



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PERSISTÊNCIA DE MODELOS TIN EM BANCO DE DADOS

Exame de Qualificação em Computação Aplicada
Eduilson Lívio Neves da Costa Carneiro

Agenda

- Introdução
- TIN – *Triangular Irregular Networks*
- Armazenamento de Dados Espaciais
- Considerações Finais



- SIG – Sistemas de Informações Geográficas
- Aplicações não convencionais
 - Dados Espaciais
 - Localização
 - Representação (ponto, linha, polígono, matriz, TIN, etc), sistema de coordenadas, relação espacial com outros dados
 - Atributos
 - descrevem o fenômeno, representados num banco de dados



■ Dados Espaciais

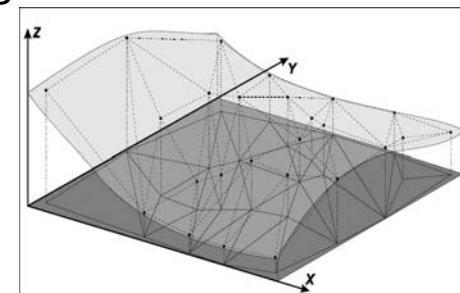
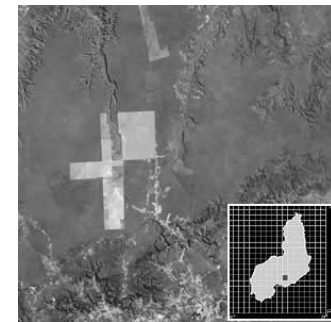
□ Geo-Objetos

- Entidades discretas
- Representação vetoriais: ponto, linha e polígono
- Exemplo: rios, cidades, estradas



□ Geo-Campos

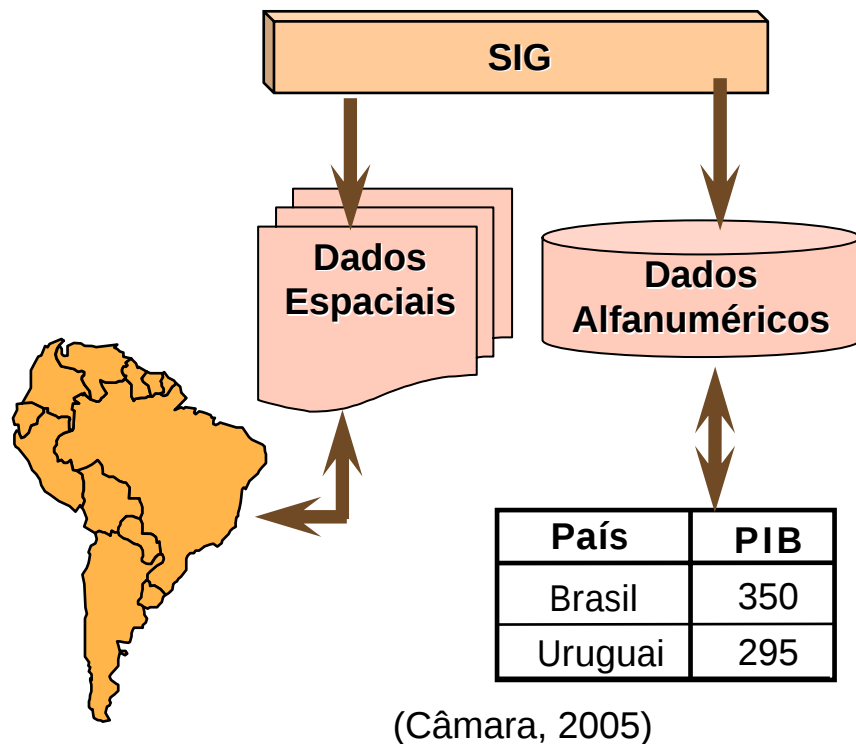
- Entidades contínuas
- Representados por matriz com células retangulares, hexagonais ou triangulares, rede irregular de triângulos (TIN) ou polígonos.
- Exemplos: relevo, temperatura, uso do solo



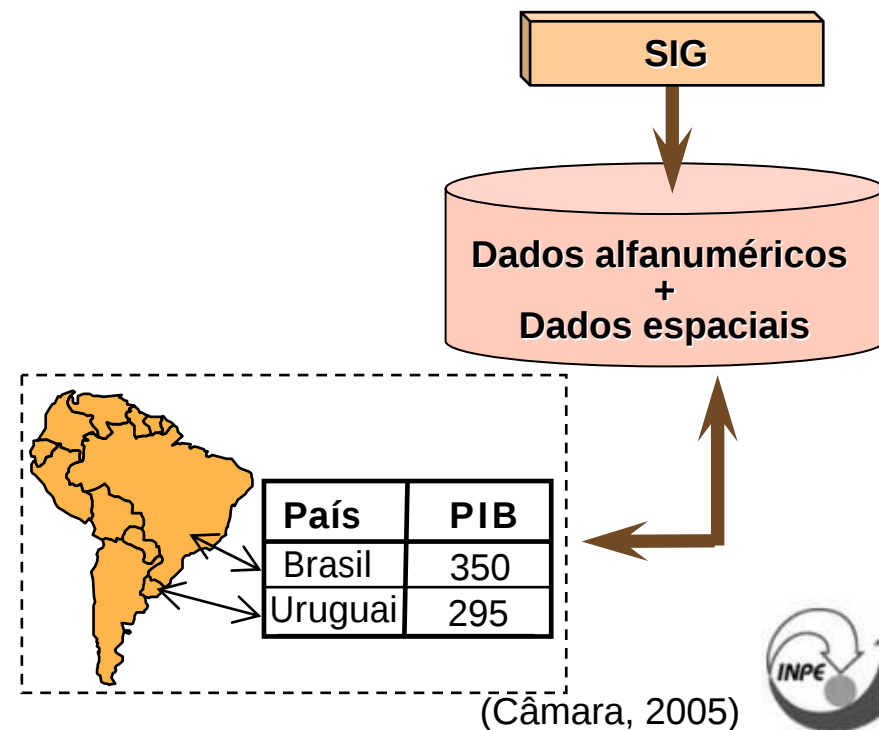
Introdução

■ SIG X SGBD – Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados

Arquitetura Dual



Arquitetura integrada



■ Banco de Dados

□ Vantagens

- Consistência e integridade dos dados
- Segurança
- Controle de acesso concorrente (multi-usuário)
- Backup e recuperação de falhas
- Aplicações WEB



