



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PERSISTÊNCIA DE MODELOS DE GRADE IRREGULAR TRIANGULAR
MULTIESCALA EM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

Eduilson Lívio Neves da Costa Carneiro

Proposta de Tese de Doutorado em Computação Aplicada, orientada pelo
Dr. Gilberto Câmara

INPE
São José dos Campos

2007

RESUMO

O modelo de rede irregular triangular (TIN – *Triangulated Irregular Networks*) é usado para representar dados contínuos como relevo, temperatura, informações geológicas e informações meteorológicas. Esses dados têm relação direta com a gestão de desastres naturais que pode ser feita utilizando as ferramentas das geotecnologias. Com a utilização da tecnologia de banco de dados existente, o armazenamento de TIN em banco de dados poderá dar mais dinamismo nas aplicações de previsão, modelagem e análise espacial. Este trabalho apresenta uma estrutura de persistência de TIN e uma nova técnica de indexação de dados de terreno que possibilite esse dinamismo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	5
CAPÍTULO 1.....	6
INTRODUÇÃO	6
1.1 Justificativa	7
1.2 Hipóteses	8
1.3 Objetivo Geral.....	8
1.3.1 Objetivo Específico.....	8
1.4 Contribuição desta proposta	9
1.5 Organização do texto.....	9
CAPÍTULO 2.....	10
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Modelos TIN multiescala	14
CAPÍTULO 3.....	20
PERSISTÊNCIA DE TIN MULTIESCALA EM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	20
3.1 Cronograma de Atividades	24
CAPÍTULO 4.....	26
CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Superfície e grade irregular triangular correspondente (Namikawa <i>et al.</i> , 2003).....	11
Figura 2.2 – Seqüência de TIN piramidal (De Floriani, 1989).	15
Figura 2.3 – Relação piramidal entre as triangulações (De Floriani, 1989).....	16
Figura 2.4 – Esquema do método <i>Multiscale Implicit TIN</i> (Kidner <i>et al.</i> , 2000).	16
Figura 2.5 – Níveis de TIN multiescala (Kidner <i>et al.</i> , 2000).....	17
Figura 2.6 – Fluxo de dados do modelo de geração dinâmica de TIN multiescala (Yang <i>et al.</i> , 2005a).....	18
Figura 3.1 – Representação de uma árvore k-dimensional com 3 dimensões.....	20
Figura 3.2 – Estrutura de armazenamento com ponteiros entre vértices e arestas.....	22
Figura 3.3 – Estrutura de armazenamento sem ponteiros entre tabelas	23
Figura 3.4 – Processo de construção do TIN multiescala (a) linhas características (b) triangulação inicial (c) triangulação final após inserção dos vértices (adaptado de Park(2001)).....	24

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BD	– Bancos de Dados
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIDAR	– <i>Light Detection and Ranging</i>
OGC	– <i>Open Geospatial Consortium</i>
SI	– Sistemas de Informações
SIG	– Sistemas de Informações Geográficas
SGBD	– Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados
SGBD–R	– Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Relacionais
SGBD–OR	– Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Objeto–Relacional
TIN	– <i>Triangulated Irregular Networks</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os modernos Sistemas de Informações (SI) estão baseados nas tecnologias dos Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) disponíveis. Devido à grande quantidade de dados que gerenciam e às necessidades de performance no armazenamento e recuperação dessas informações, os SI modernos são desenvolvidos aproveitando todos os recursos disponíveis pelos SGBD. Assim, os SI transferem, para os SGBD, a responsabilidade por performance na gravação e leitura dos dados, controle de concorrência, segurança no acesso aos dados, dentre outras atividades. Dentre os SGBD existentes, destacaram-se os Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Relacionais (SGBD-R), que se apóiam na teoria dos modelos relacionais de dados.

Os Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Objeto-Relacional (SGBD-OR) evoluíram dos SGBD-R, agregando características relativas à orientação objeto, e tornando-se uma solução para SI não convencionais. Dentre essas aplicações encontram-se os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Os SIG têm como componente não convencional a capacidade de manipulação de dados geográficos, assim, eles possuem capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos. Os SIG possuem duas formas de interação com os SGBD através de dois tipos de arquiteturas (Câmara, 2005):

- Arquitetura dual, onde os BD armazenam os dados convencionais ou alfanuméricos e os dados espaciais são armazenados em arquivos de formato proprietário;

- Arquitetura integrada, que utilizam os BD para armazenarem tanto os dados alfanuméricos quanto espaciais.

O armazenamento de dados espaciais em SGBD está diretamente relacionado à sua forma de representação. Goodchild (2007) apresenta uma classificação para representação de dados geográficos dividida em dois grupos: Geo-Campos e Geo-Objetos.

Geo-Objetos: são representados por entidades vetoriais: ponto, linha e polígono, referenciados por um sistema de coordenadas cartesianas, com fronteiras claramente definidas e com ou sem relação topológica entre si.

Geo-Campos: são representados através de uma matriz com células retangulares, hexagonais ou triangulares, ou de uma rede irregular de triângulos ou polígonos. Os geo-campos são utilizados na discretização de informações como relevo, temperatura ou pressão sobre superfícies contínuas.

As representações de geo-campos em redes triangulares irregulares, comumente conhecidas como TIN – *Triangulated Irregular Networks*, são o objeto de estudo deste trabalho, com foco principal em sua persistência e eficiente recuperação em BD.

1.1 Justificativa

Uma das formas de representação dos dados espaciais em Sistemas de Informações Geográficas é o modelo TIN, que são usados para representar dados contínuos como relevo, temperatura, informações geológicas e informações meteorológicas.

