

SIMPÓSIO SOBRE APLICAÇÕES DE MICROCOMPUTADORES EM GEOTECNIA
MICROGED '88

CARTAS DE DECLIVIDADE A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

JORGE KAZUO YAMAMOTO, Geólogo, Mestre em Geol. Geral e de Aplicação
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT
CELSO TATIZANA, Geólogo
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

RESUMO

Este trabalho apresenta um método computacional para elaboração de cartas de declividade, a partir de modelos digitais de terrenos. Esses modelos podem tanto ser introduzidos diretamente a partir da leitura em cartas topográficas, como também interpolados a partir de pontos de dados cotados, distribuídos irregularmente no terreno, para regiões não cartografadas. O método apresentado calcula a declividade para cada ponto do modelo digital do terreno, usando as informações dos pontos vizinhos, sendo atribuído ao ponto em questão o maior valor encontrado. Os dados de declividade assim obtidos podem ser representados graficamente em mapa de isovalores, para fins de visualização e interpretação das cartas de declividade. O modelo digital do terreno do anfiteatro do Córrego do Fiol, Município de Lavrinhas, SP, será utilizado para elaboração da carta de declividade, conforme o método proposto neste trabalho. A carta de declividade assim obtida será comparada com aquela pela contagem de curvas de nível.

INTRODUÇÃO

A declividade é um dos atributos básicos mais comumente explorada na cartografia geotécnica, uma vez que é um fator diretamente atuante no desenvolvimento e predisposição de vários processos físicos naturais de interesse à geotecnia, como os escorregamentos, erosão e enchentes, além de ser também importante no planejamento de ocupação agrícola de uma região. Normalmente os valores de declividades são obtidos a partir de cartas topográficas contendo curvas de isovalores de altimetria, onde são compostos na forma de cartas de declividade, que servem como base para a construção de cartas geotécnicas diversas, especialmente as cartas de risco. Estas cartas de declividade podem ser obtidas de maneira manual ou automatizada. 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, como são descritos a seguir:

Método do espaçamento de curvas de nível: Utilização de ábacos

contendo a relação de espaçamento entre curvas de nível e declividade, previamente construídos de acordo com a escala da carta topográfica, bem como das classes de declividade que se deseja obter. Este método tem o inconveniente de ser bastante subjetivo no julgamento do espaçamento entre as curvas de nível e de ser totalmente inflexível por definir previamente o intervalo de classes de declividade. Se as classes de declividade forem insatisfatórias, um novo mapa de declividade deverá ser construído com base em outras classes;

Método da contagem de curvas de nível: Divisão da carta topográfica numa malha regular, onde a declividade média de cada retângulo da malha, é definida a partir do número de curvas de nível que está contido dentro deste retângulo. Através de uma tabela de proporcionalidade, o número de curvas é transformado em valor de declividade média. Este método tem a vantagem de facilitar o cruzamento entre os vários atributos básicos que intervêm na construção de cartas temáticas, além de ser menos subjetivo que o método descrito anteriormente. Entretanto, existem algumas imprecisões inerentes ao método, das quais as principais são:

- a declividade não depende apenas do número de curvas dentro de cada retângulo, mas como estas curvas se orientam em relação às arestas do retângulo. Um retângulo que apresente curvas paralelas às arestas apresenta maior valor de declividade média que outro retângulo que apresente o mesmo número de curvas de nível orientadas obliquamente àquelas;
- em cada retângulo existe variação de declividade, tanto maior quanto maior a área do retângulo. Com isto, torna-se necessário definir um tamanho ótimo de retângulo, que irá depender da escala do mapa, do comportamento topográfico do terreno, bem como do tipo de aplicação;
- existe um tamanho mínimo de retângulo, abaixo do qual o cálculo de declividade a partir da contagem de curvas de nível não tem mais sentido.

