

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A representação da superfície topográfica é de importância no contexto de Cartografia Digital porque diversas análises podem ser. Para diferentes aplicações podem ser necessários diferentes conjuntos de dados, assim como para representações em diferentes escalas podem ser necessários diferentes quantidades de informação. Neste trabalho, foi adotada a representação de superfície pelo método da grade retangular. As grades retangulares regulares tem como característica principal a simplicidade da organização dos dados, porém tem como principal desvantagem o volume de dados redundantes. A redução da redundância de dados pode ser realizada mediante a aplicação de conceitos da Teoria Matemática da Comunicação - TMC.

Os principais conceitos que embasaram este trabalho foram: a) generalização cartográfica; b) representação de superfícies por meio de grades retangulares regulares; e c) entropia, similaridade, equivocação e informação útil da Teoria Matemática da Comunicação. O objetivo geral almejado foi a realização da generalização de superfícies topográficas representadas digitalmente como grades retangulares regulares, baseando a decisão de remoção de dados numa função de similaridade e na aplicação de conceitos da TMC.

O modelo de dados usado neste trabalho consistiu de coordenadas cartesianas tridimensionais de pontos da superfície topográfica organizados em seções do terreno paralelas aos eixos Y, caso em que são denominadas seções normais, e X, quando são denominadas seções transversas. As seções verticais do terreno são as unidades tratadas com a função de similaridade, isto é, a função de similaridade é usada na avaliação de um par de seções normais ou um par de seções transversas.

A avaliação da aplicabilidade dos conceitos de entropia, similaridade, equivocação e informação útil aos dados de grades retangulares regulares foi realizada em quatro experimentos em que foram usados sete conjuntos de dados de uma mesma região produzidos nas resoluções de *100m*, *200m*, *250m*, *500m*, *750m* e *1000m*, denominadas grades retangulares regulares totais. Destas grades foram derivadas

grades retangulares regulares com o contorno aproximadamente circular, com raio de 10km nas mesmas resoluções para que se realizassem testes de orientação da grade. Cada grade retangular regular total, ainda por derivação, deu origem a quatro grades retangulares regulares menores compostas pelos dados dos quatro quadrantes *NE*, *NO*, *SE* e *SO*.

Foram realizados testes com as grades retangulares regulares totais com variação do valor de tolerância usado pela função de similaridade; testes com grades afetadas de um ângulo de rotação de 15° , 30° , 45° , 60° e 75° , em que o valor da tolerância variou; testes com as grades retangulares regulares totais e com as grades retangulares regulares derivadas por quadrante com variação no valor da tolerância para o desnível e no método de cálculo da similaridade; e por fim foram realizados testes com as grades retangulares totais e com as grades retangulares regulares por quadrante em que o valor da tolerância foi determinado a partir da declividade média da grade e com o controle da frequência da declividade para cada iteração. Os processamentos de todos os testes realizados tiveram uma parte comum relativa à TMC, cujos resultados importantes são: o número inicial e final de seções verticais normais e transversas; o número de iterações (quando foi o caso); os números de similaridades iguais a 1, iguais a 0 e diferentes de 0 e diferentes de 1; o valor da entropia do conjunto original e do conjunto avaliado pela função de similaridade; o valor da equivocação; e o valor da informação útil.

Na avaliação do comportamento dos conceitos da TMC aplicada a todas as grades retangulares regulares totais apenas o valor da tolerância foi modificado e os valores de entropia, equivocação, informação útil e os números de similaridades detectadas foram observados e analisados. Neste experimento apenas uma iteração com cada valor de tolerância foi realizado. Estes testes permitiram comprovar que com a redução do valor da tolerância ocorre a redução no número de similaridades. A determinação de similaridades ocorre por meio de avaliação de desníveis entre pontos homólogos. Quando o desnível entre dois pontos homólogos for menor ou igual ao valor de tolerância para desníveis este par de pontos contribui para o valor de similaridade. Quando o desnível entre os pontos homólogos for maior do que o valor

de tolerância para desníveis os pontos não contribuem para o valor da similaridade. A similaridade entre duas seções verticais paralelas do terreno será tanto maior quanto mais desníveis entre pontos homólogos tiverem desnível menor do que o valor da tolerância. A ocorrência de similaridades implica no aumento do valor da equivocação e na redução da informação útil. Nestes testes foram usados os valores de tolerância entre $200m$ e $1m$. A utilização do valor $200m$ acarretou o surgimento de muitas similaridades e no menor valor de informação útil dentre estes testes. Para o valor $1m$ para a tolerância dos desníveis apenas as grades retangulares de maior resolução apresentaram similaridades comprovando que as maiores resoluções apresentavam maiores detalhes do terreno. Comprova-se que com o conceito de entropia pode-se avaliar desníveis numa grade retangular regular pela observação da presença de similaridades.