- Dados Espaciais X Banco de Dados
 - Porque armazenar dados espaciais em Banco de Dados?
 - O que se ganha com o armazenamento de dados espaciais em banco de dados?
 - Qual a melhor estrutura de armazenamento?
- Em particular dados de elevação e suas representações
 - Grades Regulares
 - TIN



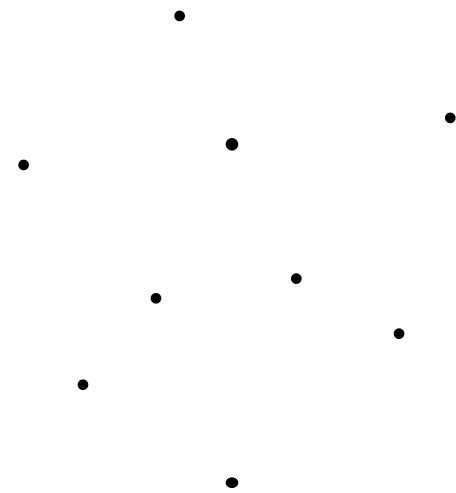
TIN – *Triangular Irregular Networks*

- O modelo TIN é a forma padrão para representação de topografia em SIG e outros software (Mark, 1997; Berg *et al*, 2000)
- Triangulação (Preparata & Shamos, 1985)



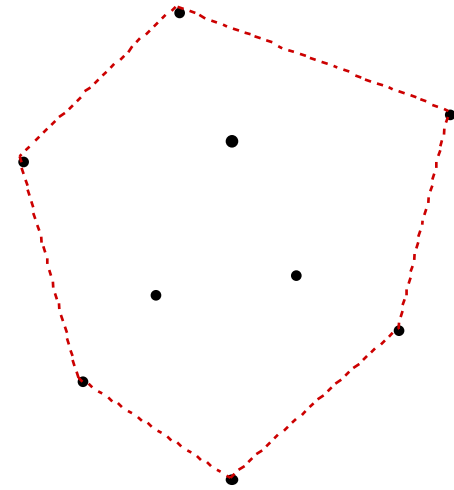
TIN – *Triangular Irregular Networks*

- O modelo TIN é a forma padrão para representação de topografia em SIG e outros software (Mark, 1997; Berg *et al*, 2000)
- Triangulação (Preparata & Shamos, 1985)
 - Conjunto de Pontos $P = \{p_i = (x_i, y_i), 1 \leq i \leq n\}$



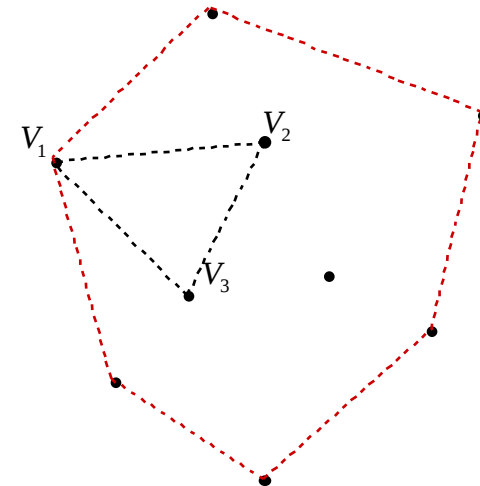
TIN – *Triangular Irregular Networks*

- O modelo TIN é a forma padrão para representação de topografia em SIG e outros software (Mark, 1997; Berg *et al*, 2000)
- Triangulação (Preparata & Shamos, 1985)
 - Conjunto de Pontos $P = \{p_i = (x_i, y_i), 1 \leq i \leq n\}$
 - Fecho Convexo $FC(P)$



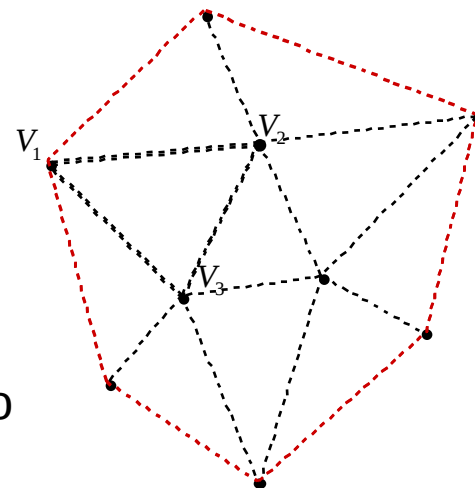
TIN – *Triangular Irregular Networks*

- O modelo TIN é a forma padrão para representação de topografia em SIG e outros software (Mark, 1997; Berg *et al*, 2000)
- Triangulação (Preparata & Shamos, 1985)
 - Conjunto de Pontos $P = \{p_i = (x_i, y_i), 1 \leq i \leq n\}$
 - Fecho Convexo $FC(P)$
 - Triângulo $t = (V_1, V_2, V_3)$



TIN – *Triangular Irregular Networks*

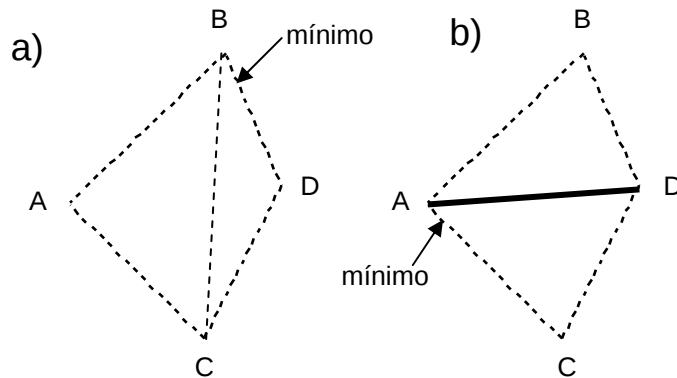
- O modelo TIN é a forma padrão para representação de topografia em SIG e outros software (Mark, 1997; Berg *et al*, 2000)
- Triangulação (Preparata & Shamos, 1985)
 - Conjunto de Pontos $P = \{p_i = (x_i, y_i), 1 \leq i \leq n\}$
 - Fecho Convexo $FC(P)$
 - Triângulo $t = (V_1, V_2, V_3)$
 - Não houver superposição
 - Todo ponto da região interna ao fecho convexo esta contido em algum triângulo
 - Compartilhamento de vértices e arestas