Esses dados têm relação direta com a gestão de desastres naturais que pode ser feita utilizando as ferramentas das geotecnologias (Chau *et al.*, 2004; Marcelino, 2007; Sanyal; Lu, 2006).

Com a tecnologia disponível nos SGBD atuais para gerenciamento de grande massa de dados, poderemos ter mais dinamismo nas aplicações de previsão, modelagem e análise espacial. A integração entre as tecnologias de SGBD e a persistência de modelos TIN em Banco de Dados Geográficos dará maior dinamismo na utilização desses dados, permitindo simulações, previsões, e análises espaciais mais apuradas.

1.2 Hipóteses

A presente tese baseia-se na hipótese de que a persistência em banco de dados de modelos TIN multiescala pode contribuir nas atividades de modelagem, previsões, análises e visualização de dados de terrenos. Partindo-se dessa proposição busca-se alcançar os objetivos abaixo.

1.3 Objetivo Geral

Esta tese tem o objetivo de responder à questão: Qual a estrutura de dados mais adequada para persistência de modelos TIN em banco de dados? A adequação dessa estrutura será medida pela eficiência tanto no armazenamento quanto na recuperação dos dados.

1.3.1 Objetivo Específico

- 1) Implementar uma estrutura de dados para persistência de modelos TIN em banco de dados que permitam multiescala.
- 2) Implementar um método de indexação que proporcione eficiência na utilização e alteração dos dados armazenados.

1.4 Contribuição desta proposta

Na área de banco de dados geográficos, essa proposta contribui apresentando um modelo de persistência de TIN multiescala, o qual possibilite um eficiente armazenamento e recuperação dos dados atendendo a requisitos estabelecidos pelo usuário. Além da apresentação de um modelo de indexação para dados de terreno, que permitirá uma recuperação por etapas de detalhes do modelo, melhorando a performance da visualização e da análise dos dados.

1.5 Organização do texto

A presente proposta de tese está organizada da seguinte forma. No capítulo 2 apresentamos uma revisão bibliográfica sobre as técnicas de geração de modelos TIN e modelos TIN multiescala. No capítulo 3 apresentamos uma proposta de estrutura de armazenamento de modelos TIN multiescala e seu processo de recuperação. As considerações finais sobre esta proposta estarão ressaltadas no Capítulo 4.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Mark (1997) e Berg *et al.* (2000), o modelo TIN é a forma padrão para representação de topografia em SIG e em outros *softwares*.

De acordo com Preparata e Shamos (1985), uma triangulação pode ser definida da seguinte forma: seja $P = \{p_i = (x_i, y_i), 1 \leq i \leq n\}$ um conjunto de N pontos distintos, espaçados irregularmente, num espaço euclidiano bidimensional, $FC(P)$ o fecho convexo do conjunto P , ou seja, o menor polígono convexo no espaço euclidiano que contenha todos os pontos de P , e $t = (V_1, V_2, V_3)$ um triângulo formado pelos vértices V_1, V_2 e $V_3 \in P$. O conjunto de triângulos $T = \{t_j, 1 \leq j \leq m\}$ é uma triangulação de P se não houver superposição de triângulos, podendo haver compartilhamento de vértices e arestas, e que cada região interna a $FC(P)$ pertença a um triângulo de T .

O conjunto P representa os pontos amostrais da variável, ou fenômeno em questão, que será modelado pelo TIN. Cada amostra é composta de uma posição e do valor que representa a ocorrência do fenômeno sobre esta posição. Por exemplo, para o sistema de coordenadas cartesiano XYZ , a posição pode ser representada pelo par de coordenadas xy e o valor de z . Os fenômenos espaciais que podem ser representados por TIN são dados de relevo, temperatura, informações geológicas, informações meteorológicas, dentre outros, coletados em espaçamento irregular com cobertura de toda área da superfície a ser representada.

Segundo Namikawa (2003), a triangulação de Delaunay é a mais aceita para representação de superfícies, e cita duas propriedades para que uma triangulação T seja uma triangulação de Delaunay:

- supondo um quadrilátero convexo formado por dois triângulos adjacentes e a aresta comum a esses triângulos uma diagonal do quadrilátero. Se essa diagonal for substituída por outra diagonal do quadrilátero e o mínimo entre os seis ângulos internos dos triângulos não aumentar, então, essa é uma triangulação de Delaunay (Sibson, 1978);
- para todo triângulo $t \in T$, da triangulação sobre o conjunto P de pontos, composto pelas arestas A_1, A_2 e A_3 , existe um círculo C com borda sobre as extremidades destas arestas e este círculo não contém outros pontos do conjunto P . Esta propriedade é conhecida como propriedade do circuncírculo (Li *et al.*, 2004).

A Figura 2.1 apresenta um exemplo de superfície com a estrutura triangular associada.

