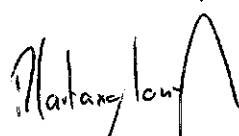
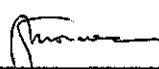



1. Publicação nº <i>INPE-3581-PRE/782</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1985</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR/DDP</i>	Programa <i>COMEA</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>GEOMORFOLOGIA</i> <i>MODELOS DIGITAIS DE TERRENO</i> <i>DTM</i> <i>SENSORIAMENTO REMOTO</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:551.4</i>			
8. Título <i>GEOMORFOLOGIA, MODELOS DIGITAIS DE TERRENO E SENSORIAMENTO REMOTO</i>		<i>INPE-3581-PRE/782</i>	10. Páginas: <i>42</i>
			11. Última página: <i>41</i>
9. Autoria <i>Evelyn Márcia Leão de Moraes Novo Moacir Godoy Junior</i>			12. Revisada por  <i>Ricardo C. M. de Souza</i>
Assinatura responsável 			13. Autorizada por  <i>Marco Antonio Raupp</i> <i>Diretor Geral</i>
14. Resumo/Notas <i>Este trabalho apresenta algumas idéias sobre a utilização de Modelos Digitais de Terreno como dados auxiliares de interpretação de produtos de sensoriamento remoto. Desta forma são discutidos os tipos de interferência da topografia sobre os processos de extração de informações de objetos da superfície terrestre e como os Modelos Digitais de Terreno podem auxiliar nestes processos. É apresentado um exemplo prático de utilização de Modelos Digitais de Terreno para as Bacias dos rios Canas e Bocaina (afluentes do médio rio Paraíba do Sul).</i>			
15. Observações <i>A ser submetido para publicação no Boletim de Geografia Teorética.</i>			

RESUMO

Este trabalho apresenta algumas idéias sobre a utilização de Modelos Digitais de Terreno como dados auxiliares de interpretação de produtos de sensoriamento remoto. Desta forma são discutidos os tipos de interferência da topografia sobre os processos de extração de informações de objetos da superfície terrestre e como os Modelos Digitais de Terreno podem auxiliar nestes processos. É apresentado um exemplo prático de utilização de Modelos Digitais de Terreno para as Bacias dos rios Canas e Bocaina (afluentes do médio rio Paraíba do Sul).

ABSTRACT

This work presents some ideas about the use of Digital Terrain Models as ancillary data to the interpretation of remote sensing products. In this way, different types of topographic interference over the processes of information extraction of earth surface objects are discussed, as well as the role of Digital Terrain Models to aid these processes. A practical example of the use of DTM (Digital Terrain Models) in the rio Bocaina and rio Canas basins (tributaries of rio Paraíba do Sul) is presented.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é analisar o relacionamento entre a Geomorfologia, os Modelos Digitais de Terreno e o Sensoriamento Remoto. Numa primeira aproximação, poder-se-ia presumir que tanto os Modelos Digitais de Terreno quanto o Sensoriamento Remoto seriam técnicas auxiliares para a aquisição de informações sobre a geomorfologia de uma área. Esta não é, entretanto, a perspectiva a ser adotada neste trabalho. Na verdade, procurar-se-á analisar de que modo as formas de relevo interferem na aquisição de informações do terreno a partir de informações de dados de Sensoriamento Remoto, e como os Modelos Digitais de Terreno podem ser utilizados para auxiliar esta análise.

Para isso são discutidos brevemente os tipos de interferência do relevo sobre a aquisição de dados de sensoriamento remoto e como os Modelos Digitais de Terreno vêm sendo utilizados como dado auxiliar de interpretação. É apresentado também um exemplo prático de aplicação de Modelos Digitais de Terreno na análise de dados de Sensoriamento Remoto, obtidos para as bacias dos rios Canas e Bocaina, afluentes da margem direita do rio Paraíba do Sul.

Esta área foi selecionada para exemplificar a utilidade dos Modelos Digitais de Terreno devido à sua topografia caracterizada pelas declividades acentuadas, e elevada dissecação, que a colocam como área extremamente desfavorável ao Sensoriamento Remoto de recursos naturais.

Através do exemplo apresentado pode-se concluir que os Modelos Digitais de Terreno constituem uma ferramenta a ser melhor explorada na análise de dados de Sensoriamento Remoto.

2. O RELEVO E A INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Didaticamente, pode-se classificar a interferência do relevo na interpretação de dados de sensoriamento remoto em duas categorias: indireta e direta. A interferência indireta manifesta-se pela influência do relevo sobre a organização natural e antrópica da superfície terrestre.

Em função do relevo podem ocorrer variações locais de parâmetros climáticos; tais como insolação, precipitação, temperatura, direções dos ventos, nebulosidade, etc. Dependendo da orientação dos principais elementos do relevo, pode haver diferenças na circulação atmosférica. MAINGUET et alii¹⁴ estudaram as trajetórias de ventos em imagens do LANDSAT e do METEOSAT através de seus efeitos morfogenéticos sobre a superfície terrestre (corrosão, transportes de dunas móveis, etc).

Uma das mais nítidas interferências do relevo é a diferenciação geográfica vertical em função da altitude. Com o aumento da altitude há em geral uma intensificação da radiação solar, aumentando também as perdas de calor pela redução da espessura atmosférica. Com as variações da insolação, variam também as condições de suprimento de umidade. Desta maneira o relevo também interfere na distribuição de umidade na superfície terrestre.

É também amplamente aceita a importância do relevo como fator relevante na gênese e evolução dos solos. Ao longo de uma vertente a espessura dos solos e mesmo sua tipologia pode variar em função das características de declividade e forma.

Tais efeitos naturais do relevo conduzem a outros de caráter antrópico. Desta forma os padrões de ocupação do solo variam com o relevo. Em geral, em uma região de topografia plana as parcelas agrícolas são maiores (mantidos constantes fatores culturais e políticos); enquanto em regiões montanhosas, as parcelas são de menor tamanho, ajustadas em geral à distribuição de declividades. O relevo também interfere nas técnicas de manejo, limitando ou facilitando a mecanização da agricultura.

ENDLICHER⁷ salienta que a legislação que regulamenta o cultivo de vinhas pela Comunidade Européia leva em consideração fatores topoclimáticos que podem afetar a qualidade do produto. Dentre estes fatores destacam-se a inclinação das vertentes, sua exposição e altitude absoluta. Desta maneira os vinhedos tendem a se localizar em certas posições preferenciais do relevo mais favoráveis a seu cultivo.

Como o relevo influi na organização do espaço, indiretamente ele, interfere na aquisição de dados de sensoriamento remoto. Desta maneira um sistema sensor com resolução de 80 x 80 m como o MSS/LANDSAT pode ser adequado à discriminação de culturas no meio-oeste Americano, mas não necessariamente para a Europa Ocidental.

Esta interferência de relevo faz com que frequentemente ele seja utilizado como critério de interpretação de imagens. Metodologias de mapeamento de solos (VALERÉRIO FILHO et alii²⁷; NIERO et alii¹⁸) e mapeamento geológico (LIU et alii¹³; PARADELLA & ALMEIDA FILHO²⁰) através de técnicas de Sensoriamento Remoto frequentemente incorporam informações do relevo como elemento de interpretação.

STRAHLER et alii²⁴ relatam que houve um aumento considerável da precisão de classificação de tipos de cobertura vegetal com a simples incorporação de dados topográficos aos esquemas de classificação digital de imagens MSS/LANDSAT.

FLEMING & HOFFER⁹ através da utilização de técnicas de análise discriminante indentificaram a altitude como a variável mais significativa do relevo, a qual corresponde a 95% da variação nos tipos de cobertura vegetal. Desta forma os autores recomendam a incorporação de dados topográficos ao mapeamento de cobertura vegetal através de técnicas de Sensoriamento Remoto.

Mas a interferência do relevo sobre os dados de sensoriamento remoto pode ser também direta, afetando as interações entre a energia radiante e o alvo. Em função de sua posição na topografia, um determinado objeto terá maior ou menor probabilidade de ser iluminado, ocorrendo portanto modificações substanciais na qualidade e quantidade de energia incidente sobre o alvo (KOWALIK et alii¹²).

A orientação da superfície em relação à elevação e ao azimute solar afeta o valor do sinal medido pelo sistema sensor. Em regiões montanhosas um mesmo tipo de cobertura pode apresentar valores de radiância os mais variados em função de sua localização no relevo. Desta forma, o relevo tem sido frequentemente utilizado como critério de estratificação das áreas de estudo nos esquemas de amostragem para avaliação de áreas irrigadas (BAUER et alii²) e mapeamento de cobertura vegetal (HOFFER et alii¹⁰), etc.

Para HUGLI & FREI¹¹ o sensoriamento remoto em regiões montanhosas é uma atividade bastante complexa, uma vez que os valores radiométricos registrados pelo sistema sensor são o resultado do efeito combinado das propriedades de comportamento espectral do alvo e da orientação da superfície em que se encontra.