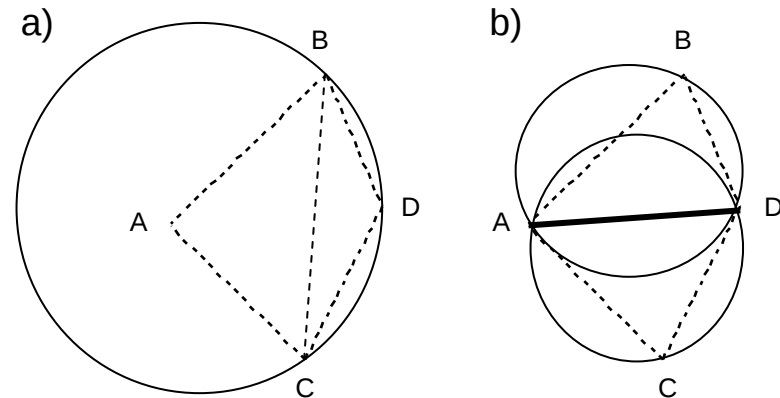
■ Triangulação de *Delaunay*

- É a mais aceita para representação de superfícies (Namikawa, 1995)
- Características:

Eqüiangularidade Local



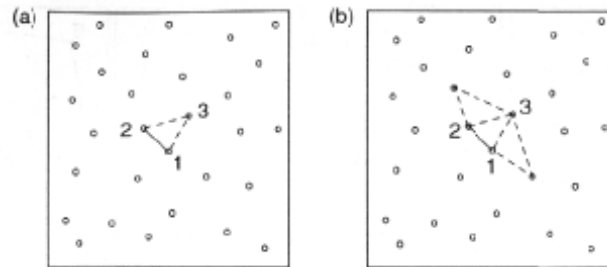
Circuncírculo



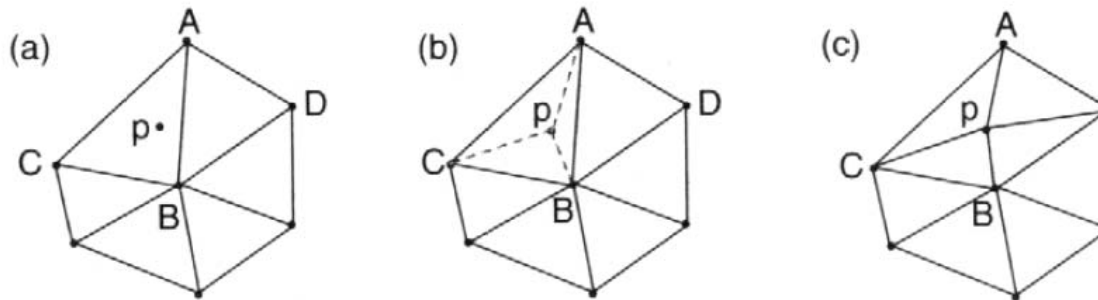
TIN – *Triangular Irregular Networks*

- Construções de Triangulações Baseadas em Delaunay (Li, 2004)

- Triangulação de Delaunay estática:



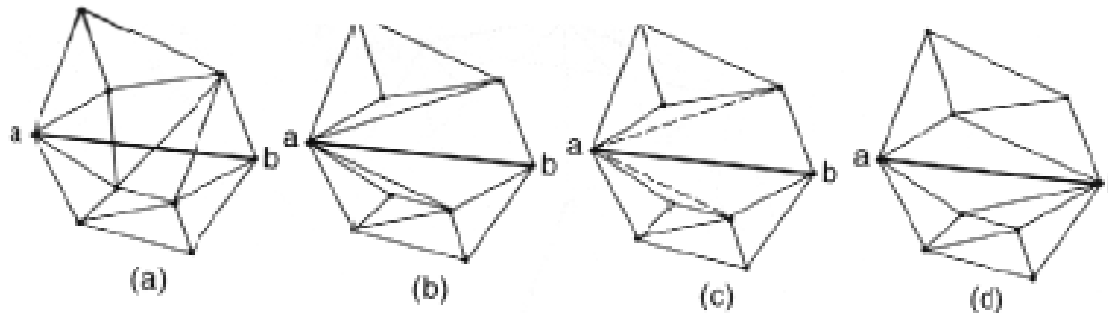
- Triangulação de Delaunay dinâmica:



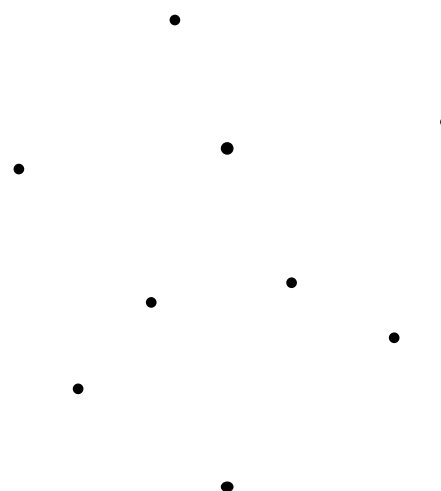
TIN – *Triangular Irregular Networks*

- Construções de Triangulações Baseadas em Delaunay (Li, 2004)

- Triangulação Quase-Delaunay:



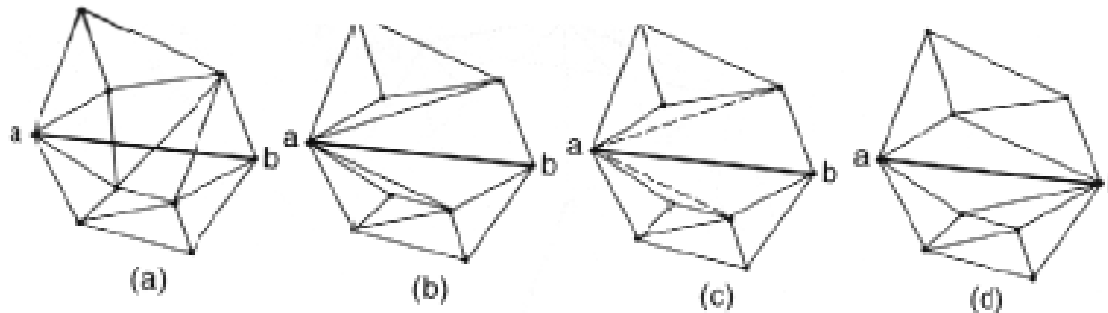
- Triangulação de Delaunay via Diagrama de Voronoi:



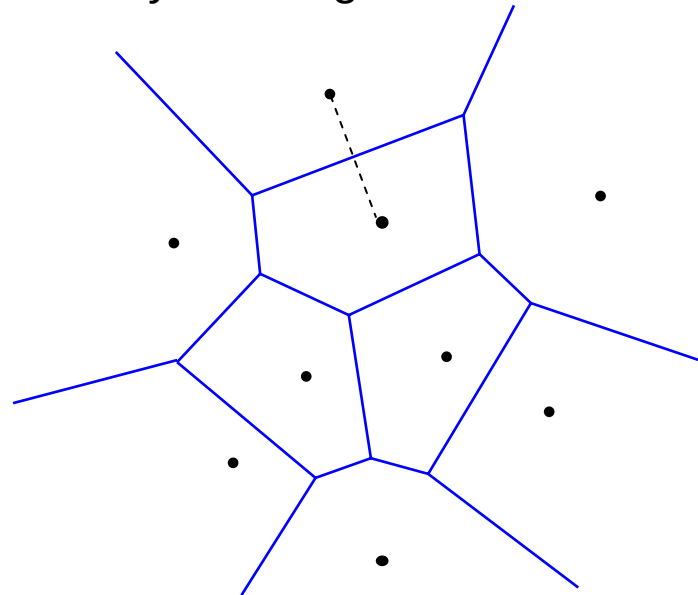
TIN – *Triangular Irregular Networks*

■ Construções de Triangulações Baseadas em Delaunay (Li, 2004)

□ Triangulação Quase-Delaunay:



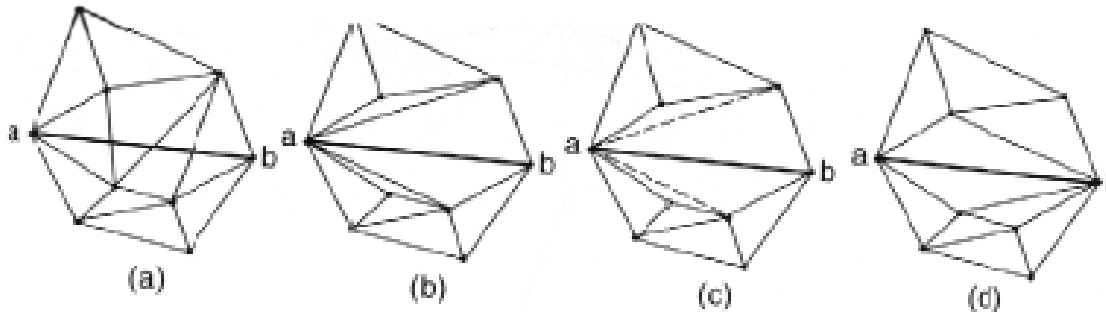
□ Triangulação de Delaunay via Diagrama de Voronoi:



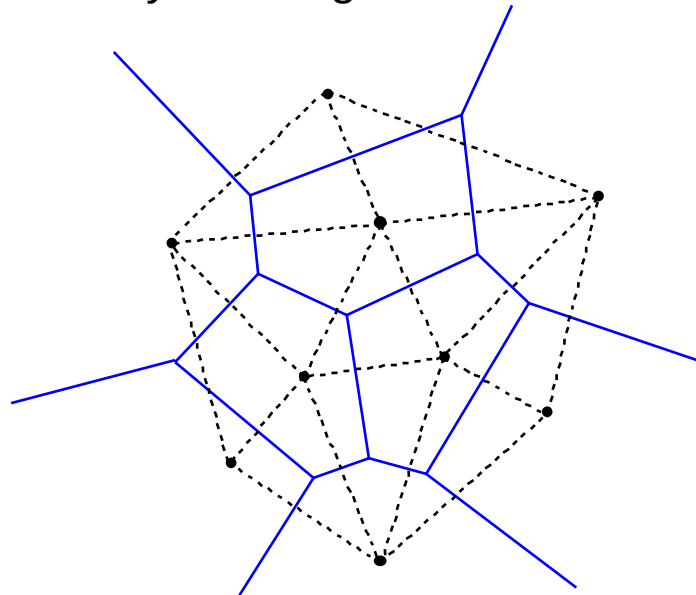
TIN – *Triangular Irregular Networks*

■ Construções de Triangulações Baseadas em Delaunay (Li, 2004)

□ Triangulação Quase-Delaunay:



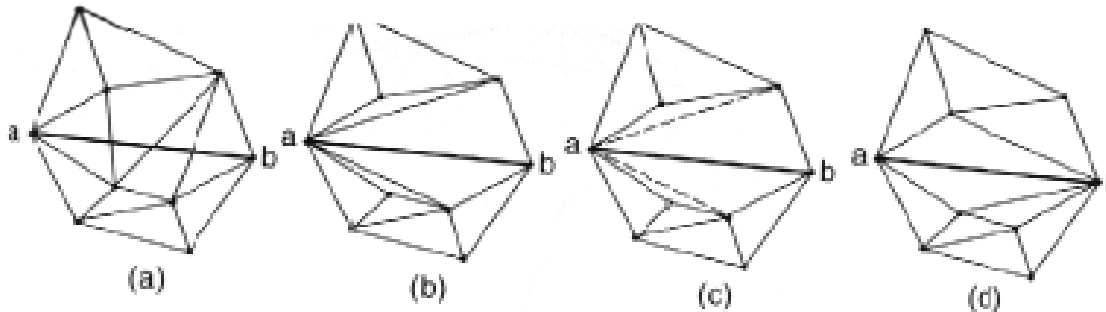
□ Triangulação de Delaunay via Diagrama de Voronoi:



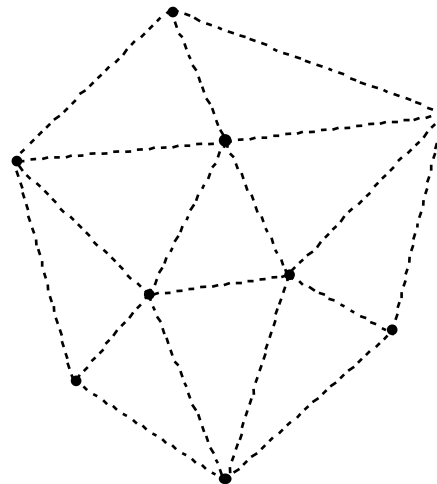
TIN – *Triangular Irregular Networks*

■ Construções de Triangulações Baseadas em Delaunay (Li, 2004)