Para a determinação da influência da orientação da grade retangular regular sobre o resultado da entropia, similaridade, equivocação e informação útil foram realizados os testes com as seções normais e transversas das grades retangulares regulares de contorno circular. Nestes testes foi aplicado o processo de remoção progressiva, e pode-se perceber que para as grades retangulares com orientação entre 30° e 45° a taxa de remoção de seções foi maior para as grades retangulares de todas as resoluções quando o valor da tolerância foi de $10m$ (Tab. 7.7) e de $20m$ (Tab. 7.8). Para a tolerância maior, como por exemplo $60m$, a influência da orientação da grade é menos evidente.

O processo de remoção progressiva foi aplicado tanto às grades retangulares regulares totais quanto às grades retangulares regulares de quadrantes NE , NO , SE e SO . As grades por quadrantes foram derivadas a partir das grades totais para realizar testes com relevo mais suave e com relevo mais acidentado, visto que o quadrante SE apresenta relevo de plano e o quadrante NE apresenta relevo mais acidentado. No processo de remoção progressiva as seções são removidas em função do valor de similaridade que apresentam e em função do número de vizinhos similares.

Os testes com as grades retangulares regulares totais foi realizado com variação da tolerância com todas as resoluções. Percebeu-se que quanto menor a resolução menor é a detecção de similaridades entre pares de seções para um mesmo valor de tolerância. Quando os valores de tolerância são altos para grades de resoluções menores ocorre a deterioração da representação como mostrado na Figura 7.21, para a grade retangular regular de resolução *1000m* e tolerância de valor *80m*. Para grades retangulares regulares que contém regiões muito acidentadas e regiões menos acidentadas o processo de remoção progressiva é mais lento e portanto ocorrem mais iterações. As grades retangulares regulares de maior resolução apresentam, portanto, mais iterações. Para relevo pouco acidentado, como é o caso do quadrante *SE*, a ocorrência de similaridades é grande, o que implica em remoção de seções verticais paralelas do terreno. Como o processo de remoção progressiva é iterativo ocorre a remoção excessiva de seções quando o valor da tolerância é alto, o que pode deteriorar a representação da superfície pela introdução de planos artificiais, como é o caso extremo mostrado na Figura 7.33. A atuação do processo de remoção progressiva é interrompida pela “falta” de seções similares, isto quer dizer que, as determinações de similaridade entre as seções remanescentes sempre resulta nula ou apenas uma seção apresenta grau de similaridade diferente de zero e que por proposição do método é preservada. Os valores de tolerância utilizados para os testes com as grades retangulares regulares foram estabelecidos de modo a se estudar o processo de remoção progressiva. O processo de remoção progressiva foi considerado eficiente, no entanto, é dependente da determinação do valor de tolerância para o desnível a ser usado na avaliação da similaridade entre pares de seções.

O último conjunto de testes foi realizado para avaliar a utilização de informação de declividade da representação da superfície como valor de tolerância para desníveis na função de similaridade. As declividades médias das faces da grade retangular regular foram calculadas e distribuídas em classes para a grade original e, a cada processamento das seções normais e das seções transpostas as declividades médias foram calculadas e distribuídas nas mesmas classes da grade original. A detecção de

variações maiores do que o valor de tolerância para variação de frequência de declividade foi usada como critério de término do processo iterativo de remoção progressiva.

Os testes com as grades retangulares regulares totais e com as grades retangulares regulares dos quadrantes *NE*, *NO*, *SE* e *SO*, cujo valor de tolerância para desnível correspondente ao valor da declividade média da superfície, mostraram que esta abordagem proporciona rápida remoção de seções e não produz deterioração da representação da superfície. Para os testes do quadrante *NE* o processo de remoção progressiva proporcionou aumento da declividade média e taxa remoção de seções verticais da ordem de 36% a 58% na última iteração. O controle da variação da frequência das declividades das faces proporcionou bons resultados para os testes com baixo número de iterações. Para o quadrante *SE*, caracterizado por baixas altitudes de relevo suave se comparado ao quadrante *NE*, os testes resultaram em taxas de remoção variando entre os limites de 21% e 42% para a última iteração porque o valor da declividade média para esta região é baixo.