DAVE & BERNSTEIN⁴ avaliaram as mudanças nos níveis de luminância observados por satélite em função da declividade do terreno. Calcularam para sub-regiões de 4 km² a razão entre os valores de luminância do terreno real e os de um terreno plano, simulando diferentes geometrias de iluminação da cena.

3. OS MODELOS DIGITAIS DE TERRENO COMO TÉCNICA DE INCORPORAÇÃO DE INFORMAÇÕES DO RELEVO À ANÁLISE DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

O Modelo Digital de Terreno pode ser entendido como uma matriz de valores que representam a distribuição espacial de um conjunto de propriedades do terreno (DOYLE⁵; COLLINS & MOON³).

Quando a propriedade é a altitude, o Modelo Digital do Terreno recebe o nome de Modelo Digital de Elevação ou Altitude. Assim, o Modelo Digital do Terreno é um caso mais geral no qual está contido o Modelo Digital de Altitude. No caso específico de incorporação de informações de relevo à interpretação de dados de sensoriamento remoto, a propriedade fundamental do terreno é a altitude. A partir da distribuição de altitude são derivadas outras informações fundamentais, tais como declividade, orientação de vertente e amplitude altimétrica (EVANS⁸; STOW & ESTES²³),

O relevo é um fenômeno tridimensional, e sua representação em mapas bidimensionais pode trazer dificuldades para sua interpretação. Isto faz com que numerosos meios gráficos sejam utilizados para sua representação (STEFANOVIC & SYJOMONS²²), a maioria dos quais consome muito tempo. Neste contexto as técnicas de computação abriram novas possibilidades de estudo do relevo, tornando possível uma grande variedade de representações do relevo, através de Modelos Digitais de Terreno, ou dos Modelos Digitais de Elevação.

Segundo ALLDER et alii¹, o United States Geological Survey (USGS) possui um sistema de produção de Modelos Digitais de Terreno com as seguintes características: a) os dados de elevação ou altitude são coletados com base num sistema de coordenadas UTM; b) os dados são armazenados em perfis de espaçamento de 30 metros nos três eixos considerados.

Os Modelos Digitais de Terreno são utilizados em diferentes campos da atividade humana. RODRIGUE & THOMPSON²¹ ilustram a utilização de tais modelos no treinamento de soldados. Através da representação tridimensional do relevo, segundo um determinado ângulo de observação, os soldados aprendem a interpretar o tipo de terreno que terão pela frente a partir da observação de um mapa bidimensional. Selecionando-se a localização do observador, a altura acima do terreno e o azimute de interesse, o computador é capaz de gerar uma visão do terreno que seria observada pelo soldado que estivesse ocupando aquela posição.

DOZIER & OUTCALT⁶ relatam a utilização de Modelos Digitais de Terreno para compor um modelo de simulação de balanço de energia.

STOW & ESTES²³ salientam que a combinação de dados digitais do terreno e de dados radiométricos num sistema geográfico de informações oferecem um maior nível de aproveitamento dos dados coletados por sensores remotos.

Outra possibilidade de utilização dos Modelos Digitais de Terreno é como fonte de informação visual que facilite a estratificação da área de estudo em unidades de amostragens segundo peculiaridades das condições de geometria de iluminação da cena, uma vez que através de tais modelos o sombreamento do relevo pode ser simulado.

STHRALLER et alli²⁴ sugerem dois diferentes tipos de abordagem à incorporação de dados topográficos à análise de dados de

sensoriamento remoto e ao mapeamento da cobertura vegetal.

A primeira abordagem considera a altitude e suas derivadas como "canais" adicionais aos canais MSS num sistema de classificação multicanal. Esta abordagem tem duas desvantagens: a) as áreas de treinamento devem ser selecionadas cuidadosamente para gerar médias e desvios padrões que descrevam precisamente as condições do terreno; b) classes que podem ocorrer indistintamente, em qualquer condição de terreno devem ser classificadas antes da incorporação de dados topográficos, e subtraídas da cena, ou então devem ser amostradas em todas as condições topográficas em que ocorram para maximizar a variância das amostras de treinamento.

Outra abordagem é utilizar os dados do terreno para modificar as probabilidades de classificação usando o critério da máxima verossimilhança. Nesta abordagem, os "canais" topográficos são transformados em classes, tais como: elevação baixa, média e alta; orientação sudoeste, noroeste, nordeste, etc.

4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO À INTERPRETAÇÃO DE DADOS MSS/LANDSAT COLETADOS NO MÉDIO VALE DO PARAÍBA

No exemplo a ser apresentado, o Modelo Digital de Terreno foi implementado com o objetivo de mostrar como o relevo era registrado em imagens MSS/LANDSAT, como seus principais traços eram detectados em função de diferentes geometrias de iluminação e como isto poderia interferir na identificação de outros objetos de interesse, tais como

culturas, reflorestamentos, etc.

O trabalho de geração dos Modelos Digitais de Terreno pode ser dividido em duas etapas: 1) a aquisição e o tratamento de dados altimétricos em cartas topográficas em qualquer escala; 2) a geração do modelo no computador Burroughs B6800 utilizando o sistema NCAR de Rotinas Gráficas (NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH¹⁷;

4.1 - Geração de Modelos Digitais de Terreno

Para a geração de Modelos Digitais de Terreno são necessários dados referentes às coordenadas x , y e z de um ponto em um espaço euclidiano E_3 , onde x e y são as coordenadas do plano E_2 e z sua altura referenciada a esse plano (Figura 1).

A coleta de dados pode ser feita de modo automático ou manual, cuidando para que não sejam ultrapassados os dimensionamentos máximos do equipamento utilizado.

Para a coleta automática dos dados, utilizam-se mesas digitalizadoras através das quais para cada curva de nível de interesse o programa solicita a sua cota (z). Este processo segundo DOYLE⁵ é tedioso e apresenta alta probabilidade de erro. Neste processo é necessário que após a digitalização se faça a verificação dos dados. Um dos meios é a impressão da matriz digitalizada, que permite a visualização de cotas zeradas. Outros erros são detectáveis através de verificação manual. Segundo DOYLE⁵ estão sendo aperfeiçoados processos

de coleta de dados que atualmente constituem o principal entrave à utilização dos Modelos Digitais de Terreno.

A coleta manual de dados (também tediosa) é feita através da superposição de uma grade amostral sobre a área de interesse, de onde são extraídas as coordenadas x e y da grade e a coordenada z das curvas de nível da carta.

No presente trabalho, os dados de altitude (z) foram coletados manualmente em cartas topográficas na escala de 1:50.000, com curvas de nível equidistantes 20 metros.

Como já salientado por diversos autores (EVANS⁸; DOYLE⁵; COLLINS & MOON³), o critério de amostragem dos dados é extremamente importante. No presente trabalho os dados de cota foram coletados para espaçamentos Δx e Δy constantes. No terreno, Δx e Δy definiam respectivamente extensões de 500 metros. O valor computado para cada elemento da grade correspondia à cota máxima verificada na região Δx e Δy .

Os dados coletados manualmente são transcritos em folhas de codificação para digitação e armazenagem em disco. Em regiões de contorno irregular (Figura 2), os pontos fora da área de interesse devem ser zerados.

Os procedimentos usuais para a execução de Modelos Digitais de Terreno incluem também a interpolação dos dados.

A opção de interpolação é extremamente útil quando o número de pontos amostrados é pequeno. Nestas condições, através da interpolação na matriz de pontos, consegue-se um maior detalhamento do Modelo Digital de Terreno, observado através da formação de uma matriz de maiores dimensões.

Para a interpolação de pontos na matriz, utilizou-se a função SINC modificada (Shlien, 1979 apud MENDES¹⁵) com bons resultados. Esta função é expressa por:

$$\text{SINC}(X) = \text{SIN}(\pi * X) / (\pi * X) * (1 - X^2/4),$$

onde X é a distância do ponto a ser interpolado aos pontos vizinhos da matriz original. O ponto interpolado é:

$$Z_{\text{int}} = \sum_{n=1}^2 \text{SINC}(.5) * Z_n + \sum_{n=3}^4 \text{SINC}(1.5) * Z_n,$$

conforme mostrado na Figura 3.

Para evitar interpolações indesejáveis nas bordas de matrizes que contenham regiões de formato irregular, usa-se um limiar equivalente à cota mínima, onde cada ponto interpolado abaixo deste limiar é considerado igual a zero.

A normalização é outro procedimento inerente à geração de Modelos Digitais de Terreno e consiste em normalizar a coordenada z através de:

$$Z_{norm} = (Z - Z_{min}) / (Z_{max} - Z_{min}) * K,$$

onde:

Z_{norm} = coordenada z normalizada,

Z = coordenada original (cota),

Z_{max} = maior valor de z,

Z_{min} = menor valor de z,

K = constante aproximadamente igual a 1/10 do maior lado da matriz.

Após o tratamento preliminar dos dados, procede-se à plotagem do Modelo Digital de Terreno. Para isto são utilizadas as rotinas SRFACE e EZSRFC do Sistema NCAR.