Este trabalho apresenta uma metodologia alternativa para a construção de cartas de declividade, a partir de modelos digitais do terrenos, a qual pode ser programada e obtida no computador com vantagens em rapidez, precisão, objetividade e principalmente flexibilidade, uma vez que torna-se possível redefinir as classes de declividades e alterar as escalas para se tornarem compatíveis com a escala final da carta temática.

CARTAS DE DECLIVIDADE A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

Os métodos de cálculo de declividade, descritos anteriormente, baseiam-se na análise das curvas de nível: espaçamento ou número de curvas. Um método alternativo é o cálculo da declividade a partir de cotas altimétricas distribuídas regular ou irregularmente sobre o terreno. As cotas altimétricas podem ser fornecidas ao computador de várias formas possíveis:

- a) através de entrada, por mesa digitalizadora, seguindo as curvas de nível de uma carta topográfica. Neste processo, são enviados a uma taxa contínua ou discreta, valores das coordenadas N-S e E-W, e pelo

teclado é fornecido a cota altimétrica de cada curva de nível. Os dados são gravados na forma vetorial (coordenadas N-S,E-W,cota) e posteriormente são regularizados em uma malha de dimensões pré-definidas, através de técnicas de interpolação (krigagem, IQD, superfícies multiquádricas, superfícies de tendência, triangularização, Fai-K, etc.). Este método tem o inconveniente de gerar arquivos de dados geralmente muito volumosos e heterogêneos, com um processamento demorado, necessitando do desenvolvimento de rotinas para filtragem dos valores a serem gravados. Outro grave inconveniente ocorre durante a digitalização das plantas topográficas que apresentam uma alta densidade de curvas de nível, pela demora e imprecisão do processo de digitalização, tornando-se praticamente inviável. Esta técnica é recomendada para áreas com relevos de média a baixa declividade;

b) através de entrada, pelo teclado, de cotas do terreno aleatoriamente espaçadas. Em algumas ocasiões, o trabalho de topografia fornece valores de cotas de alguns pontos do terreno, que são fornecidos na forma vetorial, sendo posteriormente regularizados numa malha de espaçamento adequado, através de técnicas de interpolação. A precisão do mapa de declividade depende da distribuição dos pontos de amostragem;

c) entrada, pelo teclado ou mesa digitalizadora, das cotas lidas de um mapa topográfico, sobreposto por uma malha regularmente espaçada. Em cada nó da malha é lido o valor da cota, retirada da curva de nível subjacente. Este método apresenta as vantagens de já trabalhar com uma malha regular de dados durante a digitalização, evitando o tempo de interpolação e o subjetivismo na escolha da técnica de interpolação, além de facilitar os cruzamentos deste atributo com outros atributos para a construção de cartas temáticas. Outra grande vantagem é de que este processo gera um menor volume de dados gravados, otimizando o volume de massa magnética e agilizando o processamento.

MÉTODO PROPOSTO

Neste trabalho, a digitalização das cotas foi realizada a partir de uma malha regularmente espaçada. Este método apresenta a vantagem de otimizar o volume de gravação dos dados, homogeneizar a amostragem e precisão, e, principalmente, trabalhar com uma amostra de dados previamente regularizada, facilitando futuros cruzamentos de atributos e evitando as interpolações. Esse tipo de representação foi a solução adotada pelo United States Geological Survey para armazenamento das elevações do terreno das cartas topográficas no banco de dados geográficos, denominado de USGeoData (USGS,1986).

Assim, o modelo digital do terreno, que se constitui em elevações do terreno distribuídas sobre um arranjo regular, pode ser obtido diretamente da carta topográfica, ou então, quando esta não for disponível, a partir da interpolação dos nós de uma malha topologicamente regular (YAMAMOTO, 1988). O modelo digital do terreno é definido basicamente pelos números de nós e pela abertura da malha nas direções X e Y.

