - Fax: (011) 813-5534 - Telex: (11) 82128
RJ - REPUBLICAR - Tel: (021) 220-1656
MG - REPUBLICAR - Tel: (031) 463-4666 - Fax: (031) 461-7608 - Telex: 39.1071
BA - POOL & ART - Tel: (071) 233-1232 - Fax: (071) 246-9777
GO - ABADIA LIMA - Tel: (062) 251-9286

FIGURA 4



Representação em perspectiva do modelo digital do terreno de uma região de relevo acidentado de Petrópolis-RJ.

Aresta do grid: 100 m

Azimute: 40 graus

Sobrelevação: .6 Distância: 2000 m

Elevação: 20 graus

c) Definem-se quatro triângulos (t1, t2, t3 e t4), tendo o baricentro (G) como o vértice comum;

d) Para calcular a área de cada triângulo, determina-se as arestas como segue, por exemplo, para o triângulo t1:

$$d1 = [(x1-x2)^2 + (y1-y2)^2 + (z1-z2)^2]^{1/2}$$

$$d2 = [(x2-xg)^2 + (y2-yg)^2 + (z2-zg)^2]^{1/2}$$

$$d3 = [(xg-x1)^2 + (yg-y1)^2 + (zg-z1)^2 + (zg-z1)^2]^{1/2}$$

e a altura em relação, por exemplo, à aresta d1 do triângulo t1:

$$h = [d2^2 - ((d1^2 + d2^2 - d3^2) / 2d1)^2]^{1/2}$$

Finalmente a área do triângulo t1 é:

$$\text{area}(t1) = d1.h/2$$

Dessa maneira são calculadas as áreas dos quatro triângulos, que somadas fornecem a área da célula (i) do MDT:

$$Ai = \text{area}(t1) + \text{area}(t2) + \text{area}(t3) + \text{area}(t4)$$

e) A somatória das áreas superficiais de todas as células que compõem o MDT é igual à área superficial do terreno:

$$AS = \sum_{i=1}^n (Ai)$$

f) O índice de rugosidade é definido como:

$$IR = (AS/AB \cdot 1).1000$$

que é zero para superfícies perfeitamente planas e tanto maior quanto maior a complexidade do relevo.

3) Cálculo de volumes

Nas fases de planejamento de projetos de obras de engenharia, desde a implantação de uma barragem até a construção de estradas e ferrovias, são comuns os cálculos de volumes do material de remoção, de aterramento e de preenchimento em reservatórios naturais. Estes cálculos, geralmente, são realizados sobre plantas topográficas, utilizando-se planímetros. Neste trabalho, é apresentada uma nova forma de cálculo a partir de modelos digitais onde são calculados os volumes de preenchimento de uma depressão e de remoção, a partir de um plano datum de uma determinada região. O algoritmo é descrito a seguir:

a) Em cada célula do MDT, definido pelos 4 nós contíguos, é feito o cálculo do volume do prisma entre o plano datum e a superfície do terreno, conforme o esquema a seguir:

b) Da mesma forma que no procedimento anterior, determina-se o baricentro da célula, subdividindo-a em quatro triângulos;

c) Para cada triângulo da célula é feito um teste para saber se o mesmo se encontra acima ou abaixo do plano datum. Se estiver acima do plano datum computa-se o volume de remoção, caso contrário computa-se o volume de preenchimento.

d) O volume representado em cada triângulo é calculado como o volume de um prisma de base triangular, como segue, por exemplo, para o triângulo t1:

$$\begin{aligned} \text{volume remoção} &= \\ (b.a/2).((z1-z) + (z2-z) + |(zg-z))/3 \\ \text{volume preenchimento} &= \\ (b.a/2).((z-z1) + (z-z2) + (z-zg))/3 \end{aligned}$$

onde o primeiro termo entre parenteses é igual a área da base triangular do prisma.

e) Finalmente o volume total de remoção é a somatória de todos os volumes de prismas triangulares que se encontram acima do plano datum e o volume total de preenchimento é a somatória de todos os volumes de prismas triangulares que se encontram abaixo do plano datum.

Utilizando-se da rotina de cálculo de volume referido anteriormente, é possível avaliar o volume de uma camada considerando a superfície superior da camada e a superfície inferior da camada como dois MDTs independentes. O volume entre estes dois MDTs é igual a diferença entre o volume de remoção do MDT da superfície superior da camada e o volume de remoção

SERVIÇO DE CONSULTA

Use o serviço de consulta da revista Brasil Mineral.

Ele é gratuito e põe você frente à frente ao seu fornecedor.

Cartão de Consulta Nesta Edição.