Para a utilização dessas rotinas é necessário construir um programa de suporte em que os parâmetros das sub-rotinas sejam definidos. Por exemplo, na chamada da rotina EZSRFC (Z, M, N, ANGH, ANGV, WORK) os parâmetros definidos são:

Z = Matriz $M \times N$ a ser desenhada,

M = Primeira dimensão de Z ,

N = Segunda dimensão de Z ,

ANGH = Ângulo em graus do plano X-Y em relação à linha de visada (ângulo horizontal)

ANGV = Ângulo em graus do plano X-Y em relação à linha de visada
(positivo para $Z > 0$, negativo para $Z < 0$).

WORK = Matriz de trabalho dada por $2 \times M \times N + M + N$.

Para a chamada da rotina SRFACE(X, Y, Z, M, MX, NX, NY, S, STEREO), os parâmetros definidos são:

X = Vetor de comprimento NX, que contém coordenadas X,

Y = Vetor de comprimento NY, que contém coordenadas Y,

Z = Matrix NX x NY que contém a superfície a ser desenhada,

M = Matriz de trabalho dada por $2 \times NX \times NY$,

MX = Primeira dimensão de Z,

NX = Número de pontos de Z na direção X,

NY = Número de pontos de Z na direção Y,

S = Vetor de 6 elementos que define a linha de visada.

O observador está em S(1), S(2), S(3) e o ponto visto em S(4), S(5), S(6).

STEREO = "Switch" para a formação do estêreo-par: (1 - monta estêreo-par, 0 - não monta).

4.2 - O Modelo Digital de Terreno das bacias hidrográficas dos rios Canas e Bocaina

Utilizando os procedimentos anteriormente descritos, gerou-se para as regiões dos rios Canas e Bocaina (Município de Cachoeira Paulista - SP) uma série de Modelos Digitais de Terreno.

Esta região localizada no Vale do Paraíba (Figura 4) foi selecionada para estudo em decorrência dos seguintes aspectos: a) região de relevo montanhoso, que apresenta sérios problemas à interpretação de dados de sensoriamento remoto; b) região sujeita a estudos anteriores visando a avaliação do efeito da geometria de iluminação da cena sobre a identificação de unidades de relevo em imagens MSS/LANDSAT (NOVO¹⁹); c) região com disponibilidade de cartas topográficas nas escalas 1:50000 e 1:25000.

Considerando que uma das tarefas mais desgastantes da geração de Modelos Digitais de Terreno é a aquisição de dados, a primeira preocupação foi a de testar o processo de interpolação, de modo a avaliar que nível de perda de informação verifica-se quando se reduz o número de amostras.

Para este teste, coletou-se um número de pontos considerados adequados à textura do relevo conforme sugestão de EVANS⁸. Tendo em vista o elevado grau de dissecação da área pela drenagem, definiu-se como área mínima para a coleta de dados altimétricos uma grade de 500 x 500 metros que resultou em um total de amostras iguais a 1679 pontos.

Pela análise da Figura 5 observa-se que o modelo é até mesmo bastante rico em informações sobre a topografia. Pode-se identificar nas áreas assinaladas pelos números 1, 2 e 3 os diferentes níveis altimétricos que caracterizam o relevo do Vale do Paraíba. O modelo traduz também os diferentes graus de dissecação do relevo.

Reduzindo o número de pontos amostrados para 413, gerou-se o modelo da Figura 6. Quando se compara o resultados gráfico das Figuras 5 e 6, observa-se que o número de pontos amostrados é um elemento crítico na geração de um Modelo Digital de Terreno. A perda dos pontos de informações sobre a topografia é muito grande. Os níveis 1 e 2 não são mais discriminados na Figura 6, e não se consegue avaliar o grau de dissecação dos diferentes compartimentos do relevo.

Mesmo assim o modelo da Figura 6 permite avaliar a disposição geral do relevo, e pode também auxiliar na identificação das áreas em que a topografia apresenta maior potencial de interferência no comportamento espectral de objetos de superfície.

As vertentes A e B (Figura 6) estarão submetidas a intensidades de radiação solar bastante diferentes, visto que a vertente A está voltada para sudoeste e a vertente B para noroeste.

De modo a verificar se a interpolação numa matriz de pontos com poucas amostras produziria um Modelo Digital de Terreno equivalente ao produzido pela matriz de 1679 pontos (Figura 5), procedeu-se à interpolação da matriz de 413 pontos. O resultado da interpolação pode ser visualizado na Figura 7.

A comparação entre as Figuras 5 e 7 demonstra que o resultado da interpolação da matriz de 413 pontos reproduz um Modelo Digital de Terreno bastante semelhante ao modelo gerado pela matriz de 1679 pontos coletados diretamente da carta.

Os níveis 1, 2 e 3 são reproduzidos, se bem que mais sutilmente. As principais feições do relevo são bem marcadas conforme pode ser observado em a, b e c. Há entretanto uma suavização das formas que mascaram a real dissecação do relevo.

Como mencionado anteriormente, os Modelos Digitais de Terreno permitem a reprodução das características topográficas de uma área, segundo diferentes ângulos de observação.

A Figura 9 representa a mesma região observada segundo outro ângulo. Nas Figuras de 5 a 8, a área de estudo estava sendo observada segundo uma direção aproximada SO-NE, ou seja, numa direção paralela às principais direções do relevo regional. Na Figura 9 a região é observada aproximadamente na direção NO-SE, ou seja, perpendicular às principais linhas do relevo. Neste ângulo de observação torna-se evidente o relevo de planaltos escalonados da região, bem como os principais níveis de aplainamento regional. A Figura 9 também poderá ser observada estereoscopicamente, sendo uma das opções da rotina SRFACE que permite um aumento do nível de informação sobre o relevo regional.

A decisão sobre a utilização de um ou outro tipo de modelo dependerá dos objetivos da pesquisa. Se a finalidade é alocar traçados de estradas ao longo dos espigões, um modelo gerado a partir da matriz interpolada pode ser útil. Será aplicável também para definir estratos de amostragem, visando, por exemplo, o mapeamento de vegetação através de dados de sensoriamento remoto.

Finalmente a Figura 8 representa um Modelo Digital de Terreno gerado a partir de interpolação da matriz de 1679 pontos.

A comparação das Figuras 8 e 5 demonstra que com o adensamento dos pontos da matriz há uma reprodução do relevo, provavelmente mais próxima à realidade.

4.3 - A incorporação de informações topográficas derivadas dos Modelos Digitais de Terreno à interpretação de dados de sensoriamento remoto

Neste trabalho faz-se uma incorporação qualitativa das informações topográficas à interpretação de dados de sensoriamento remoto. Os modelos Digitais de Terreno foram utilizados basicamente para: a) avaliar os efeitos da topografia na distribuição de níveis de cinza na cena; b) identificar geometrias de iluminação que acentuam estes efeitos.

Uma vez que as técnicas de "ratio" entre canais têm sido recomendadas para reduzir a interferência do relevo, e ao mesmo tempo aumentar o contraste entre alvos naturais, foram obtidas imagens "ratio" da área de estudo em duas épocas diferentes. A Tabela 1 apresenta as características geométricas de coleta dos dados MSS/LANDSAT utilizados no teste.

Em princípio há dois fatores básicos que dificultam a comparação dos dados, ou seja, a diferença de ano de aquisição da imagem (que poderá levar à mudança nas condições de uso do solo da região, invalidando a comparação), e a diferença nas condições de vigor da

vegetação, uma vez que uma das imagens foi adquirida no início do período seco e a outra no fim deste período.

Apesar destas dificuldades, o conhecimento prévio da área indica que entre 1973 e 1977 não ocorreram mudanças sensíveis nos padrões de ocupação do solo. Quanto à variação do vigor da vegetação, não havia como evitá-la, uma vez que para variar sensivelmente as condições de iluminação da cena é necessário variar o período sazonal de aquisição de dados.

Tendo em vista a disponibilidade de cartas militares atualizadas e na escala 1:25000, pôde-se obter a distribuição da vegetação arbórea (mata, bosque, eucalipto) na área em estudo (Figura 10). Desta forma, elegeu-se a vegetação como alvo do qual se avaliaria a interferência do relevo. Para isto, optou-se pela utilização do "ratio" MSS7/MSS5 que permite uma boa discriminação de vegetação em termos de biomassa, conteúdo de água foliar e de clorofila (TUCKER²⁶).

Teoricamente a imagen resultante da divisão do canal MSS7 pelo canal MSS5 deverá apresentar tonalidades claras na regiões recobertas por vegetação densa. Esta suposição é válida para regiões planas.

Em regiões montanhosas, o efeito da topografia pode produzir algumas alterações. O canal MSS7 apresenta um maior contraste entre áreas sombreadas e não-sombradas, independentemente da cobertura vegetal. O canal MSS5 que inclui uma banda de absorção de clorofila

não apresenta contrastes entre áreas sombreadas e não-sombreadas em áreas de mata, que são registradas em tonalidades escuras.