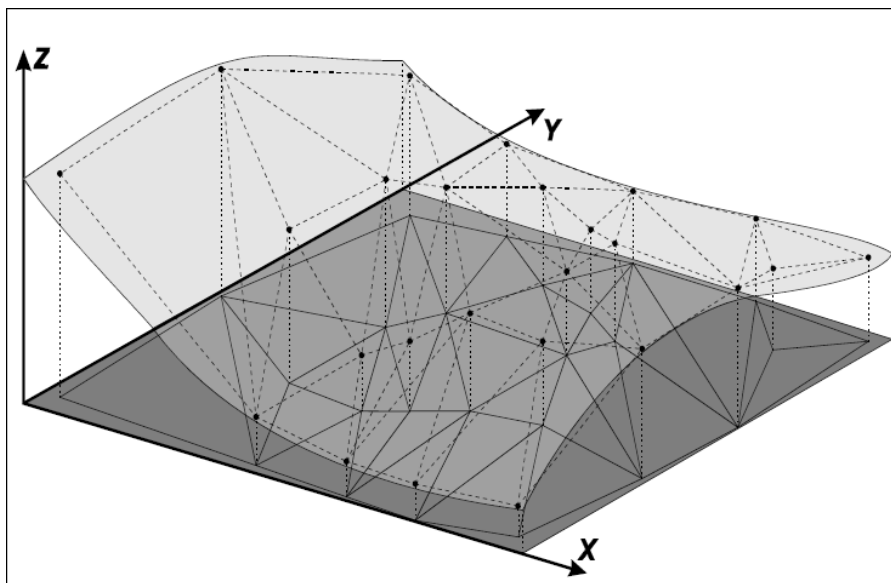


Figura 2.1 – Superfície e grade irregular triangular correspondente (Namikawa *et al.*, 2003).

Conforme Li (2004), existem diversas abordagens aceitas para a construção de triangulações baseadas na triangulação de Delaunay, e apresenta algumas:

- **Triangulação de Delaunay estática baseada em vetores:** nesse método os pontos amostrais são todos apresentados de uma única vez. Após a escolha do ponto inicial inicia-se a criação dos triângulos, sequencialmente, até estarem todos os

pontos interligados. A escolha do ponto inicial segue algumas abordagens: (a) o centro geométrico dos pontos amostrais (Ilfick, 1979); (b) a menor das linhas entre dois pontos, que gera muito processamento para calcular todas as distâncias entre os pontos e por isso menos indicada; (c) um segmento de linha no limite imaginário para os pontos, tal limite pode ser o retângulo envolvente dos pontos; (d) um segmento de linha sobre o fecho convexo dos pontos amostrais, o cálculo do fecho convexo pode ser realizado através de diversos algoritmos (Rezende; Stolfi, 1994), (Preparata *et al.*, 1985).

- **Triangulação de Delaunay dinâmica baseada em vetores:** a inserção dos pontos amostrais dá-se de forma sequencial, o que faz com que o processo de criação da triangulação adquira um formato dinâmico onde a triangulação é ajustada à medida que os novos pontos são inseridos. Esse método também abrange a exclusão de pontos, refazendo a triangulação após cada remoção. Este procedimento apresenta complexidade da ordem $O(N^2)$ no pior caso, mas se a busca for iniciada por um ponto central passa a ter $O\left(N^{\frac{3}{2}}\right)$ (Guibas; Stolfi, 1985). O algoritmo de Bowyer-Watson (Bowyer, 1981; Watson, 1981) é considerado o principal algoritmo para esse tipo de triangulação.
- **Triangulação Quase-Delaunay:** esse processo de triangulação é utilizado quando temos a necessidade de inserir linhas características no modelo encontrado. As linhas características representam formas geográficas que causam uma descontinuidade da superfície, como os vales, as cristas de regiões montanhosas, dentre outros (Namikawa, 1995). Esse método segue duas propriedades: (a) as linhas características são inseridas em uma triangulação prévia, (b) o resultado final é uma triangulação mais próximo possível da triangulação de Delaunay (Li *et al.*, 2004).

- **Triangulação de Delaunay via Diagrama de Voronoi:** existe uma forte relação entre o Diagrama de Voronoi e a Triangulação de Delaunay. Após a construção do Diagrama de Voronoi efetua-se a triangulação unindo-se os pontos que compartilham bordas das regiões do diagrama de Voronoi, formando as arestas para a Triangulação de Delaunay. Portanto, a questão importante nesse método é o processo de criação do diagrama de Voronoi. Para uma descrição elementar do diagrama de Voronoi, seja P um conjunto de N pontos no plano e p_i e $p_j \in P$, a região do plano que está mais próxima do ponto p_i do que de p_j é definida pelo semi-plano que contenha p_i , ou seja, pelo bissetor perpendicular ao segmento de reta $\overline{p_i p_j}$, denominado $H(p_i, p_j)$. Seja $V(i)$ a região do plano que está mais próxima de p_i do que qualquer outro ponto de P , então, $V(i)$ é a interseção de $N-1$ semi-planos e é uma região poligonal convexa com no máximo $N-1$ lados.

$$V(i) = \bigcap_{j \neq i} H(p_i, p_j)$$

Sendo $V(i)$ denominado de polígono de Voronoi associado a p_i , as N regiões do plano compreendem o diagrama de Voronoi para o conjunto P , representado por $Vor(P)$ (Preparata *et al.*, 1985). Existem diversos algoritmos disponíveis para a geração do diagrama de Voronoi, uma extensa apresentação e avaliação sobre eles pode ser encontrada em Aurenhammer (1991) e Okabe *et al.* (2000).

A precisão dos modelos TIN está diretamente relacionada à qualidade dos pontos amostrais, ou seja, o custo do modelo tem uma relação direta com a confiabilidade das amostras (Maune, 2001). Por exemplo, para representar áreas com grande variação na topografia através de um modelo TIN é necessária a existência de uma maior quantidade de pontos amostrais que em áreas com menos variações de topografia.

O gerenciamento dessa grande quantidade de dados demanda uma alta capacidade de processamento e memória. Os modelos TIN multiescala são amplamente usados para melhorar o desempenho em visualizações de grandes massas de dados de terrenos (Xu *et al.*, 2006).

