

# Um Estudo sobre Modelos Conceituais de Dados para Projeto de Bancos de Dados Geográficos

**Jugurta Lisboa Filho<sup>1</sup>**

*Professor do Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa*

*Doutorando em Ciência da Computação na UFRGS*

*Mestre em Engenharia de Sistemas e Computação pela COPPE/UF RJ*

*Áreas de interesse: Sistemas de Banco de Dados, Sistemas de Informação Geográfica.*

**Cirano Iochpe<sup>2</sup>**

*Professor do Instituto de Informática da UFRGS*

*Professor orientador do Curso de Pós-Graduação em Computação da UFRGS*

*Doutor em Ciência da Computação pela Universität Karlsruhe, República Federal da Alemanha*

*Mestre em Ciência da Computação pela UFRGS*

*Áreas de interesse: Banco de Dados, Sistemas de Informação Geográfica, Sistemas de Workflow, Qualidade de Software*

## **PALAVRAS-CHAVE**

Sistema de Informação Geográfica (SIG) – Modelo conceitual de dados – Sistema de banco de dados

### **RESUMO**

Modelagem conceitual tem sido aplicada com sucesso no projeto de bancos de dados em geral. Independentes de plataformas de hardware e software, os modelos conceituais permitem representar, de maneira abstrata, formal e não ambígua, a realidade da aplicação, facilitando a comunicação entre projetistas e usuários. Aplicações geográficas, contudo, impõem alguns requisitos específicos de modelagem que não são satisfatoriamente atendidos pelos modelos de dados conceituais de propósito geral. Neste trabalho são apresentados os principais requisitos de modelagem que devem ser atendidos por modelos conceituais para Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Com base nesses requisitos, o artigo faz uma análise comparativa de alguns dos mais

---

<sup>1</sup> E-mail – jugurta@dpi.ufv.br

<sup>2</sup> E-mail – iochpe@inf.ufrgs.br

conhecidos modelos conceituais de dados propostos especificamente para aplicações geográficas.

## 1. INTRODUÇÃO

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) caracteriza os sistemas de informação que tornam possível a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados referenciados geograficamente (ou dados georreferenciados) [Wor 95]. De forma geral, um software de SIG é um sistema composto de quatro grandes componentes: componente de captura de dados, componente de armazenamento, componente de análise e componente de apresentação dos dados.

O componente de armazenamento, denominado sistema de banco de dados geográficos, estrutura e armazena os dados de forma a possibilitar a realização das operações de análise e consulta. Devido à complexidade das aplicações que são desenvolvidas a partir de um SIG, projetar o banco de dados geográficos tem sido um dos grandes desafios para as organizações públicas e privadas.

O projeto de um banco de dados deve ser realizado com o apoio de um modelo de dados de alto nível, também conhecido como modelo conceitual. Durante vários anos, as pesquisas no campo dos modelos de dados para SIG centraram-se na busca por estruturas de dados para o armazenamento de dados georreferenciados, o que ficou conhecido como “debate *raster-vector*” [Cou 92]. No final dos anos 80, iniciaram-se pesquisas sobre o uso dos conceitos de orientação a objetos no desenvolvimento de SIG [Fra 88, EFJ 89, WHM 90].

A necessidade de novos modelos conceituais para o desenvolvimento de aplicações de SIG foi identificada somente no final da década de 80 [EF 87]). O desenvolvimento de aplicações de SIG tem sido feito de forma não metodológica, tendo como resultado diversos problemas decorrentes de abordagens evolutivas desordenadas.

Segundo Williamson [WH 91], inicialmente os tradicionais ciclos de vida de desenvolvimento de sistemas não eram aplicados em SIG porque cada sistema era visto como único e existiam, invariavelmente, muitas incertezas quanto aos requisitos do sistema. Desta forma, a implementação de projetos-piloto e de protótipos, sob os quais as modificações eram feitas durante o desenvolvimento, foi e tem sido a forma mais comum de desenvolvimento desses sistemas.

Para Williamson [WH 91], as características dos dados geográficos impõem barreiras à implementação das aplicações de SIG, características essas

que não aparecem na maioria dos outros sistemas de informação. Entre os problemas citados estão a grande variedade de métodos de aquisição de dados, a diferença de acurácia apresentada pelos conjuntos de dados, a falta de uma codificação adequada dos elementos sendo modelados, a ocorrência de coberturas de dados esporádicas, a necessidade de dados temporais e a incompatibilidade entre os conjuntos de dados.