□ Triangulação Quase-Delaunay:



□ Triangulação de Delaunay via Diagrama de Voronoi:



■ *Open Geospatial Consortium* – OGC

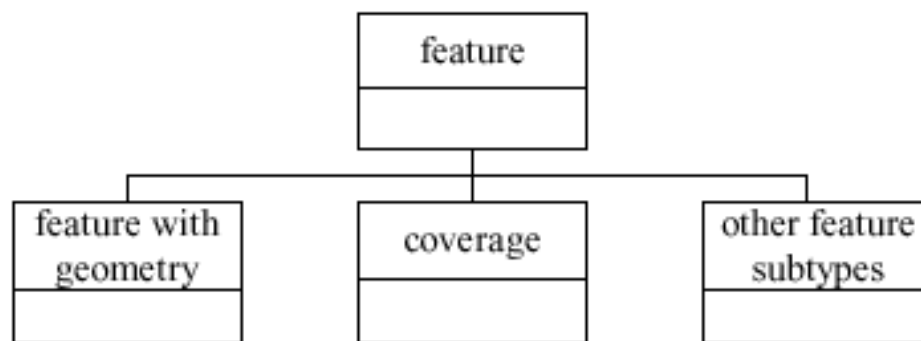
- Constituição: empresas, instituições governamentais e acadêmicas
- Objetivo: promover a interoperabilidade entre sistemas envolvendo informações espaciais.
- Especificações:
 - Especificações abstratas
 - Define modelo de geometrias e serviços
 - Especificações de implementação
 - Define como os conceitos da especificação abstrata podem ser implementados através das tecnologias de desenvolvimento existentes



■ *Open Geospatial Consortium – OGC*

□ *Classe Abstrata Feature*

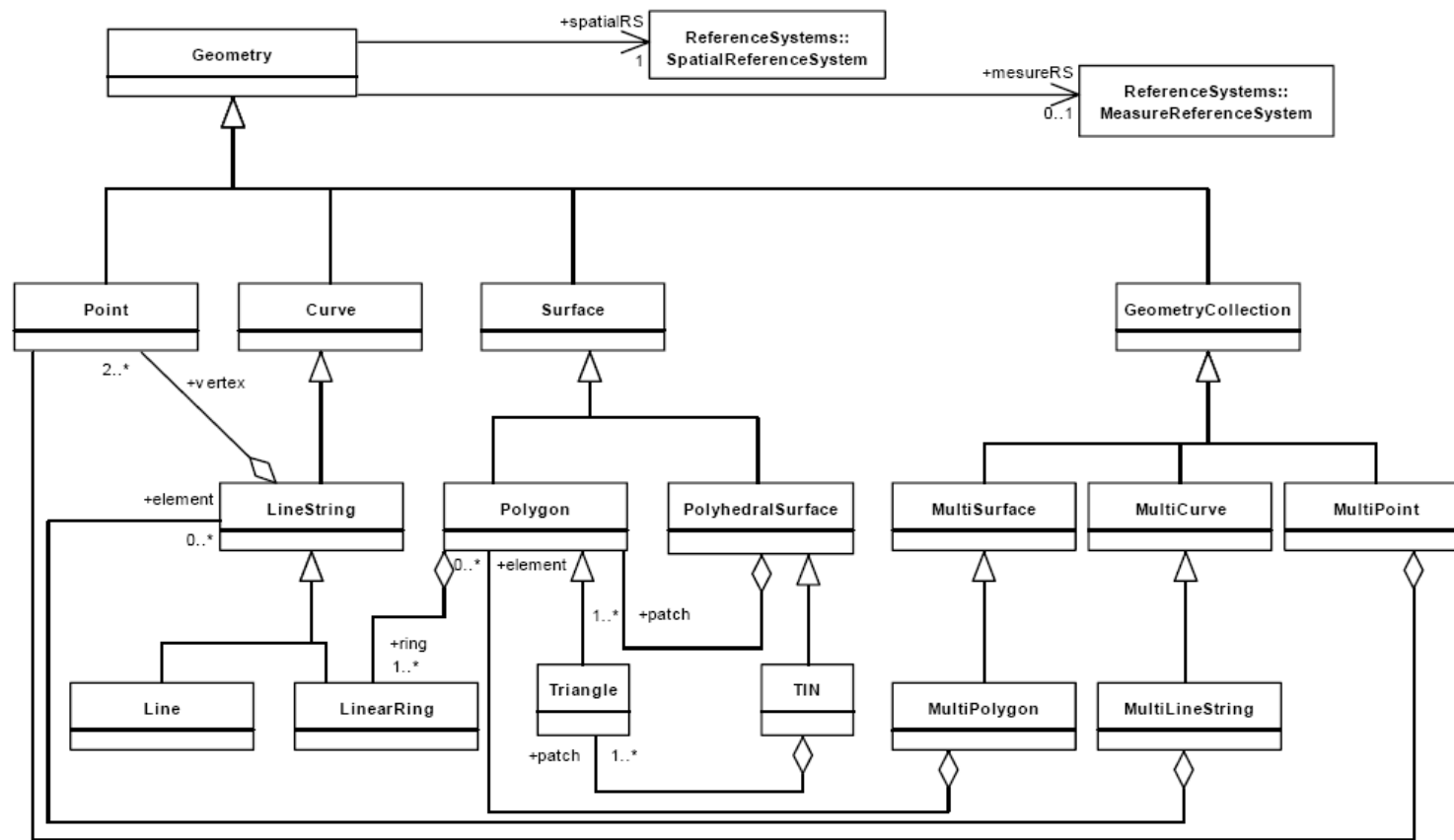
- Base do modelo conceitual do OGC
- Abstração de um fenômeno do mundo real, tornando-se uma feição geográfica quando associada a uma coordenada de posicionamento



Subtipos de *feature*, adaptado de (OGC, 1998)