Em cada nó do modelo digital do terreno, pesquisa-se os nós

vizinhos mais próximos, com os quais são calculadas as declividades com relação ao nó em questão, atribuindo-se ao mesmo, o maior valor encontrado. O número de nós vizinhos pesquisados varia conforme a posição do nó a ser calculado, sendo 3 para os nós situados nos 4 cantos da malha regular, 5 para os nós situados nas laterais da malha e de 8 (a maioria dos nós) para aqueles situados no centro da malha. Dessa forma toda a malha regular é varrida, obtendo-se, ao final, a carta de declividade. Esta carta pode ser representada externamente na forma matricial, contendo os valores de declividade de cada retângulo da malha regular, ou na forma de curva de isovalores de declividades, obtidas através da técnica de rastreamento de curvas (YAMAMOTO, 1988).

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para ilustrar uma aplicação típica do método proposto, foi selecionada uma área de relevo de morros situada no município de Lavrinhas-SP (Figura 1) e construída a carta de declividade a partir do modelo digital do terreno, sendo comparado com a carta de declividade obtida pelo método clássico de contagem de curvas de nível por retângulo.

Em uma folha de papel vegetal, foi traçado uma malha regular com retângulos de 1cm X 1cm de arestas e com comprimento total de 30cm X 30cm, sobreposto a um mapa topográfico de escala 1:10.000 e com curvas de nível de 10 em 10m. Para cada retângulo da malha, foram contabilizados o número de curvas de nível e a cota do centro do retângulo.

a) Carta de declividade pelo método clássico (figura 2): A declividade média de cada retângulo foi tomado como sendo:

$$dr = 100 \cdot (n-1) \cdot dc / (dg)$$

onde: dr = declividade média do retângulo (%)

n = número de curvas de nível contido no retângulo

dc = desnível entre as curvas de nível (no caso, 10m)

dg = diagonal do quadrado (no caso, raiz quadrada de 200)

b) Carta de declividade pelo método proposto (figura 3): As declividades, em cada retângulo, foram calculados através de uma pesquisa dos nós vizinhos, segundo o algoritmo escrito em Pascal, listado em anexo (Anexo 1). A declividade do nó com cada um dos nós vizinhos foi calculado de acordo com a fórmula abaixo:

$$dc = 100 \cdot (cn - cv) / d$$

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 de raiz quadrada de $X^2 + Y^2$ para o caso dos nós se

localizarem diagonalmente.

A declividade do nó em questão é assumido como sendo o maior valor encontrado.

Para fins de comparação, entre os resultados obtidos pela metodologia proposta com o método clássico, calculou-se o erro quadrático médio dos desvios relativos, que mede a variação percentual média entre os valores de declividade obtidos pelos dois métodos:

$$RMS = 100/n * \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{dcci - dcpi}{dcpi} \right)^2}$$

onde: RMS = desvio quadrático médio (%)

n = número de nós

SOMAT = somatória

dcci = declividade pelo método clássico (%)

dcpi = declividade pelo método proposto (%)

O RMS calculado para o exemplo utilizado foi de 32.6%.

Os valores de declividade obtidos pelo método proposto são predominantemente maiores que aqueles obtidos pelo método clássico, sendo em média 30% superiores. Isto decorre do fato de que o método proposto obtém sempre o maior valor de declividade nas várias direções possíveis, enquanto no método clássico a declividade depende da orientação das curvas de nível em relação às arestas do retângulo. Como foi tomado a diagonal do retângulo como sendo a distância horizontal para cálculo da declividade, os retângulos que apresentam curvas tendendo ao paralelismo com as arestas do retângulo, vão produzir valores subestimados de declividade. No método de contagem de curvas de nível, a precisão e confiabilidade depende de uma definição de um tamanho ótimo de aresta, sendo necessário definir tanto um tamanho máximo, como também um tamanho mínimo, abaixo da qual torna-se inválido o cálculo de declividade. No método proposto, é necessário definir apenas um tamanho máximo adequado à aplicação pretendida, uma vez que a precisão do método é inversamente proporcional à dimensão do retângulo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método proposto apresenta algumas vantagens em relação aos métodos comumente empregados (manual ou automatizado), dentre as quais pode-se destacar:

b) maior flexibilidade na obtenção de cartas de declividade. Nos métodos manuais, os mapas de declividade são produzidos a partir de um gabarito que fornecem classes de declividade pré-definidas. Se estas classes mostrarem-se inadequadas, o mapa precisa ser refeito a partir de novas. Segundo o método proposto, 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 acuracidade e do treinamento do técnico;

c) controle da precisão. No método do espaçamento das curvas, a precisão é dependente da habilidade do técnico, e no método de contagem de curvas, a precisão depende da orientação das curvas de nível em relação às arestas do retângulo, e também da definição de um tamanho ótimo de retângulo, sendo inviável para retângulos muito pequenos. Em ambos os métodos, a precisão é de difícil controle. No método proposto, a precisão depende do tamanho de retângulo, sendo tanto maior, quanto menor a dimensão do retângulo;

d) otimização do tempo de digitalização e do volume de armazenamento. No método de digitalização de curvas de nível, o volume de armazenamento de dados e o tempo de digitalização são, em geral, muito grandes, muitas vezes inviabilizando o processo. No método proposto, o volume de gravação é otimizado de acordo com o grau de precisão necessário;

e) malha já regularizada. Dispensa as rotinas de interpolação que são demoradas e dependem da técnica de interpolação. Esta forma matricial facilita o cruzamento com outros atributos básicos para a obtenção de cartas geotécnicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIASI, M. de - 1970 - Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização. Geomorfologia, 21:8-13.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - 1986 - USGeoData-Digital line graphs from 1:24.000 scale maps. Data Users Guide 1. Virginia, 109p.

YAMAMOTO, J.K. - 1988 - Representações gráficas de modelos digitais de terrenos. XXI Congresso Nacional de Informática (inédito).