2.1 Modelos TIN multiescala

Segundo Fisher (2007), a pesquisa sobre modelos de elevação de terreno deve migrar dos estudos de técnicas de interpolação para o tratamento da grande quantidade de dados obtidos por dispositivos de sensoriamento remoto, tais como LIDAR – *Light Detection and Ranging*. A tecnologia LIDAR está sendo amplamente utilizada para aquisição de dados de elevação de alta resolução (Briese *et al.*, 2007; Zeng *et al.*, 2007). A modelagem desses dados demanda cada vez mais poder de processamento e espaço de armazenamento. Os modelos multiescala são uma alternativa para manuseio desses dados (Danovaro *et al.*, 2005; Ribelles *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2005b; Yang *et al.*, 2005c; Zhou *et al.*, 2004), processando apenas os dados do modelo que atendam à necessidade do usuário num determinado momento.

A seguir, algumas soluções para o problema da multiescala em modelos TIN e que servirão como fundamentação para essa proposta de tese.

Em De Floriani (2000) foi apresentado um sistema que trabalha com modelos digitais de terreno multiescala baseado em TIN para visualização de terrenos, além de algumas operações como cálculo de elevação de um ponto dado, sobreposição, dentre outros. Esse sistema foi baseado no modelo piramidal (De Floriani, 1989) utilizado para compressão de dados espaciais e representação de superfícies em diferentes níveis de detalhe (Figura 2.2).

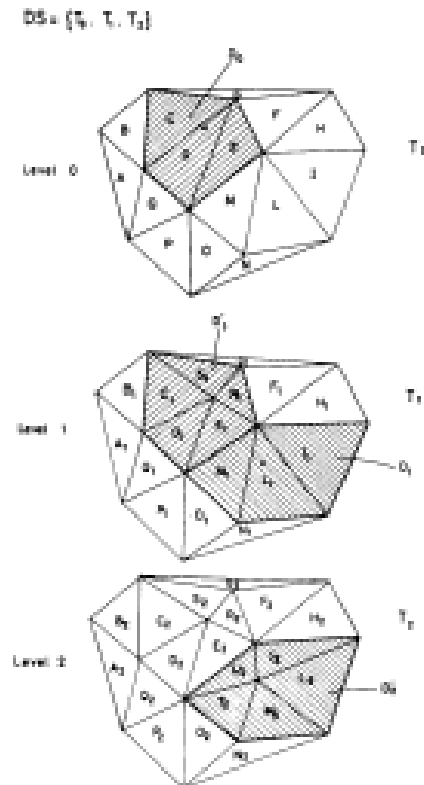


Figura 2.2 – Sequência de TIN piramidal (De Floriani, 1989).

A estrutura de dados usada para codificar as relações entre os níveis de detalhe é baseada na relação entre os triângulos (Figura 2.3), com isso, gera-se uma sobrecarga a partir da redundância no armazenamento de dados dos vértices comuns a vários triângulos.

A geração de diferentes níveis de escala é feita através da inserção seqüencial de novos vértices na triangulação. Ou seja, partindo-se de uma triangulação inicial, novos vértices serão inseridos, gerando outros níveis diferentes de triangulação (Figura 2.2).

O método utilizado para a geração da triangulação inicial é Triangulação Quase-Delaunay, utilizando os vértices que estão nas bordas da área a ser modelada juntamente com os vértices de pontos específicos da superfície e linhas características do terreno.

Esse sistema possui algumas limitações referentes à quantidade de dados a serem utilizados, por armazenar os modelos TIN multiescala em memória primária, o que dificulta sua utilização para grandes bases de dados de terrenos.

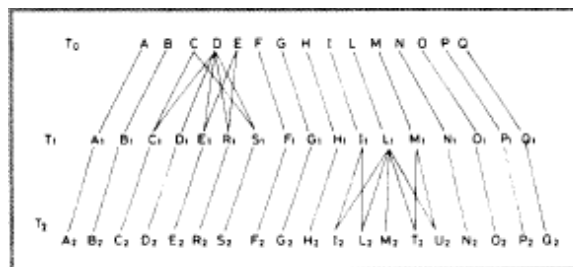


Figura 2.3 – Relação piramidal entre as triangulações (De Floriani, 1989).

O método desenvolvido por Kidner (2000), denominado “TIN Implícita Multiescala”, define uma estrutura de dados (Figura 2.4), para dados de terreno, que adapta seu conteúdo e nível de detalhe às necessidades do usuário. A estrutura de dados utilizada é baseada no armazenamento de vértices e linhas características (arestas) do TIN. Esse sistema armazena apenas os dados do terreno, sem que nenhum relacionamento topológico seja armazenado.

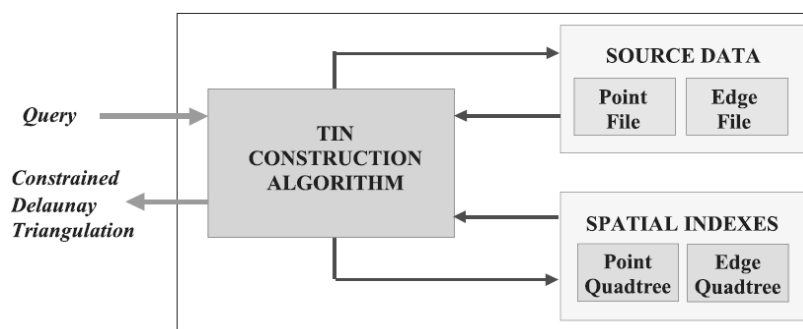


Figura 2.4 – Esquema do método *Multiscale Implicit TIN* (Kidner et al., 2000).