Para as grades retangulares totais os testes mostraram que a remoção para a primeira iteração já foi da ordem de 45%, e para as iterações seguintes aumentou até que na última iteração chegou a 76% e ocasionou a deterioração da superfície pelo surgimento de planos e cristas artificiais. A partir dos testes com remoção progressiva e controle de variação de frequência de declividade concluiu-se que apenas uma iteração já proporciona a redução de dados significativa. A suavização da superfície é inevitável e a redução da declividade média da superfície também é esperada visto que a remoção de dados tende a aplanar a superfície.

Pode-se destacar apenas as conclusões acerca dos experimentos propostos e verificados com os testes realizados:

- Os conceitos de entropia, similaridade, equivocação e informação útil da Teoria Matemática da Comunicação podem ser aplicados a problemas de generalização da representação da superfície topográfica por meio de grades retangulares regulares;

- A orientação da grade retangular regular tem influência sobre o processo de cálculo da informação útil de forma que existe uma orientação para a grade que proporciona maior número de iterações do processo de remoção progressiva como consequência resulta em maior remoção de seções. Do ponto de vista de volume de dados, a orientação apropriada da grade retangular implica em menor quantidade de dados para representar a mesma superfície;
- O processo de remoção progressiva, via de regra, produz a suavização da representação da superfície e pode conduzir à deterioração e descaracterização da superfície pela utilização de critério de tolerância inadequado;
- O uso do valor de tolerância para desnível que é derivado do valor da declividade média da superfície proporciona, para a primeira iteração, a remoção de quantidade de seções verticais normais e transpostas em tal magnitude que não descaracterizam a representação;
- A aplicação dos conceitos de entropia, similaridade, equivocação e informação útil da TMC ao problema de generalização de superfícies está de acordo com McMaster e Shea que afirmam que a determinação dos valores dos parâmetros dos procedimento de generalização é complexa e pode causar grande variação nas soluções obtidas da aplicação destes;
- Os conceitos da TMC baseada no modelo de similaridade proposto nesta Tese aplicados ao problema da generalização de superfícies representadas por meio de grades retangulares regulares não proporciona a almejada automação do processo de generalização, porque as considerações sobre a forma de finalizar o processo iterativo não são eficientes em todos os casos analisados.

A realização da comparação dos pares de seções verticais do terreno foi realizada considerando que a primeira seção normal tem a menor coordenada em X e a

última tem a maior. O mesmo ocorreu para as seções transversas, isto é, a primeira seção transversa tem a menor coordenada em Y e a última tem a maior.

A realização das visualizações das grades retangulares irregulares produzidas pelo processo de remoção progressiva forçou a reinterpolação de pontos numa grade retangular regular usando as coordenadas da grade irregular por falta de uma função de visualização que aceite como argumento uma grade retangular irregular.

Neste trabalho, as condições impostas para a manutenção das seções verticais paralelas do terreno se resumiram à manutenção das seções normais e transversas do limite da região representada e das seções com os pontos de máximo e mínimo valor de altitude.

Em vista disso, recomenda-se que os trabalhos que venham a seguir esta linha de abordagem de generalização de grades retangulares regulares baseada na Teoria Matemática da Comunicação, considerem:

- Avaliar a relevância da ordem de realização da comparação entre pares de seções verticais paralelas do terreno. Considerar que a primeira seção é aquela que tem a menor coordenada x e a última seção é aquela que tem a maior coordenada x , ou se deve ser o inverso disso;
- Desenvolver e incluir funções para a visualização de dados de grades regulares irregulares produzidas pelo processo de remoção progressiva;
- Incluir dados estruturais da superfície topográfica como condição para manutenção de seções na grade retangular irregular final produzida pelo processo de remoção progressiva; e
- Buscar ampliar a automatização do processo de remoção progressiva pela determinação de valores de tolerância obtidos a partir dos próprios dados a operar.