ANEXO 1 : LISTAGEM DO PROGRAMA DE CÁLCULO DE DECLIVIDADE A PARTIR DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO. Linguagem pascal (turbo pascal versão 4.0) para microcomputadores da linha IBM-PC, sistema operacional DOS versão 2.0 ou posterior.

```
ar
nome_arquivo:string[30];
entrada,saida:text;
i,j,k,l,m,ni,nx,ny,org,iup,ido,jlc,jri:integer;
dx,dy,dxy,delta,dec,max_dec,dummy:real;
cota,decliv:array[1..900] of real;
```

```
begin
  clrscr;
```

```

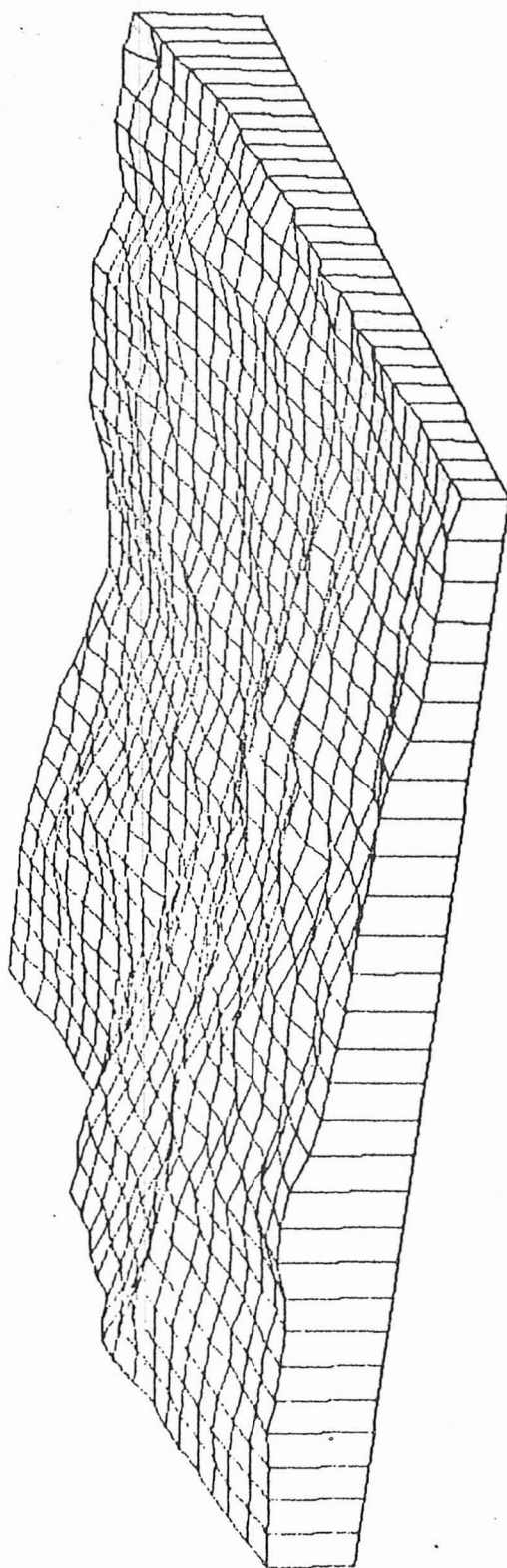
write('qual o nome do arquivo da malha regular=');readln(nome_arquivo);
assign(entrada,nome_arquivo);
reset(entrada);
write('qual o nome do arquivo da carta de declividade=');readln(nome_arquivo);
assign(saida,nome_arquivo);
rewrite(saida);
writeln('a origem da malha regular e sempre no canto inferior esquerdo');
write('qual a organizacao do arquivo (0=X constante e 1=Y constante)=');
readln(org);
writeln('a carta de declividade resultante e organizada sempre em termos de X constante');
write('qual o numero de nos da malha na direcao X=');readln(nx);
write('qual o numero de nos da malha na direcao Y=');readln(ny);
write('qual a abertura da malha na direcao X=');readln(dx);
write('qual a abertura da malha na direcao Y=');readln(dy);
{o modelo digital do terreno e lido em cota}
case org of
  0:begin
    for j:=1 to nx do
      for i:=1 to ny do
        begin
          m:=i+ny*(j-1);
          readln(entrada,cota[m]);
        end;
      end;
  1:begin
    for i:=1 to ny do
      for j:=1 to nx do
        begin
          m:=i+ny*(j-1);
          readln(entrada,cota[m]);
        end;
      end;
end; {end case org of}
{calcula da carta de declividade a partir do modelo digital do terreno}
dxy:=sqrt(sqr(dx)+sqr(dy));
for j:=1 to nx do
  begin
    jle:=j-1;
    jri:=j+1;
    if jle < 1 then jle:=1;
    if jri > nx then jri:=nx;
    for i:=1 to ny do
      begin
        m:=i+ny*(j-1);
        iup:=i+1;
        ido:=i-1;
        if iup > ny then iup:=ny;
        if ido < 1 then ido:=1;
        max_dec:=0;
        for l:=ido to iup do
          for k:=jle to jri do
            begin
              if (k=j) then delta:=dx
                else if (l=i) then delta:=dy

```

```

else delta:=dxy;
mi:=1+ny*(k-1);
dec:=abs(cota[mi]-cota[m])*100/delta;
if dec > max_dec then max_dec:=dec;
end;
decliv[m]:=max_dec;
end;
end;
for i:=ny downto 1 do
begin
for j:=1 to nx do
begin
m:=i+ny*(j-1);
write(saida,decliv[m]:6:0);
end;
writeln(saida);
end;
close(saida);
close(entrada);
end.