A recuperação dos dados é feita através dos requisitos estabelecidos pelo usuário, que determina uma área de interesse dentro da área total do terreno. O método utiliza dois índices espaciais para acesso aos dados armazenados. São duas árvores quaternárias, uma para acesso aos vértices e outra para as arestas, que representam as linhas características do terreno.

O algoritmo de construção do TIN é baseado no método de Triangulação Quase-Delaunay. Por exemplo, o usuário define uma região de interesse, então os vértices e arestas correspondentes a essa área são recuperados do disco para memória principal. Com isso, uma triangulação inicial é gerada com todos os vértices recuperados, e em seguida são inseridas as arestas correspondentes às linhas características do terreno.

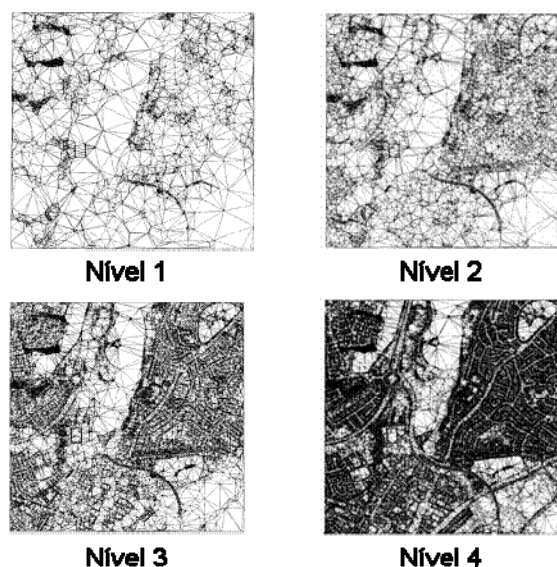


Figura 2.5 – Níveis de TIN multiescala (Kidner *et al.*, 2000).

Esse método atende ao usuário de pequena e média escala, mas para usuários de grande quantidade de dados, esse método apresenta um baixo desempenho, necessitando de novas técnicas de recuperação de dados, que permita ser adaptada às necessidades do usuário.

Yang (2005a) apresentou um método para gerar modelos TIN multiescala dinamicamente. O método (Figura 2.6) é baseado em sucessivas eliminações de arestas gerando triangulações subseqüentes e com menos detalhes.

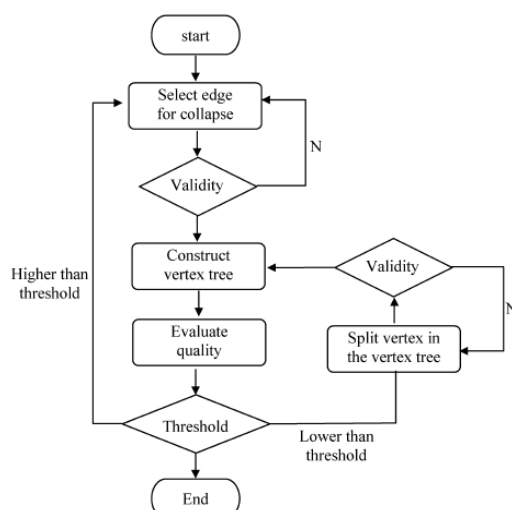


Figura 2.6 – Fluxo de dados do modelo de geração dinâmica de TIN multiescala (Yang *et al.*, 2005a).

A estrutura de dados utilizada consiste no armazenamento dos vértices e triângulos constantes do TIN, além de uma estrutura de dados em que conste a relação de dependência dos vértices eliminados nos níveis de menor detalhe.

Partindo-se de um TIN inicial com todos os pontos amostrais inseridos, o método armazena a informação de todos os vértices e triângulos gerados. Então, seleciona algumas arestas para serem eliminadas, de acordo com critérios a serem definidos pelo usuário, por exemplo, a definição do ângulo máximo formado entre dois triângulos adjacentes, ou o método da distância mínima da aresta para o plano médio (Schroeder *et al.*, 1992). A estrutura usada para armazenar a informação da relação de dependência entre as arestas eliminadas e as arestas restantes é uma estrutura de árvore binária baseada numa estratégia de compressão denominada de “método de agrupamento” (Park *et al.*, 2001).

Ao contrário dos métodos citados anteriormente, esse método, desenvolvido por Yang, parte de uma triangulação completa para a geração de níveis com menos detalhes, e a abordagem utilizada para a geração da triangulação não é determinada pelo autor. Devido ao armazenamento dos vértices e todos os triângulos gerados, além das relações de dependência das arestas eliminadas, a utilização desse método para

triangulações de alta resolução demanda uma grande quantidade de dados e, conseqüentemente, uma demanda por espaço em disco.

No próximo capítulo apresentaremos uma proposta para a solução do problema do armazenamento de modelos TIN multiescala. A proposta apresenta uma estrutura de armazenamento e índices de indexação, assim como, forma de recuperação dos dados armazenados buscando sempre bom desempenho e atender aos requisitos do usuário.

CAPÍTULO 3

PERSISTÊNCIA DE TIN MULTIESCALA EM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

Este trabalho propõe uma estrutura de dados multiescala para persistência de TIN em BD baseado no armazenamento dos vértices e algumas arestas selecionadas do terreno, aqui denominadas de arestas fixas. A indexação será baseada na árvore k-dimensional (Figura 3.1), utilizando os atributos de posicionamento, inclusive do eixo z (altitude), como índices. Com isso, tentamos aperfeiçoar a recuperação dos dados necessários para construção do TIN. Pois, o usuário terá a possibilidade de escolher além da área de interesse a faixa de alturas que atendam as suas necessidades. Assim, evitando a recuperação de dados desnecessários.