A imagem resultante da razão MSS7/MSS5 tenderá então a apresentar as seguintes características: a) numa região plana com vegetação densa, os níveis de cinza são muito próximos aos do numerador da razão (MSS7), porque a vegetação absorve a radiação vermelha e reflete radiação infravermelha nas faixas correspondentes aos canais utilizados; b) numa região plana com vegetação pouco densa, a razão MSS7/MSS5 tendem a produzir níveis de cinza escuros, porque o denominador tem um valor de nível de cinza alto, resultando num valor baixo para a razão; c) numa região montanhosa com vegetação densa, a razão MSS7/MSS5 produz valores de nível de cinza altos na vertente voltada para a fonte de iluminação e baixos na vertente sombreada.

Em função da interação topografia e geometria de iluminação, as imagens "ratio" resultantes diferem de uma data para outra (Figuras 11 e 12).

A comparação entre as Figuras 11 e 12 mostra algumas diferenças básicas entre elas: na Figura 11 há pouco contraste entre a área A e a área B; na Figura 12 ocorre justamente o contrário, onde a área B apresenta-se escura e a área A muito clara. Tais diferenças podem ser atribuídas ao mês de aquisição das imagens. Em julho, no início do período seco, as gramíneas não se encontram sujeitas à deficiência hídrica e respondem de forma semelhante à da vegetação arbórea, variando apenas a intensidade de resposta que lhe é ligeiramente menor. Em setembro,

no fim do período seco, a vegetação de gramíneas encontra-se afetada pela deficiência hídrica, tem seu conteúdo de clorofila reduzido e responde de forma distinta à da vegetação. Esta hipótese pode ser sustentada pela análise dos dados de precipitação para a região, fornecidos pela seção de hidrografia do Departamento de Águas e Energia Elétrica (Tabela 2)

Pela análise desses dados (Tabela 2), observa-se que a partir de maio há uma redução sensível na precipitação, tanto no ano de 1973 como em 1977. Se for acrescido a isto o fato de que na região em estudo ocorrem solos podzólicos, decaptados, com baixo teor de matéria orgânica e em geral com baixa capacidade de retenção de água, pode-se concluir que as pastagens naturais tenderão a perder seu vigor, de forma progressiva a partir de maio, culminando este processo no mês de agosto. Cabe salientar que embora em 1977 a precipitação de setembro tenha sido de 110 mm, até a data da passagem do satélite (9 de setembro) havia ocorrido apenas 37 mm de precipitação.

A vegetação com deficiência hídrica apresenta uma maior resposta na faixa do vermelho (MSS5) e ligeiramente menor na do infravermelho (MSS7). Com isto o denominador cresce muito mais que o numerador da razão, resultando num valor baixo de nível de cinza. A Figura 11 apresenta manchas descontínuas de tonalidade clara (A), enquanto a Figura 12 apresenta manchas contínuas. Se as manchas claras forem associadas à presença de vegetação arbórea (matas, capoeiras, reflorestamentos), a imagem resultante do "ratio" de dados MSS/LANDSAT coletados em setembro superestima a área de matas quando comparada com a imagem resultante do "ratio" de dados MSS/LANDSAT coletados em julho.

É nesse ponto que a análise dos Modelos Digitais de Terreno torna-se esclarecedora.

Comparando-se as Figuras 10, 11 e 12, observa-se que a imagem "ratio" do mês de julho (Figura 11) apresenta uma distribuição de vegetação arbórea desigual, porém mais próxima da distribuição apresentada na Figura 10 do que a apresentada na Figura 12.

Confrontando-se as Figuras 10 e 11 com os Modelos Digitais de Terreno da Figura 9, observa-se que a mancha contínua de tonalidades claras corresponde a uma zona de escarpas que se sucedem em (1) e (2), cujas facetas encontram-se voltadas para a fonte de iluminação da cena. Tais vertentes tendem a receber a irradiância máxima determinando valores de radiância próximos aos níveis de saturação dos detetores. Desta maneira tais vertentes serão registradas com tonalidades claras, independentemente do tipo de cobertura vegetal que apresentem.

Se for levado em conta que as declividades da área de estudo excedem em geral vinte graus, e mantendo-se constante a diferença de azimute (azimute solar menos azimute da vertente), a imagem tomada em setembro será segundo ângulos de incidência menores que aqueles determinados pela passagem de julho. Desta maneira o efeito topográfico tenderá a ser mais acentuado na imagem de setembro em condições topográficas similares às da região estudada.

Dada a grande dificuldade de aplicar modelos de correção de ângulo de elevação solar em regiões montanhosas (TEILLET et alii²⁵),

os Modelos Digitais de Terreno podem cumprir dois papéis relevantes ao sensoriamento remoto: a) auxiliar na seleção de épocas mais favoráveis à aquisição de imagens, tendo em vista peculiaridades topográficas; b) auxiliar nos refinamentos da interpretação de imagens em situações em que apesar da aquisição de uma data ótima a topografia continue impondo variações indesejáveis nos níveis de radiância da cena.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As observações anteriormente feitas evidenciaram a importância de considerar os aspectos topográficos do processo de interpretação de dados de sensoriamento remoto. Este representa um campo profícuo de pesquisa em sensoriamento remoto, cujos resultados podem ampliar o campo de aplicação desta tecnologia.

Os aspectos relacionados às interações topografia versus radiação eletromagnética crescem de importância na medida que novos sistemas de sensoriamento remoto orbital incorporam o conceito de visada lateral (SPOT) e que este campo de pesquisa apresenta um crescimento exponencial nos últimos anos, como o atesta a extensa bibliografia existente sobre o assunto.

TABELA 1 - Imagens MSS/LANDSAT utilizadas.

DATA	ELEVAÇÃO (em graus)	AZIMUTE (em graus)
11/07/83	30°	43°
09/09/77	36°	64°

TABELA 2 - Precipitação em mm na Bacia do Rio Bocaina
Posto D1 - 21 Cachoeira Paulista.

MÊS	ANO	
	1973	1977
JAN	238	315
FEV	149	57
MAR	150	276
ABR	81	118
MAI	51	10
JUN	4	21
JUL	27	4
AGO	9	59
SET	60	110
OUT	172	46
NOV	106	274
DEZ	360	299
TOTAL	1407	1589

FIG. 1 - Ponto $Z(x, y, z)$ no E3.

FIG. 2 - Aquisição de dados.

FIG. 3 - Interpolador de Shlien.

FIG. 4 - Localização da Área de Estudo.

FIG. 5 - Modelo Digital de Terreno gerado a partir de uma matriz com 1679 pontos.

Rotina utilizada: EZSRFC

Ângulo horizontal: 300 Graus

Ângulo vertical: 60 Graus

Área de cada elemento de grade no terreno = 500 x 500 m

Os pontos indicados pelos números 1, 2 e 3 e letras a, b e c são discutidos no texto.

FIG. 6 - Modelo Digital de Terreno gerado a partir de uma matriz com 413 pontos.

Rotina utilizada: EZSRFC

Ângulo horizontal: 300 Graus

Ângulo vertical: 60 Graus

Área de cada elemento de grade no terreno = 1000 x 1000 m

Os pontos indicados pelas letras A e B são discutidos no texto.

FIG. 7 - Modelo Digital de Terreno gerado pela matriz de 413 pontos interpolada.

Número de pontos da matriz interpolada = 1536

Ângulo horizontal: 300 Graus

Ângulo vertical: 60 Graus

Área de cada elemento de grade no terreno = 500 x 500 m

FIG. 8 - Modelo Digital de Terreno gerado a partir da interpolação de uma matriz com 1679 pontos.

Número de pontos da matriz interpolada = 6436

Rotina utilizada: EZSRFC

Ângulo horizontal: 300 Graus

Ângulo vertical: 60 Graus

Área de cada elemento de grade no terreno 250 x 250 m

FIG. 9 - Estéreo-par da matriz de 1679 pontos interpolada.

Rotina utilizada: SRFACE

Observador: X = -5; Y = -5; Z = 20

Desenho: X = 10, Y = 10; Z = 5

As áreas indicadas por 1 e 2 são discutidas no texto.

FIG. 10 - Distribuição de vegetação de porte arbóreo arbustivo na bacia do rio Bocaina.

Fonte: MINISTÉRIO DO EXÉRCITO, DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO¹⁶.

FIG. 11 - Imagem resultante da divisão de níveis de cinza do canal MSS7 pelos níveis de cinza do canal MSS5, de 11/JUL/73.

(As áreas indicadas por A e B são discutidas no texto.)

FIG. 12 - Imagem resultante da divisão de níveis de cinza do canal MSS7 pelos níveis de cinza do canal MSS5, de 09/SET/77.