```

. FIGURA 1: Bloco diagrama da região de Lavrinhas - SP
Dimensão das arestas do Grid = 100 m - Área total - 90.000 m²

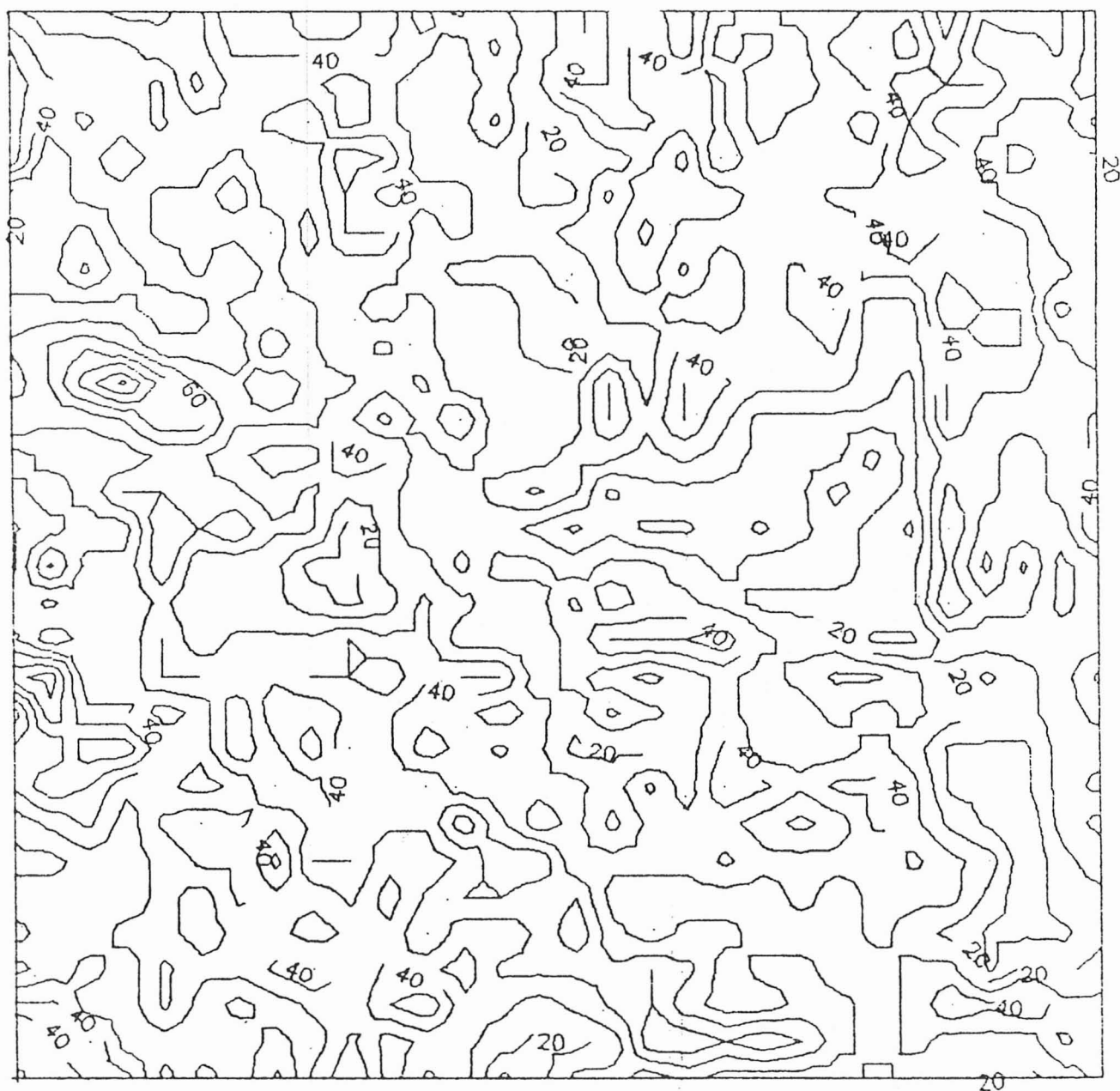


FIGURA 2: Mapa de isovalores de declividade. Método de contagem das curvas de nível.