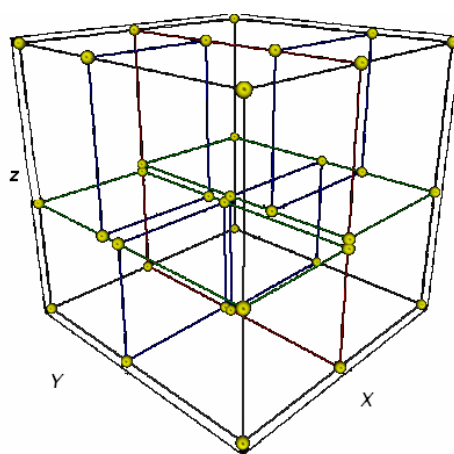


Figura 3.1 – Representação de uma árvore k-dimensional com 3 dimensões.

A partir de uma triangulação pronta, o método para armazenamento do TIN segue as seguintes etapas:

1 – Processo de simplificação do TIN

O processo de simplificação do TIN tem por objetivo estabelecer as informações relativas aos níveis de detalhes do modelo TIN multiescala a ser

armazenado. Esses níveis de detalhes serão baseados nas informações repassadas pelo usuário de acordo com suas necessidades. Existem três opções para o processo de simplificação do TIN, sendo que podem ser usadas individualmente ou em conjunto.

Escolha de Arestas: Nesse processo faremos a escolha das arestas fixas que funcionam como linhas características do modelo. Esse processo é baseado na estratégia adotada por Yang (2005a) em que o ângulo existente entre triângulos adjacentes pode determinar uma descontinuidade da superfície do terreno, configurando-se como acidentes geográficos de importância, e por isso, devem ser mantidos em qualquer escala de visualização do modelo.

Eliminação de Vértices: cotas de corte – o usuário pode determinar um valor mínimo de cota de terreno para o seu modelo. Assim, os vértices que tenham cotas abaixo desse valor serão suprimidos do modelo. Com isso, eliminamos dados que não seriam necessários em modelagem de terreno no qual o ponto de vista do usuário é levado em consideração.

Eliminação de triângulos: (a) grau de declividade – o usuário determina uma tolerância para declividade do triângulo como limite para eliminação de triângulos em regiões com declividade que não interessam à modelagem. (b) resolução para cada nível – esse valor representa a distância mínima entre pontos em cada nível de detalhe do modelo a ser armazenado. (c) número de níveis – o usuário poderá determinar em quantos níveis de detalhes deseja armazenar o TIN.

Com esses processos esperamos simplificar o TIN, eliminando informações irrelevantes e obtendo as informações necessárias para cada nível de detalhe desejado pelo usuário. Após a simplificação do TIN inicia-se o processo de armazenamento dessas informações.

2 – Armazenamentos dos vértices e arestas

Para armazenamento dos vértices e arestas existem duas possíveis estratégias:

- (a) Uma tabela de geometria que contenha todos os vértices do modelo, e outra com os índices dos vértices que compõem as arestas fixas, ou seja, ponteiros para os vértices pertencentes às arestas. Nessa estrutura a vantagem é a simplificação da estrutura, concentrando todos os dados de vértices em um único lugar, e evitando a duplicação de dados para os vértices comuns a mais de uma aresta fixa. Como desvantagem, vemos a necessidade de uma ligação contrária, ligando a tabela de vértices à de arestas, para o caso de atualização e/ou alterações nos dados dos vértices existentes.

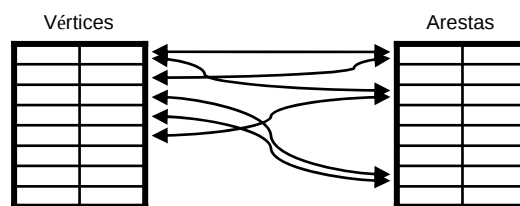


Figura 3.2 – Estrutura de armazenamento com ponteiros entre vértices e arestas

- (b) Duas tabelas de geometrias, sendo uma para armazenar os vértices do modelo e outra para as arestas fixas. Essa estrutura traz a vantagem de não ser necessário fazer um controle entre as informações das tabelas, sendo que são informações independentes. Como desvantagem a possibilidade de duplicação de informação nos casos de vértices comuns a mais de uma aresta fixa.

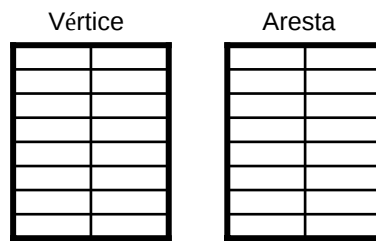


Figura 3.3 – Estrutura de armazenamento sem ponteiros entre tabelas

A avaliação de qual estrutura seria a mais adequada deve passar pela construção das duas estruturas e posterior execução de testes mais aprofundados.

3 – Recuperação dos dados e geração do modelo

A geração do modelo será de forma dinâmica em multiescala a partir de requisitos do usuário quanto à área e nível de detalhes. Os requisitos do usuário servem como base de seleção dos dados a serem recuperados, determinando as coordenadas da área a ser visualizada, além do nível de detalhe que deseja.

No primeiro estágio serão selecionadas apenas as arestas fixas que atendam aos requisitos estabelecidos e gerando-se uma triangulação inicial, ou seja, um modelo simplificado que traz as principais informações para o usuário. De acordo com a demanda de mais detalhes, os vértices, que também atendam aos requisitos, serão recuperados e inseridos no modelo gerando uma triangulação mais detalhada, para então termos o modelo final. A abordagem utilizada para construção do TIN é uma integração entre a Triangulação Quase-Delaunay e Triangulação de Delaunay Dinâmica Baseada em Vetores. Na Figura 3.2 temos a sequência de construção do modelo em três etapas.