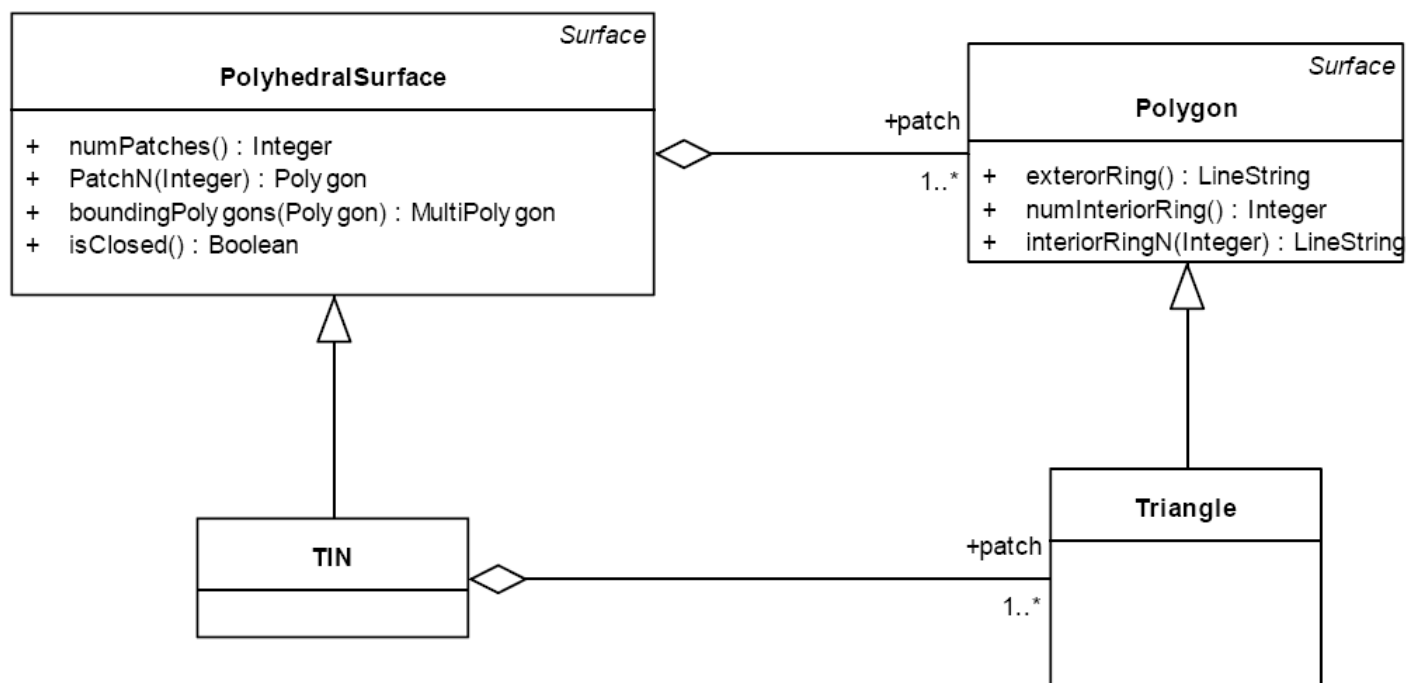
■ Classe Abstrata *Feature*

□ *Feature with geometry*



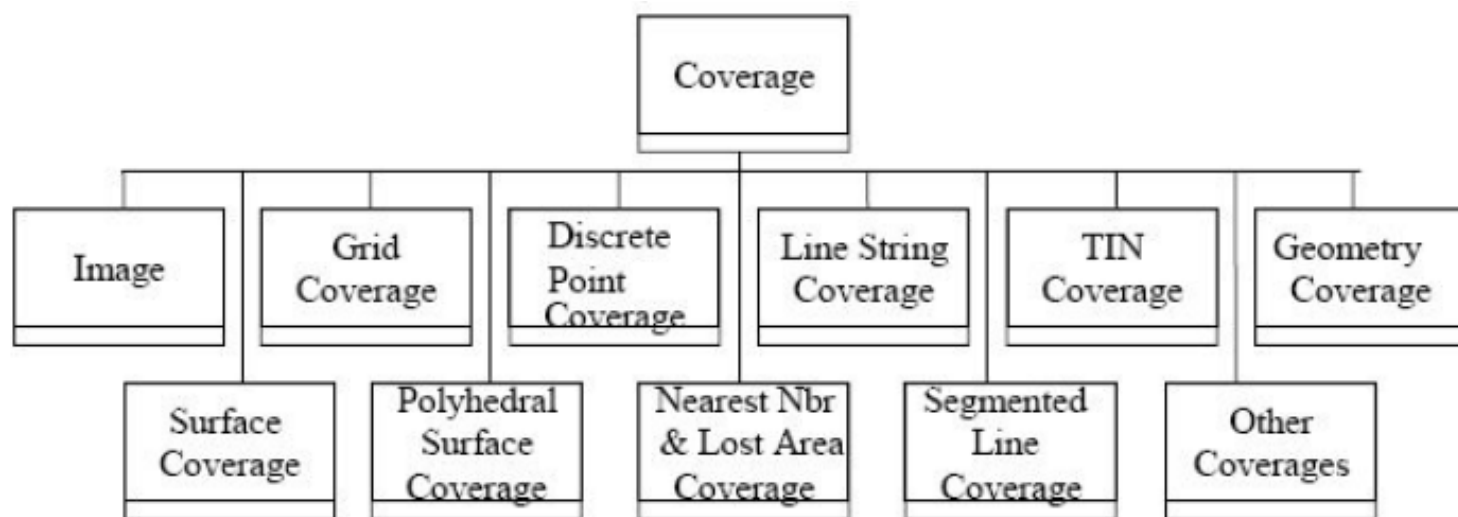
Hierarquia da classe *Geometry* (OGC, 2005)

■ Classe *PolyhedralSurface*



Classe *PolyhedralSurface* (OGC, 2005)

■ Classe *Coverage*



Subtipos de coverage, adaptado de (OGC, 1998)

Armazenamento de Dados Espaciais

■ Implementação OGC

□ WKT – Well-Know Text

- Representação em formato textual de geometrias utilizando uma gramática específica.
- Exemplo: Tin Z (((0 0 0, 0 0 1, 0 1 0, 0 0 0)), ((0 0 0, 0 1 0, 1 0 0, 0 0 0)), ((0 0 0, 1 0 0, 0 0 1, 0 0 0)), ((1 0 0, 0 1 0, 0 0 1, 1 0 0)),)

□ WKB – Well-Know Binary

- Representação de geometrias através de uma seqüência binária de bytes de tipos numéricos (unsigned integer e double).
- Exemplo: 000000001000000000101010101010000000101010101000000101010