(As áreas indicadas por A e B são discutidas no texto.)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLDER, W.R.; CARUSO, V.M.; PEARSALL, R.A. & TRAUP, M.I. An Overview of Digital Elevation Model Production at the United States Geological Survey. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER ASSISTED CARTOGRAPHY. Proceedings. Crystal City, Aug. 22-28, 1982, p:23-32.
2. BAUER, E.H.; BAGUETT, J.D.; WALL, S.L.; THOMAS, R.W. & BROWN, C.E. Results of an Irrigated Land assessment for water management in California. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 22(6):536-539, 1984.
3. COLLINS, S.H. & MOON, G.C.. Algorithms for Dense Digital Terrain Models. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47(1):71-76, 1981.
4. DAVE, S.V. & BERNSTEIN, R.. Effect of terrain orientation and solar position on satellite level luminance observations. *Remote Sensing of Environment*, 12:331-348, 1982.
5. DOYLE, F.J. Digital Terrain Models: An overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(12): 1481-1486, 1978.
6. DOZIER, H. & OUTCALT, S.I.. An approach Toward Energy Terrain Balance Simulation over Rugged Terrain. *Geographical Analysis*, 2(1): 65-85, 1979.
7. ENDLICHER, W. Thermal Imagery as a tool to delimitate Vineyard sites liable to Cold-Air Damage. (TELLUS - NEWSLETTER . 7) 1979
Commission of the European Communities. Joint Research Centre Italy.

8. EVANS, I.S.. General geomorphometry, derivations of altitude and descriptive statistics, In: CHORLEY, R.J., ed. *Spatial analysis in geomorphology*. London, Methuen, 1972.
9. 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 SENSED DATA SYMPOSIUM, 5, West Lafayette, 27-29, 1979. In, *Proceedings*. West Lafayette, IEEE, 1979, p:371-390.
10. HOFFER, R.M.; FLEMING, M.D.; BARTOLUCCI, L.A.; DAVIS, S.M. & NELSON, R.F.. *Digital processing of Landsat MSS and topographic data to improve capabilities for computerized mapping of forest cover types*. Texas, Tx, 1979 (LARS Technical Report 011 579).
11. HUGLI, H. & FREI, W.. Understanding Anisotropic Reflectance in Mountainous Terrain. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(5): 671-6851, 1983.
12. KOWALIK, W.S.; LYON, R.J.P. & SWITZER, D. The effects of additive radiance terms on ratios of Landsat Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(5): 659-670, 1983.
13. LIU, C.C.; VITORELLO, I. & MENESES, P.R.. *Alguns Aspectos das Informações Geológicas Contidas em Imagens Landsat*, São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1822-RPE/188).
14. MAINGUET, M.; OCSSUS, L. & CHAPPELLE, A.M. On the use of Meteosat Imagery for the Determination of Ground Wind trajectories in the Sahara and regions bordering on the Sahel: Interpretation of Meteosat Images Recorded between may, 28, 1978 and February 9,

1979. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14; São José, Costa Rica 23-30 ap., 1980. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, MI 1980, V.2 p: 743-750.
15. MENDES, C.L.. Metodos de Interpolação para Imagens Multiespectrais. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Trabalho de Graduação, 1980.
16. MINISTÉRIO DO EXÉRCITO & DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO, Carta Militar. Rio de Janeiro, 1983.
17. NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH, Anderson, L. & Clare, L; N CAR Graphics Software, 1979.
18. NIETO, S.A.; LOYO, S.A.; CORONA, J.F. & HERNANDEZ, M.. Integration of Landsat Images into a Geographical Data Bank (an attempt to classify soil types) In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14; Costa Rica, 23-30 Apr., 1980. *Proceedings*, Ann Arbor, ERIM, 1980, V.3 p: 1399-1405.
19. NOVO, E.M.L.M. *Avaliação dos efeitos da variação do ângulo de elevação solar e azimute sobre processos de filtragem digital e classificação temática do relevo*. São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2853-RPE/448).
20. PARADELLA, W.E. & ALMEIDA FILHO, R.. *Condicionamento das Mineralizações Radiativas no Planalto de Poços de Caldas*. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-953-RPE/044).
21. RODRIGUE, M. & THOMPSON, L. Computer Graphics at the United States Military Academy. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER ASSISTED CARTOGRAPHY. *Proceedings*. Crystal City, August. 22-28, 1982; p: 629-638.

22. STEFANOVIC, P. & SIJMONS, E.. Computer assisted relief representation. *ITC Journal*, 1:40-47, 1987.
23. STOW, D.A. & ESTER, J.E.. Landsat and Digital Terrain Data for County Level Resource Management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47(2):215-222, 1981.
24. STHRALER, A.H.; LOGRAN, T.L. & BRYANT, N.A.. Improving Forest Cover Classification Accuracy from Landsat by Incorporating Topographic Information. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 12.; Manila. Philippines, 20-26 Apr. 1978. *Proceedings* Ann Arbor, ERIM, 1978. V.1, p:817-942.
25. TEILLET, P.N.; GUINDON, N. & GOODENOUGH, D.G.. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8(2):84-106, 1982.
26. TUCKER, C.J.. Red and Photographic Infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8:127-159, 1979.
27. VALERIO FILHO, M.; HIGA, N.T. & CARVALHO, V.C. *Avaliação das Imagens Orbitais como base para Levantamento de Solos*. São José dos Campos, 1977. (INPE-1054-NTE/091).