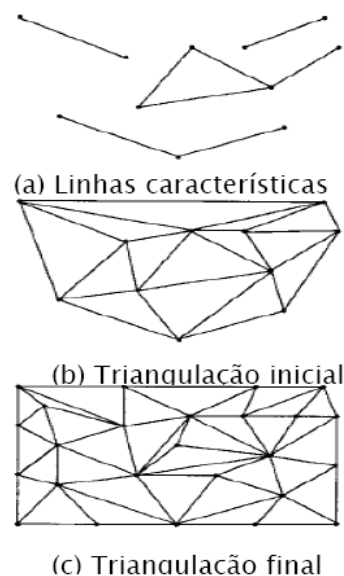


Figura 3.4 – Processo de construção do TIN multiescala (a) linhas características (b) triangulação inicial (c) triangulação final após inserção dos vértices (adaptado de Park(2001)).

Essa proposta necessitará de uma métrica para avaliar sua eficiência. Assim, pretendemos elaborar tal métrica e validá-la para a comparação desse modelo com outros.

A seguir um cronograma será apresentado com as atividades que deverão ser realizadas para a elaboração da tese.

3.1 Cronograma de Atividades

	Dez/2007– Mar/2008	Abr–Jun 2008	Jul–Set 2008	Out–Dez 2008	Jan–Mar 2009	Abr–Jul 2009
Desenvolvimento das estruturas opcionais de armazenamento	X					
Criação e testes do índice de indexação		X	X			
Desenvolvimento do processo de recuperação e montagem do TIN			X	X		
Experimentação através de testes			X	X	X	

	Dez/2007- Mar/2008	Abr-Jun 2008	Jul-Set 2008	Out-Dez 2008	Jan-Mar 2009	Abr-Jul 2009
Documentação do Trabalho						
Redação de artigos	X		X		X	
Redação da Tese		X	X	X	X	X
Defesa da Tese						X

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento da disponibilidade e da quantidade de dados de elevação de terreno, a pesquisa em modelagem de terreno volta-se para o gerenciamento desses dados. O manuseio de grande quantidade de dados exige uma otimização em sua utilização e as técnicas de multiescala suprem essa necessidade. As técnicas de gerenciamento de dados nos SGBD podem contribuir para esse gerenciamento. Esse trabalho foca-se no gerenciamento de dados de modelos TIN especificamente.

Aqui, apresentamos que os modelos TIN são baseados na construção da triangulação proposta por Delaunay e identificamos as principais abordagens aceitas para a construção de TIN baseadas na triangulação de Delaunay. São elas: (a) Triangulação de Delaunay estática baseada em vetores, (b) Triangulação de Delaunay dinâmica baseada em vetores, (c) Triangulação Quase-Delaunay, e (d) Triangulação de Delaunay via Diagrama de Voronoi.

Nesse trabalho, também, apresentamos alguns modelos de TIN multiescala mostrando suas estrutura de armazenamentos e indexação, além de como é feita a recuperação desses dados para a remontagem do modelo TIN.

De Floriani(2000), apresenta o sistema VARIANT que utiliza a uma multi triangulação para a geração de modelos TIN de forma incremental com a inserção seqüencial de dados. Esse modelo contempla apenas a utilização de memória principal, ou seja, ele não armazena em memória secundária os modelos multiescala.

Kidner (2000) utiliza-se do TIN implícita multiescala, que efetua o armazenamento de vértices e linhas características (arestas) em multiescala. Esse modelo é limitado para algumas aplicações devido a baixa performance.

Yang (2005) apresenta uma geração dinâmica de TIN em multiescala por eliminação de arestas e a compressão de dados da relação de dependência dos vértices com o armazenamento de vértices e triângulos. A utilização dessa estrutura de armazenamento gera uma sobrecarga de espaço em disco com o armazenamento de triângulos.

Após esse estudo surgem algumas questões de relevância para o tema. Como comparar e analisar os modelos apresentados? Qual a melhor estrutura para persistência e recuperação de modelos TIN em banco de dados?

Para responder a essas questões este trabalho propõe um modelo de persistência de TIN em BD composto por uma estrutura de armazenamento e um modelo de indexação, além de um processo de recuperação do TIN de forma a atender a necessidade do usuário.

Ao final deste trabalho, espera-se produzir um documento no qual serão apresentadas as vantagens do modelo proposto e as contribuições dele para o gerenciamento de dados de elevação de terreno, maximizando sua utilização em atividades de modelagem e previsão que utilizem esses dados. Sempre relacionando o desempenho do modelo e sua capacidade de atender as necessidades do usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aurenhammer, F. Voronoi diagrams – a survey of a fundamental geometric data structure. **ACM Computer Surveys**, v. 23, n. 3, p. 345–405, 1991.

Berg, M. d.; Kreveld, M. v.; Overmars, M.; Schwarzkopf, O. **Computational Geometry: Algorithms and Applications**. 2nd. New York: Springer-Verlag, 2000. 367 p.

Bowyer, A. Computing Dirichlet tessellations. **The Computer Journal**, v. 24, n. 2 p. 162–166, 1981. Disponível em:
<http://comjnl.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/24/2/162>
10.1093/comjnl/24.2.162.

Briese, C.; Mandlbürger, G.; Pfeifer, N. Airborne laser scanning – high quality digital terrain modelling. In: III International Scientific Congress, 2007 p. 79–92.

Câmara, G. Representação Computacional de Dados Geográficos. In: Câmara, G.; Davis, C.; Casanova, M. A.; Queiroz, G. R. d. (Ed.). **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: Editora MundoGEO, 2005.