WKBTINZ {

byte byteOrder;

static uint32 wkbType=1016;

uint32 numPolygons;

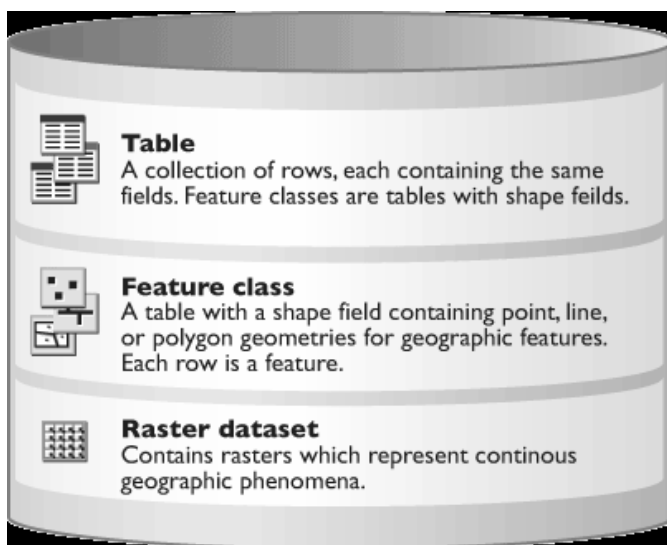
WKBPolygonZ polygons[numPolygons] }



Exemplo: ArcGIS (ESRI)

■ *Geodatabase*

- Estrutura de dados nativa
- Armazenamento:
 - Pasta de um sistema de arquivos
 - Banco de Dados Microsoft Access
 - SGBD-R (Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2)



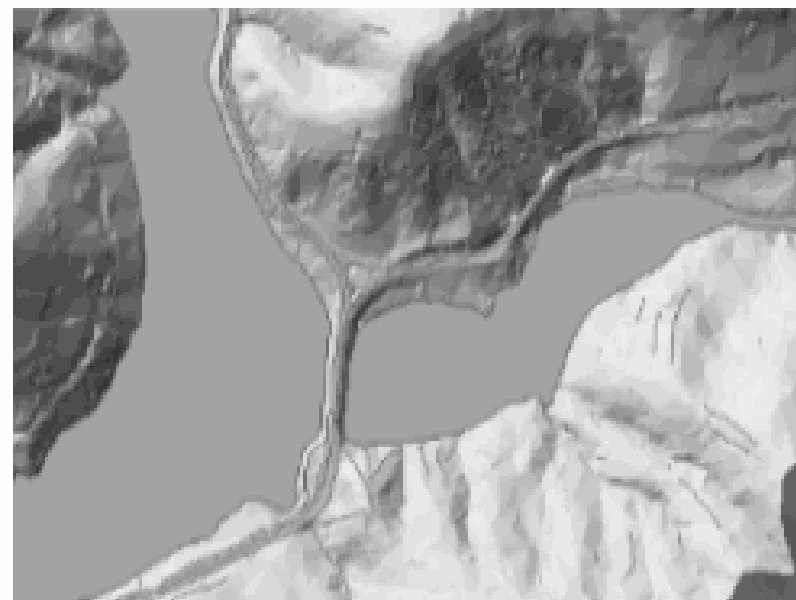
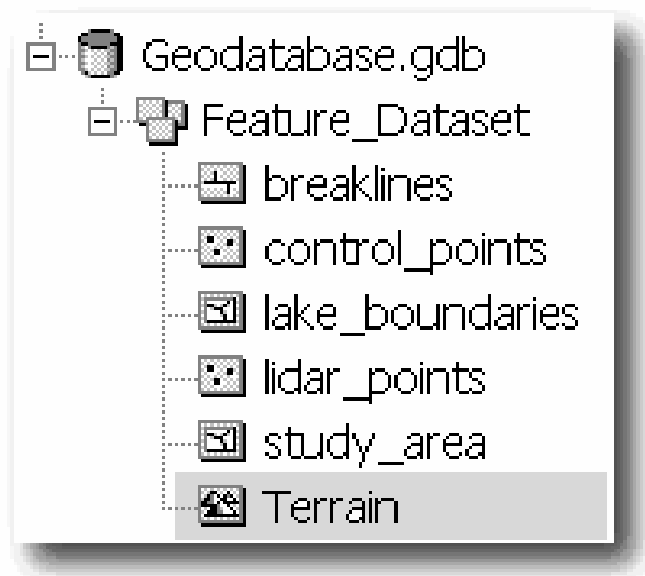
(ESRI, 2007)



Exemplo: ArcGIS (ESRI)

■ *Terrains*

- Modelo de dados para representar superfície
- Baseado no modelo TIN



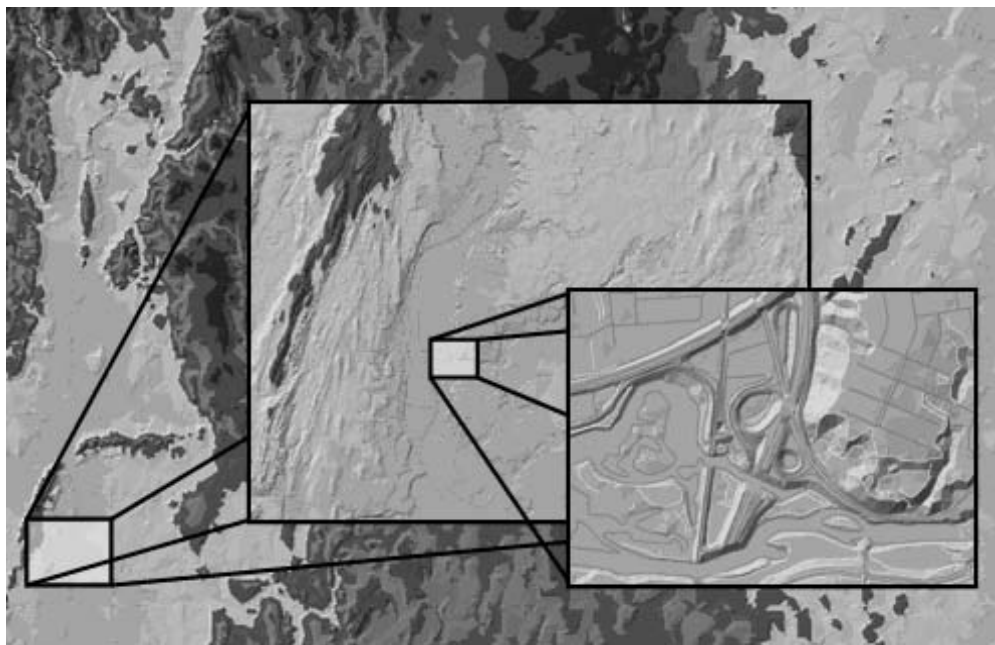
(ESRI, 2007)