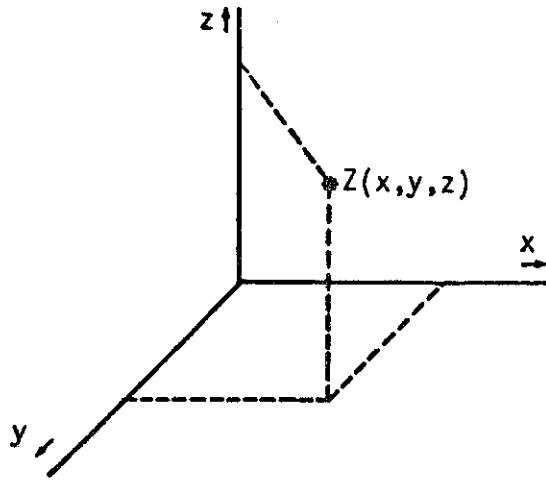


FIGURA 1

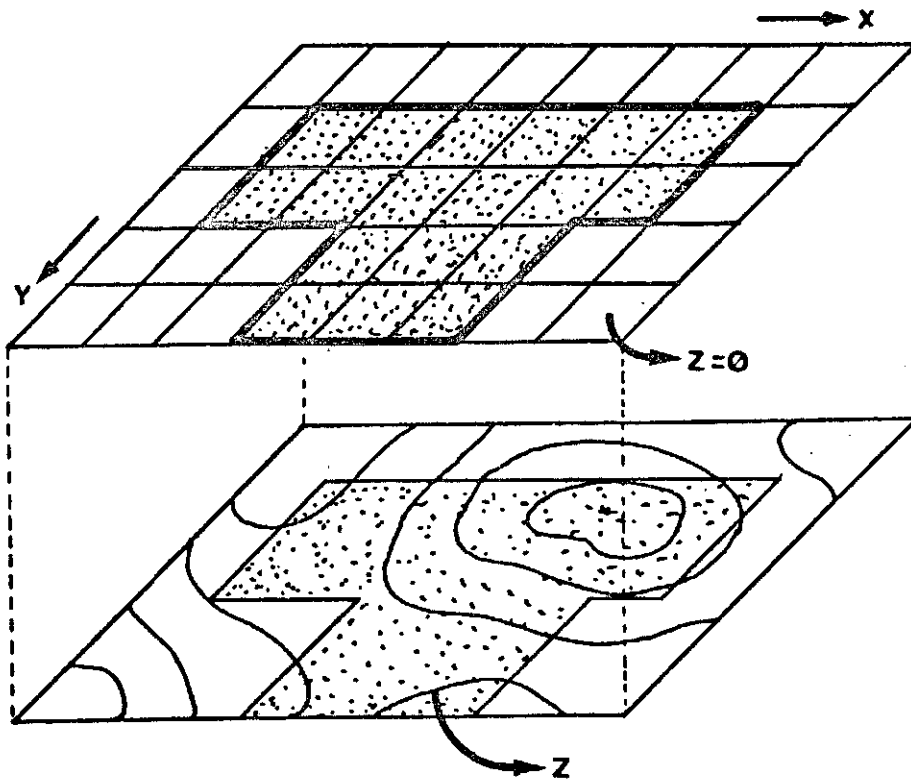


FIGURA 2

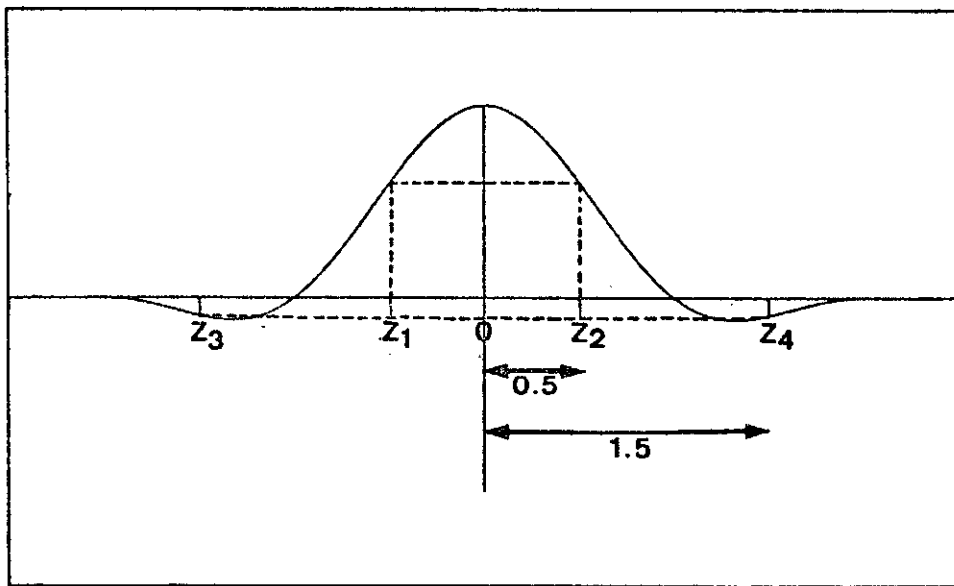


FIGURA 3

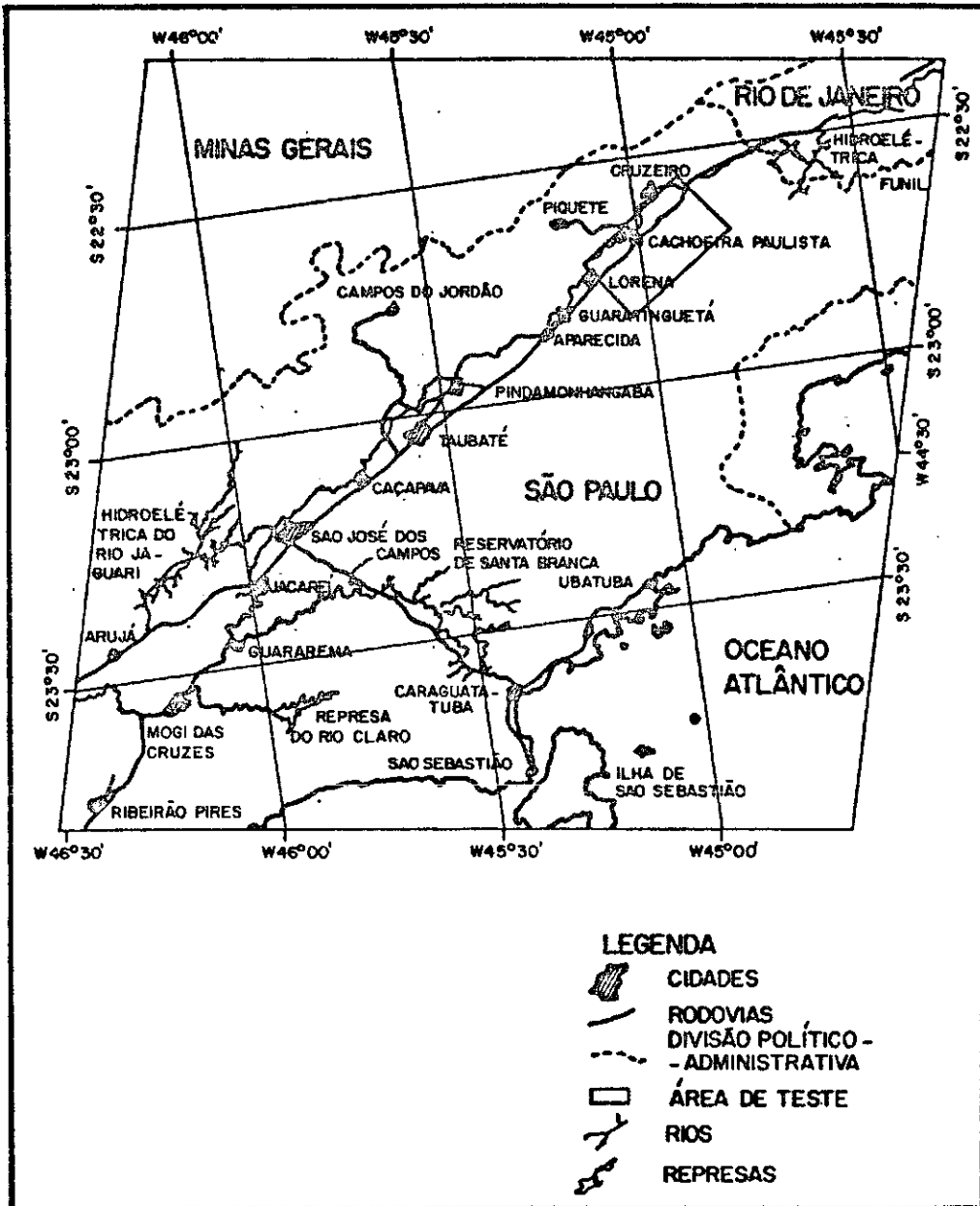


FIGURA 4