Chau, K. T.; Tang, Y. F.; Wong, R. H. C. GIS based rockfall hazard map for Hong Kong. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, v. 41, n. 1, p. 846–851, 2004.

Danovaro, E.; Floriani, L. D.; Puppo, E.; Samet, H. Multi-resolution out-of-core modeling of terrain and geological data. In: Proceedings of the 13th annual ACM international workshop on geographic information systems, 2005, Bremen, Germany. ACM Press, 2005. p. 143–152.

De Floriani, L. A pyramidal data structure for triangle-based surface description. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 8, n. 2, p. 67–78, 1989.

De Floriani, L.; Magillo, P.; Puppo, E. VARIANT: A System for Terrain Modeling at Variable Resolution. **GeoInformatica**, v. 4, n. 3, p. 287–315, 2000.

Fisher, P. F. Valediction. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 21, n. 10, p. 1165–1170, 2007.

Goodchild, M. F.; Yuan, M.; Covas, T. J. Towards a general theory of geographic representation in GIS

To link to. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 21, n. 3, p. 239–260, 2007.

Guibas, L.; Stolfi, J. Primitives for the manipulation of general subdivisions and the computational of Voronoi. **ACM Transactions on Graphics**, v. 4, n. 2, p. 74–123, 1985.

Ilfick, M. H. Contouring by Use of a Triangular Mesh. **Cartographic Journal**, p. 24–28, 1979.

Kidner, D. B.; Ware, J. M.; Sparkes, A. J.; Jones, C. B. Multiscale Terrain and Topographic Modelling with the Implicit TIN. **Transactions in GIS**, v. 4, n. 4, p. 379–408, 2000.

Li, Z.; Zhu, Q.; Gold, C. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology**. London: Taylor and Francis, 2004.

Marcelino, E. V., 2007, **Desastres naturais e geotecnologias: Conceitos Básicos**, Santa Maria – Brasil, CRS/INPE.

Mark, D. M. The History of Geographic Information Systems: Invention and Re-Invention of Triangulated Irregular Networks (TINS). In: **GIS/LIS´97**, 1997, Bethesda, MD. p. 284–289.

Maune, D. F. **Digital elevation model technologies and applications : the DEM users manual**. Bethesda, Md: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2001. ISBN 1–57083–064–9.

Namikawa, L. **Um método de ajuste de superfície para grades triangulares considerando linhas características**. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1995.

Namikawa, L. M.; Felgueiras, C. A.; Mura, J. C.; Rosim, S.; Lopes, E. S. S. **Modelagem numérica de terreno e aplicações**. São José dos Campos, SP, Brazil: INPE, 2003. 158 p.

Okabe, A.; Boots, B.; Sugihara, K.; Chiu, S. N. **Spatial tessellations: Concepts and applications of Voronoi diagrams**. 2nd. New York: Wiley, 2000. 671 p.

Park, D.; H. Cho; Kim, Y. A TIN compression method using Delaunay triangulation. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 15, n. 3, p. 255-270, 2001.

Preparata, F.; Shamos, M. **Computational Geometry**. New York: Springer-Verlag, 1985. 398 p.

Rezende, P. J. d.; Stolfi, J. Fundamentos da Geometria Computacional. In: IX Escola de Computação, 1994, Recife, Brasil.

Ribelles, J.; López, A.; Belmonte, O.; Remolar, I.; Chover, M. Multiresolution modeling of arbitrary polygonal surfaces: a characterization. **Computers & Graphics**, v. 26, n. 3, p. 449-462, 2002.

Sanyal, J.; Lu, X. X. GIS-based flood hazard mapping at different administrative scales: A case study in Gangetic West Bengal, India. **Singapore Journal of Tropical Geography**, v. 27, n. 2, p. 207-220, 2006.

Schroeder, W. J.; Zarge, J. A.; Lorensen, W. E. Decimation of triangle meshes. **Computer Graphics**, v. 26, n. 2, p. 65-70, 1992.

Sibson, R. Locally Equiangular Triangulations. **The Computer Journal**, v. 21, p. 243-245, 1978.

Watson, D. F. Computing the n-dimensional Delaunay tessellation with application to Voronoi polytopes. **The Computer Journal**, v. 24, n. 2 p. 167-172, 1981. Disponível em:
<http://comjnl.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/24/2/167>.
10.1093/comjnl/24.2.167.

Xu, k.; Zhou, X.; Lin, X.; Shen, H. T.; Deng, K. A multiresolution terrain model for efficient visualization query processing. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, v. 18, n. 10, p. 1382–1396, 2006.

Yang, B.; Shi, W.; Li, Q. A Dynamic Method for Generating Multi-Resolution TIN Models. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 71, n. 8, p. 917–926, 2005.

____. An integrated TIN and Grid method for constructing multi-resolution digital terrain models. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, n. 10, p. 1019–1038, 2005.

Yang, B. S.; Li, Q. Q.; Shi, W. Z. Constructing multi-resolution triangulated irregular network model for visualization. **Computers and Geosciences**, v. 31, n. 1, p. 77–86, 2005.

Zeng, Q.; Mao, J.; Li, X.; Liu, X. LIDAR data filtering and classification with TIN and assistant plane. In: **SPIE – Geoinformatics**, 2007 6752:

Zhou, X.; Prasher, S.; Sun, S.; Xu, K. Multiresolution spatial databases: making web-based spatial applications faster. In: **Proceedings of 6th Asia Pacific Web Conference**, 2004, Hangzhou, China. 2004. p. 36–47.