BRASIL
mineral

da superfície inferior, a um plano datum inferior ao menor valor de cota entre os dois MDTs. Basta então aplicar a rotina de cálculo duas vezes e subtrair os resultados.

Considerações finais

O sistema INFOMAP tem como principal objetivo tornar acessível ao usuário não especialista em Geomatemática técnicas sofisticadas de tratamento e representação de dados na forma de modelos digitais de terrenos. O ambiente integrado do sistema INFOMAP e a interface amigável de comunicação dispensa a utilização de manuais e estimula o usuário a produzir várias simulações a partir de uma mesma base de dados, principalmente durante o processo de interpolação, que se constitui em tarefa bastante desgastante em sistema não integrado de análise de dados.

O desenvolvimento do sistema para microcomputadores da linha IBM-PC, traz a vantagem de facilidade de uso e redução de custo de processamento, mas por outro lado torna-se restritivo para arquivo de dados de grandes dimensões, sendo recomendável o processamento em sistemas mainframes, especialmente no processo de interpolação por Krigagem.

O sistema INFOMAP na versão que se apresentou esta sujeita a avaliações mais precisas de sua aplicabilidade e eficiência, as quais serão possíveis com a sua utilização por geólogos e engenheiros de minas.

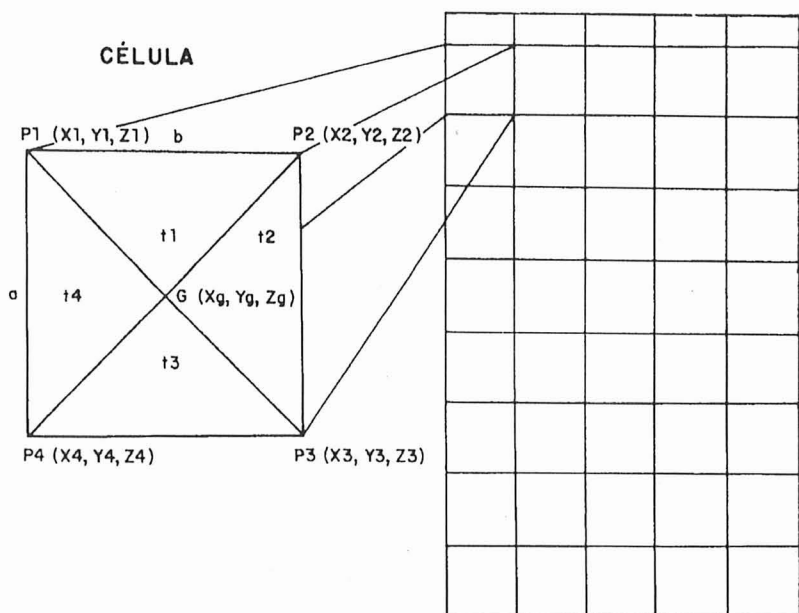
Referências Bibliográficas

- BATCHA, J.P. & REESE, J.R. Surface determination and automatic contouring for mineral exploration, extraction, and processing. *Q. Colo. Sch. Mines*, 1964, v. 59, n.º 1, p. 1-14.
- BIASI, M. de. Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização. *Geomorfologia*, 1970, v.21, p. 8-13.
- HARY, R.L. & GOPFERT, W.M. Least squares prediction of gravity anomalies, geoidal undulations and deflections of the vertical with multiquadric harmonic functions. *Geophysical Research Letters*, 1975, v.2, n.º 10, p. 423-426.

- HOBSON, R.D. Surface roughness in topography: quantitative approach. In: *Spatial analysis in geomorphology*. New York, Harper & Row, 1970, p. 221-245.
- KUBERT, B.; SZABO, J.; GIULIERI, S. The perspective representation of function of two variables. *J. ACM*, 1968, v.15, n.º 2, p. 193-204. 1968.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY-USGS. USGeo-

- data-Digital line graphs from 1:24.000 scale maps. *Data Users Guide q. Virginia*, 1986, 109 p.
- YAMAMOTO, J.K. & TATIZANA, C. Cartas de declividade a partir de modelos digitais de terreno. *Atas do Simpósio Sobre Aplicações de Microcomputadores em Geotecnia - MICROGEO'88*, São Paulo, 1988, v.1, p. 405-415.

FIGURA 5



Representação de uma célula do MDT, formado por 4 pontos contíguos. Representação de uma célula do MDT, formado por 4 pontos contíguos.

a = aresta do eixo Y da célula;
b = aresta do eixo X da célula;

G = baricentro;

P1, P2, P3, P4 = nós que definem a célula.

VOCÊ JÁ RENOVOU A SUA ASSINATURA DE BRASIL MINERAL?



Informações:

Fones: (011) 814-6899/814-6696 - Fax: (011) 813-5534