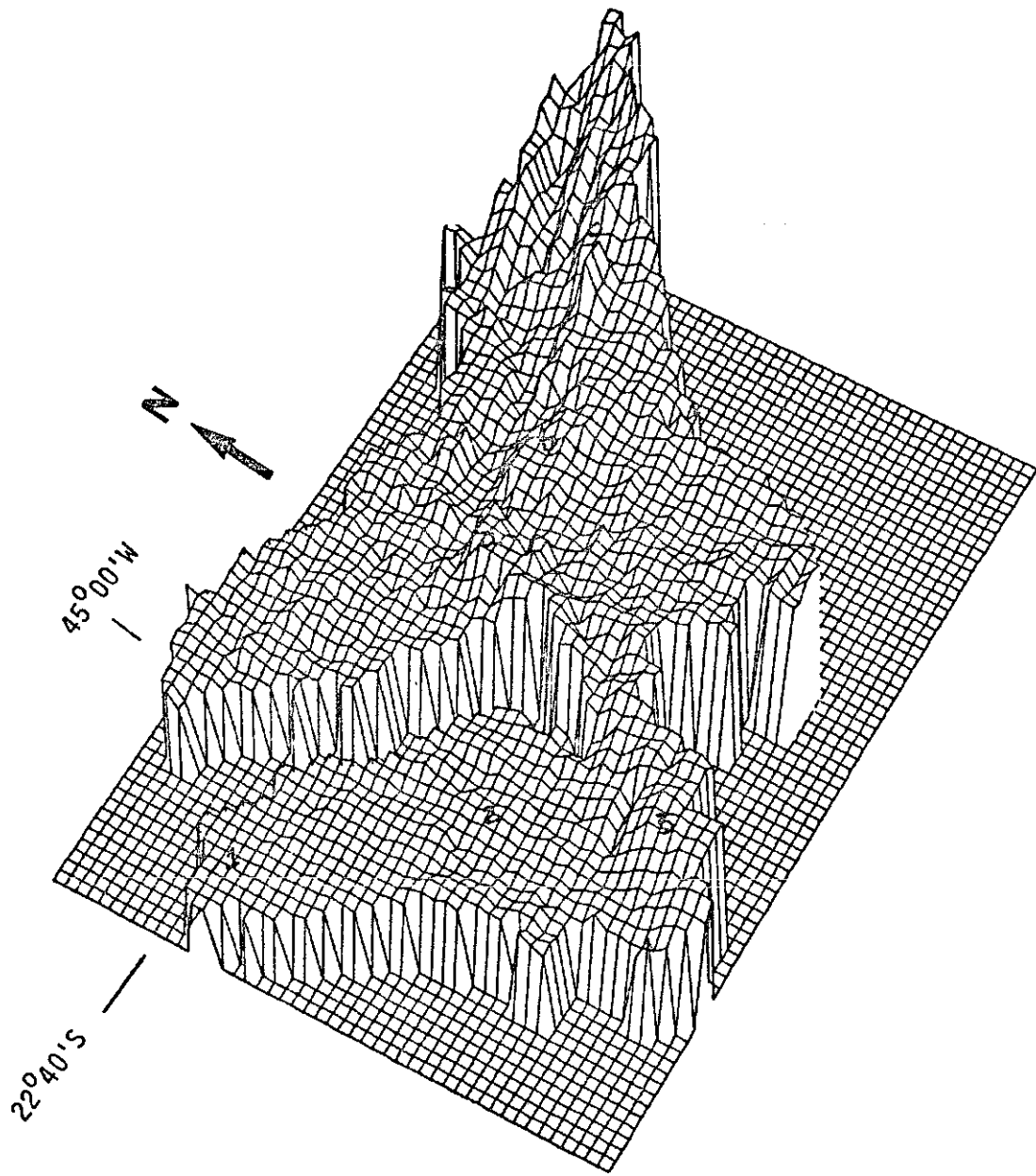


FIGURA 5

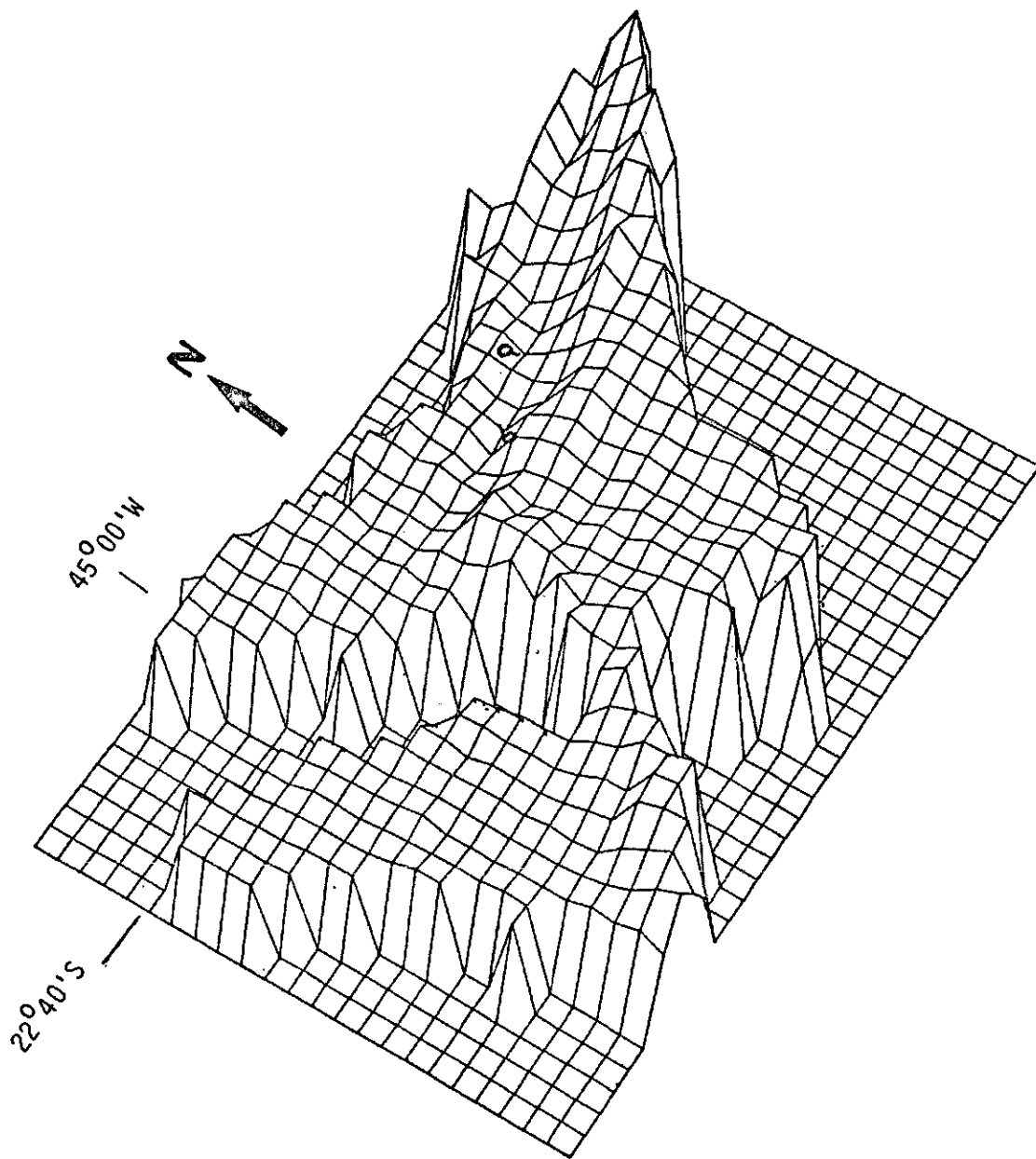


FIGURA 6

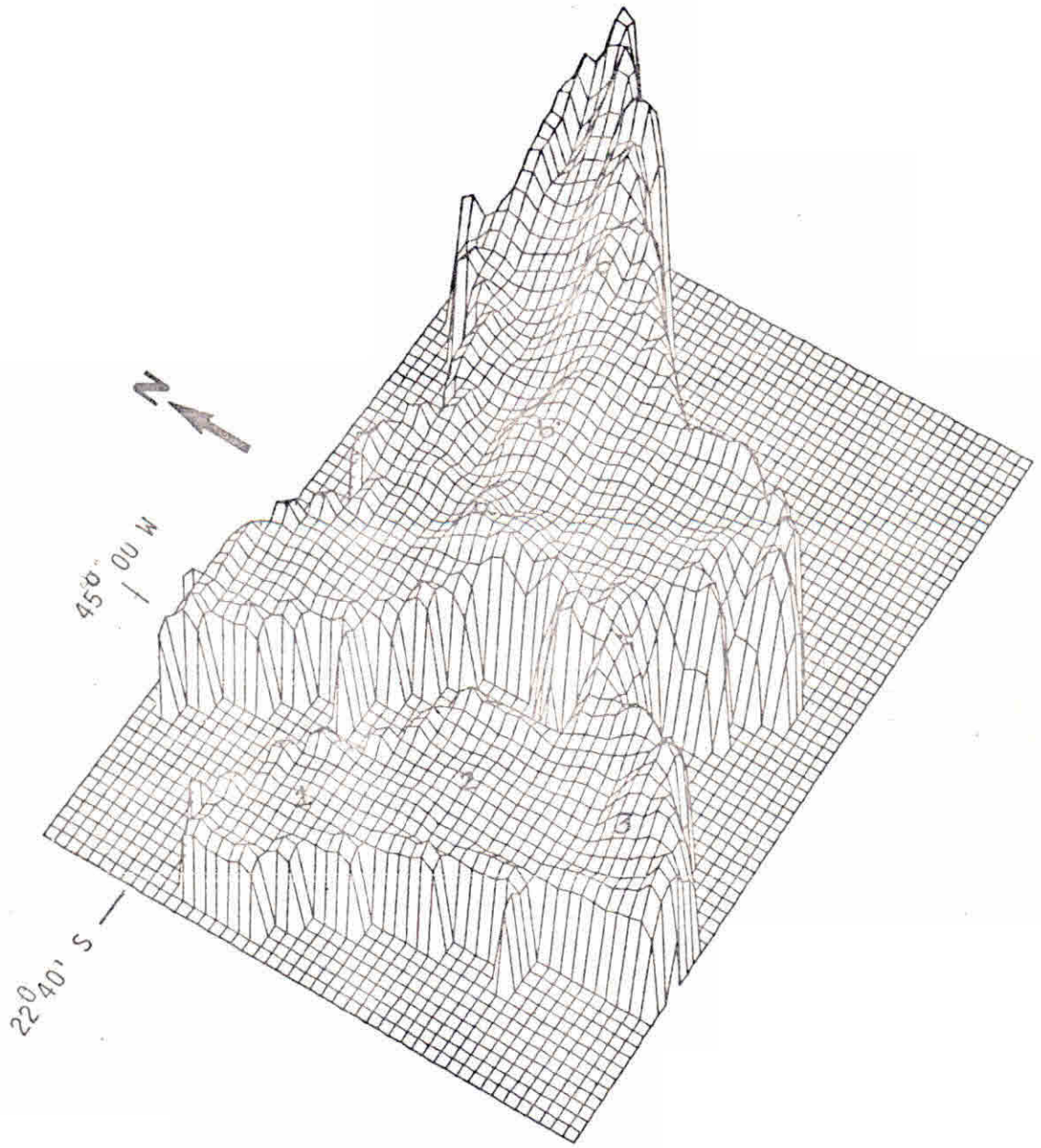


FIGURA 7

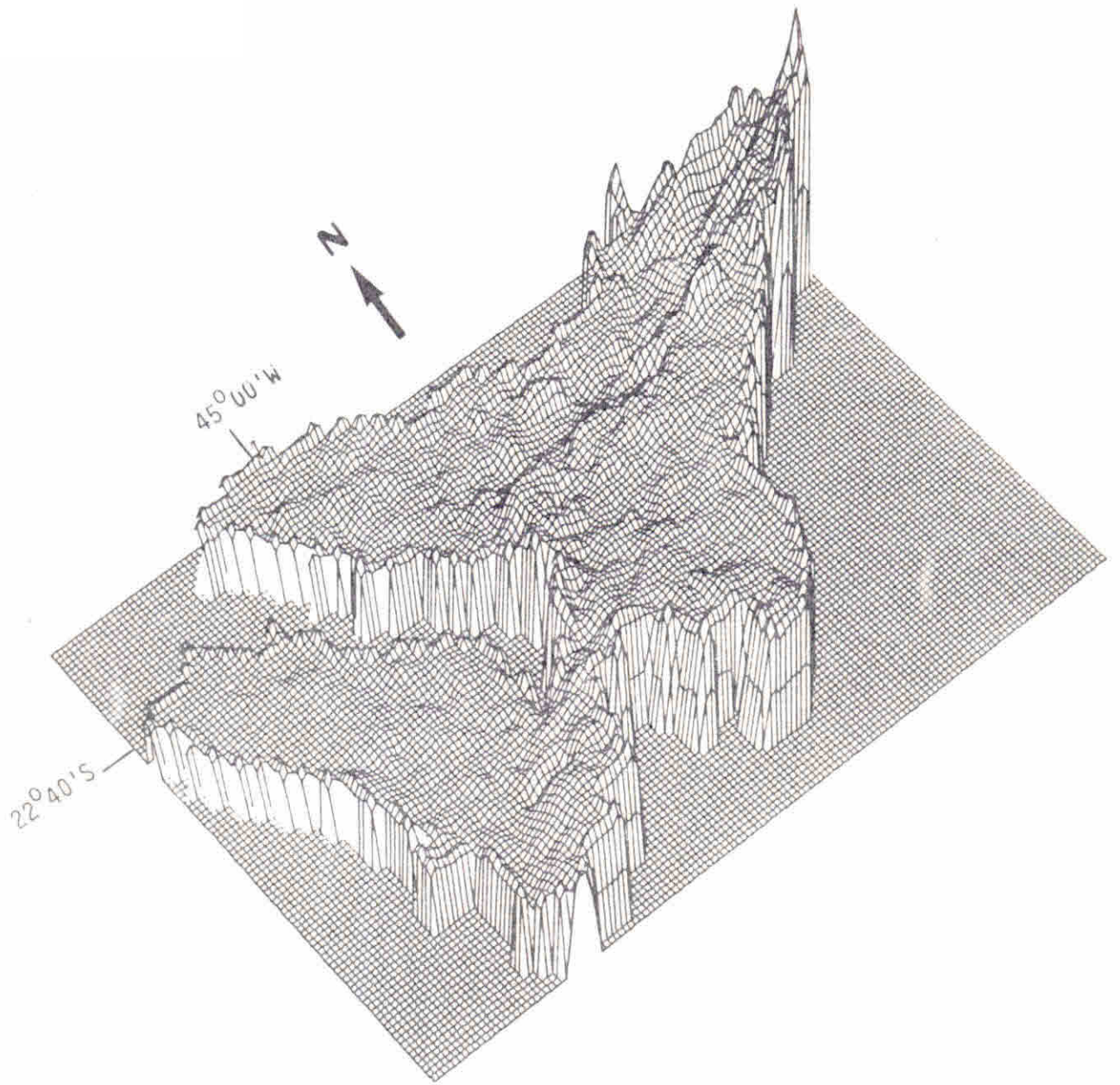
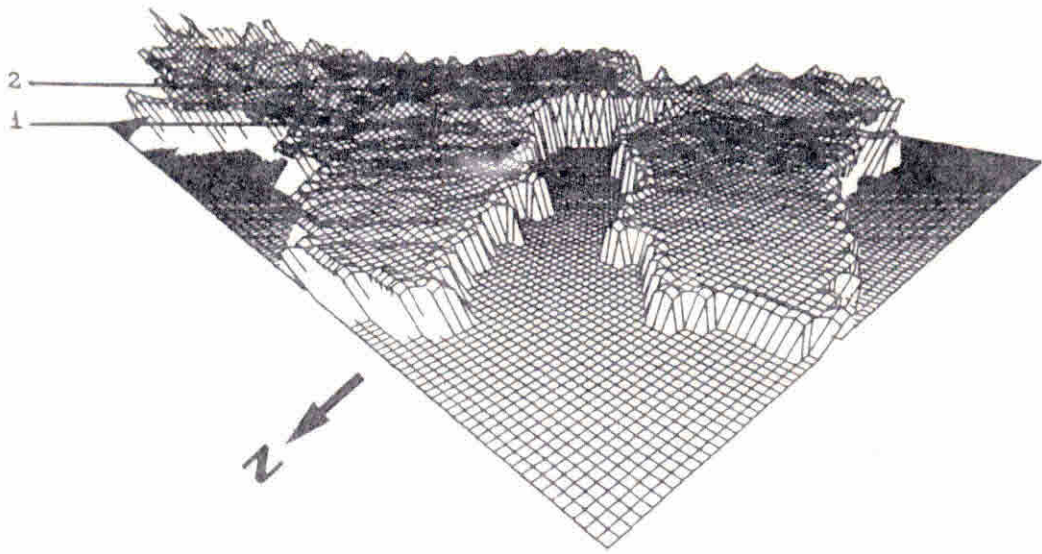