Exemplo: ArcGIS (ESRI)

■ *Terrains*

□ *Terrains Pyramid*

- *Múltiplos níveis*
- *Máximo sete níveis*
- *Definem-se as coleções de dados, a resolução e a faixa de escala*

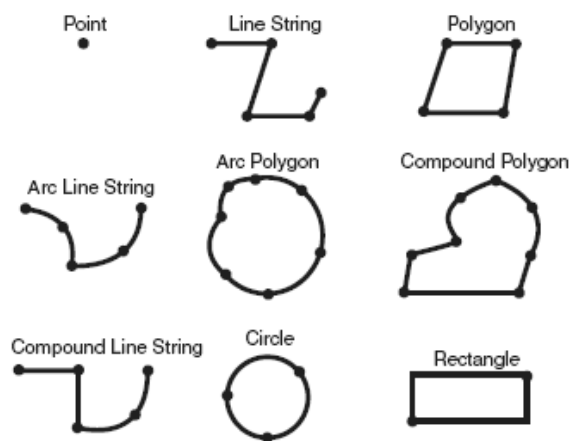


(ESRI, 2007)



Exemplo: *Oracle Spatial*

- Extensão espacial baseada no SGBD-OR *Oracle*
 - *Baseada na especificação OGC (v 1.1.0)*
 - *Cada elemento é baseado num tipo de dado espacial primitivo*



(Murray, 2006)

- *O Oracle Spatial 11g trará um novo tipo de dado espacial (SDO_TIN), armazenará o modelo TIN gerado e poderá agrupar os dados TIN em recortes, que serão acessados através do tipo SDO_Geometry.*
(Francica, 2007)



Exemplo: PostGIS

- Extensão espacial baseada no SGBD-OR PostgreSQL
- Suporta todos os tipos de dados e funções especificadas pelo OGC (v 1.1.0)
- Elementos baseados nos tipos primitivos de dados (ponto, linha e polígono)



Outros Modelos de Armazenamento

- Utilização de estruturas de armazenamento 3D (Stoter, 2002)
- SGBD 3D (Zlatanova, 2006)
- SIG 3D (Zlatanova, 2002)



Exemplo: TerraLib

- Biblioteca de código aberto destinada ao desenvolvimento de aplicações em Geoprocessamento.
- Classes para geração e armazenamento em arquivo texto.
- Classes
 - TeTin
 - TeTinVertex
 - TeTinEdge
 - TeTinTriangle



- Utilização de estruturas bidimensionais
 - Dificulta a implementação de consultas mais complexas (Ex: volume)
- Estrutura de armazenamento TIN
 - Modelo OGC
 - Modelo de implementação não foi implementado (Oracle Spatial, PostGIS)
 - *Terrain*
 - ArcGIS - geração dinâmica, multi-escala
 - Estruturas 3D plenas
 - SGBD 3D ou SIG 3D
 - Soluções um pouco distante



Considerações Finais

- Como comparar e analisar os modelos apresentados?
 - Teste de Desempenho (armazenamento e recuperação)
 - Capacidade de Armazenamento (espaço necessário)
- Quais as vantagens de armazenamento de TIN em banco de dados?
 - Multi-escala
 - WebService para dados de elevação
 - Eficiência em consultas específicas
- Qual a melhor estrutura para persistência e recuperação de modelos TIN em banco de dados?
 - Baseada em pontos, com geração dinâmica da triangulação
 - Polígonos, adotada pelo OGC
 - Mista, adotado pelo ArcGIS



■ Sugestão:

- Armazenamento com estruturas bidimensionais
 - Pontos amostrais
 - Linhas características
- Indexação adequada
 - R-Tree (várias dimensões)
 - Quad-Tree (atualizações não afetam a performance)
- Multi-escala apropriada
 - *Pyramidal Data Structure* (De Floriani, 1989)



Referências Bibliográficas

- Berg, M. d.; Kreveld, M. v.; Overmars, M.; Schwarzkopf, O. **Computacional Geometry: Algorithms and Applications**. 2nd. New York: Springer-Verlag, 2000. 367 p.
- 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.
- de Floriani, L. **A Pyramidal Data Structure for Triangle- Based Surface Description**. IEEE CCA, v. 9, n. 2, p. 67–78, 1989.
- ESRI. **ArcGIS 9.2 Desktop Help**. Redlands, CA, 2007. Disponível em: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2>. Acesso em: 10/05/2007.
- Francica, J. Oracle Spatial 11g's Enhancements. **Directions Magazine**, 2007. Disponível em: http://www.directionsmag.com/article.php?article_id=2427&trv=1. Acesso em: 10/05/2007.
- Li, Z.; Zhu, Q.; Gold, C. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology**. London: Taylor and Francis, 2004.
- 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.
- Murray, C. **Oracle Spatial User's Guide and Reference 10g Release 2 (10.2)**. Redwood City: Oracle Corporation, 2006. 594 p.
- 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).
- OGC. **The OpenGIS Specification Model: The Coverage Type and Its Subtypes**. Wayland, MA: Open Geospatial Consortium, 1998. (OpenGIS Project Document Number 98-106R2).
- _____. **OpenGIS Implementation Specification for Geographic Information - Simple feature access - Part 1: Common architecture**. Boston: Open GIS Consortium, 2005. (OpenGIS Project Document Number 06-103r3).
- Preparata, F.; Shamos, M. **Computational Geometry**. New York: Springer-Verlag, 1985. 398 p.
- Stoter, J.; van Oosterom, P. Incorporating 3D geo-objects into a 2D geo-DBMS. In: ACSM/ASPRS, 2002, Washington DC, USA. p. 19-26.
- TerraLib. **TerraLib Source Code Documentation - v 3.1.4**. São José dos Campos, 2006. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terralib/html/rv/index.html>. Acesso em: 25/05/ 2007.
- Zlatanova, S., 2002, **Advances in 3D GIS**, Disegno Digitale e Design, p. 24-29.
- _____. **3D geometries in spatial DBMS**. Delft University of Technology, 2006.