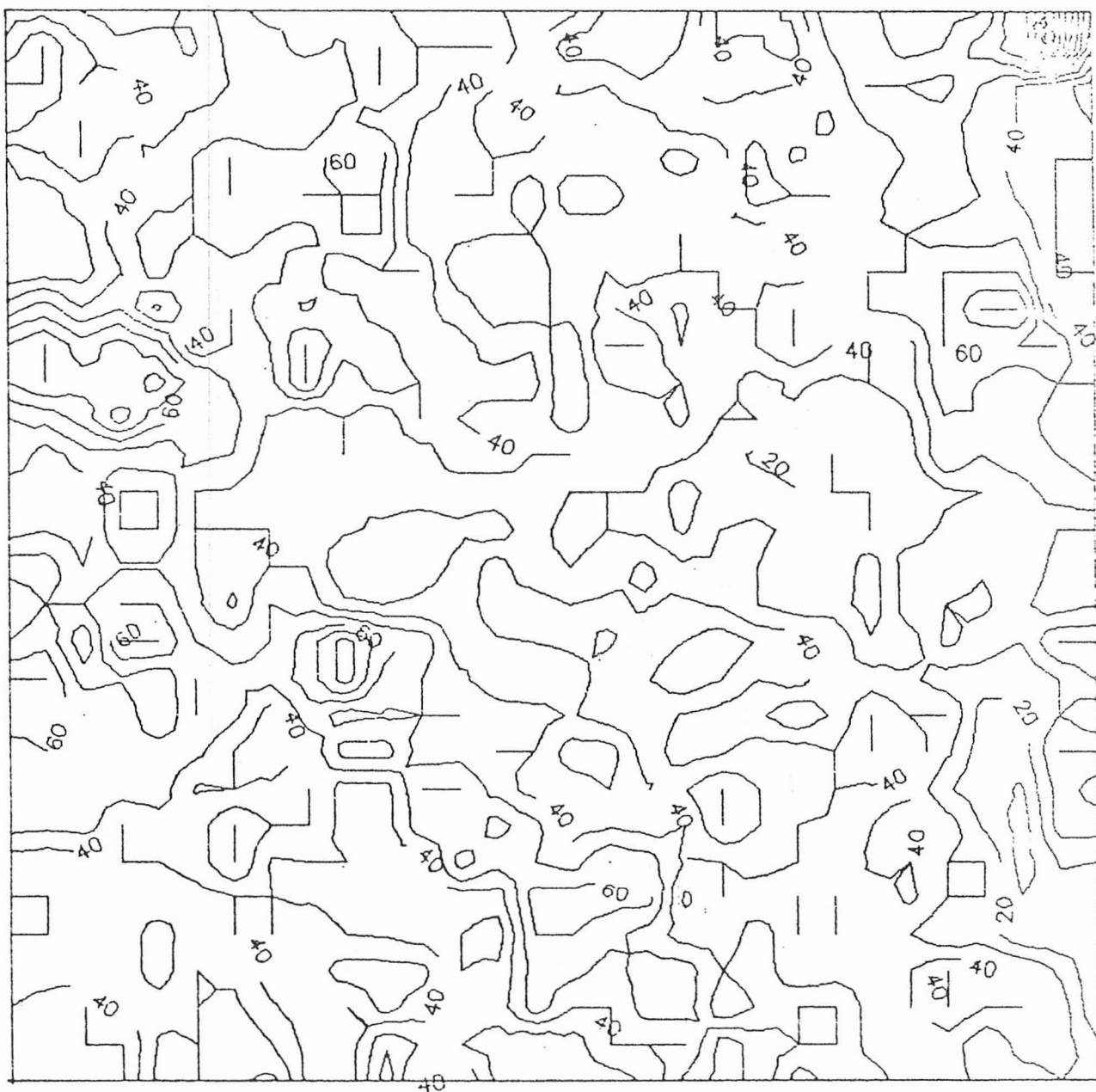


FIGURA 3: Mapa de isovalores de declividade. Método proposto