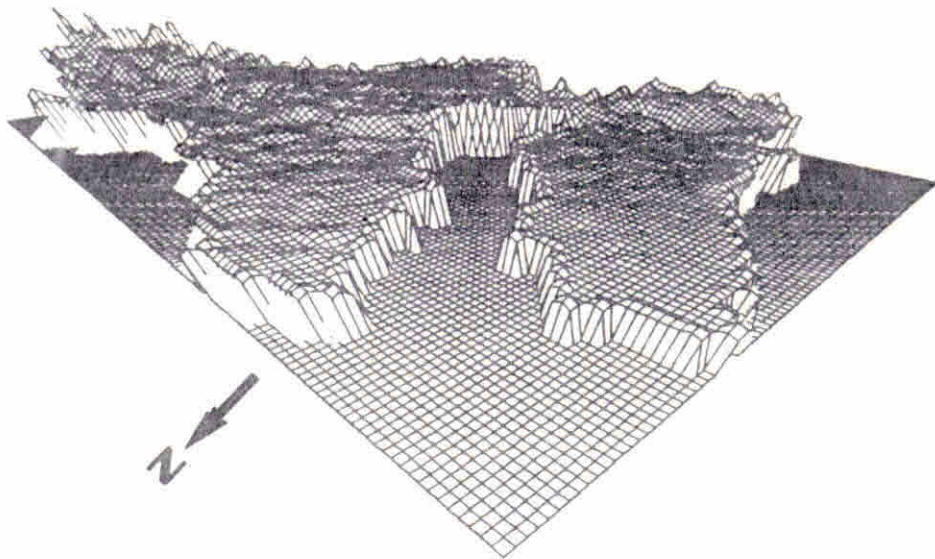


FIGURA 8



(a)



(b)

FIGURA 9



FIGURA 10

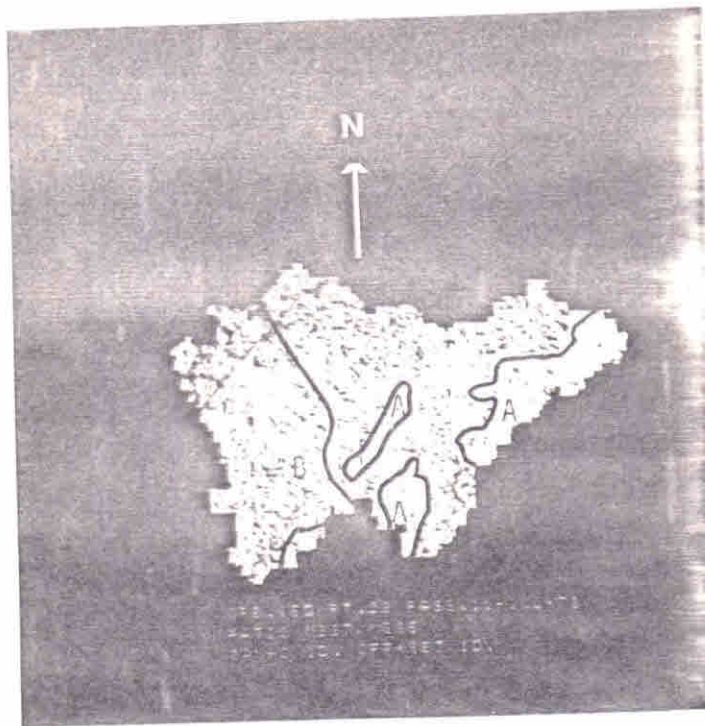


FIGURA 11

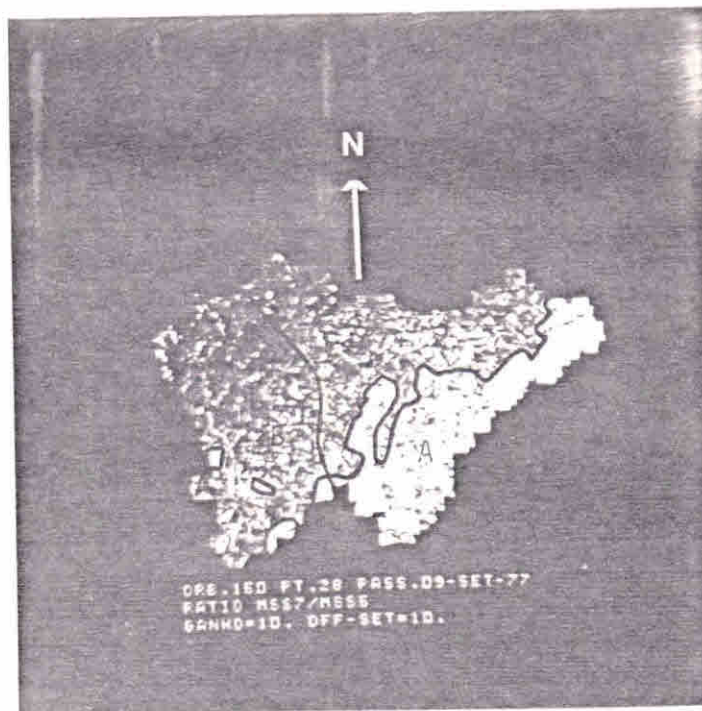


FIGURA 12