Um dos fatores agravantes no desenvolvimento das aplicações de SIG diz respeito ao tamanho dessas aplicações. Por exemplo, diversas instituições podem estar envolvidas em um mesmo projeto tendo, no entanto, diferentes objetivos. Além disso, o período de implementação pode ser medido não em meses, mas sim em anos ou mesmo décadas. O desenvolvimento de modelos conceituais mais adequados para a modelagem das aplicações de SIG, incluindo seus bancos de dados, é um dos pontos mais importantes para possibilitar um melhor suporte ao projetista nos estágios iniciais do desenvolvimento dessas aplicações.

Diversos autores vêm propondo extensões dos modelos conceituais, tradicionalmente utilizados no desenvolvimento de sistemas de informação, para uso no projeto de banco de dados geográficos. Este artigo apresenta o estado-da-arte em modelos conceituais de dados propostos especificamente para SIG. A Seção 2 introduz alguns conceitos básicos sobre modelos de dados em banco de dados. A Seção 3 descreve o processo de modelagem conceitual de um banco de dados. A Seção 4 apresenta os principais requisitos de modelagem impostos pelas aplicações de SIG, através dos quais os diversos modelos conceituais de dados geográficos são analisados. Por último são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2. MODELOS DE DADOS

Um modelo de dados é uma coleção de conceitos que podem ser usados para descrever um conjunto de dados e as operações para manipular esses dados [BCN 92]. Segundo [Nav 92], os modelos de dados podem ser classificados, basicamente, em duas dimensões. Na primeira dimensão, os modelos de dados são classificados em função da etapa de desenvolvimento do projeto do banco de dados em que o modelo é utilizado (ex.: projeto conceitual, lógico e físico). A segunda dimensão classifica os modelos de dados quanto a sua flexibilidade e poder de expressão.

A tarefa de projetar um banco de dados está intimamente relacionada com o ciclo de vida de desenvolvimento de software onde, a cada etapa, novas informações e detalhes são acrescentados ao projeto do software [Pre 87]. No projeto de banco de dados, as informações que comporão o banco de dados são especificadas utilizando-se modelos de dados em diferentes níveis de

abstração, iniciando por modelos de alto nível de abstração (ex.: modelo E-R [Che 76]) e refinando-se o modelo até que sejam incorporados detalhes específicos, relacionados ao armazenamento dos dados (ex.: estruturas de dados).

Quanto à escala de flexibilidade e expressividade, o termo flexibilidade refere-se, neste contexto, à facilidade com a qual o modelo pode tratar com aplicações complexas, enquanto que a expressividade refere-se à habilidade de gerar diferentes abstrações em uma aplicação [Nav 92]. Segundo este aspecto, os modelos são classificados como: modelos primitivos (ou de arquivos); modelos de dados clássicos (ex.: relacional, hierárquico); modelos de dados semânticos (ex.: IFO [AH 87]); modelos semânticos de propósito especial - desenvolvidos para atender as demandas em áreas de aplicações específicas (ex.: automação de escritório, VLSI, CAD/CAM e SIG) [Bro 84]. Mais recentemente esta lista foi acrescida dos modelos orientados a objetos.

Com base nessas duas classificações, este artigo aborda os modelos semânticos de propósito especial, ou seja, voltados para aplicações de SIG, com o nível de abstração empregado nos modelos conceituais, que são modelos independentes de software e/ou hardware a ser utilizado.

### **3. PROCESSO DE MODELAGEM CONCEITUAL DE DADOS**

A característica básica de um modelo de dados, como o próprio termo explicita, é que ele é uma abstração da realidade. Um modelo conceitual de dados fornece uma base formal (notacional e semântica) para ferramentas e técnicas usadas para suportar a modelagem de dados. Modelagem de dados é o processo de abstração onde somente os elementos essenciais da realidade observada são enfatizados, descartando-se os elementos não essenciais. O processo de modelagem conceitual de banco de dados (Figura 1) compreende a descrição dos possíveis conteúdos dos dados, além de estruturas e de regras a eles aplicáveis.

A modelagem conceitual é sempre feita com base em algum formalismo conceitual (ex.: Entidade-Relacionamento, Orientação a Objetos) [Eur 96]. O resultado do processo de modelagem, denominado esquema conceitual, é apresentado através de uma linguagem formal de descrição que pode estar expressa através de uma sintaxe e/ou uma notação gráfica. Para cada formalismo conceitual podem existir diversas linguagens de descrição de esquema que são compatíveis com o formalismo.

O formalismo provê um conjunto de conceitos, elementos e regras que são usados no processo de modelagem da realidade, enquanto que a linguagem de descrição fornece uma gramática para a apresentação do esquema

conceitual resultante da modelagem. A linguagem léxica possibilita o processamento computacional do esquema, enquanto a notação gráfica é mais adequada para facilitar o entendimento e a comunicação entre seres humanos (ex.: usuários e projetistas). Portanto, um modelo conceitual de dados compreende um formalismo e uma linguagem de descrição, podendo ser uma linguagem léxica e/ou gráfica.

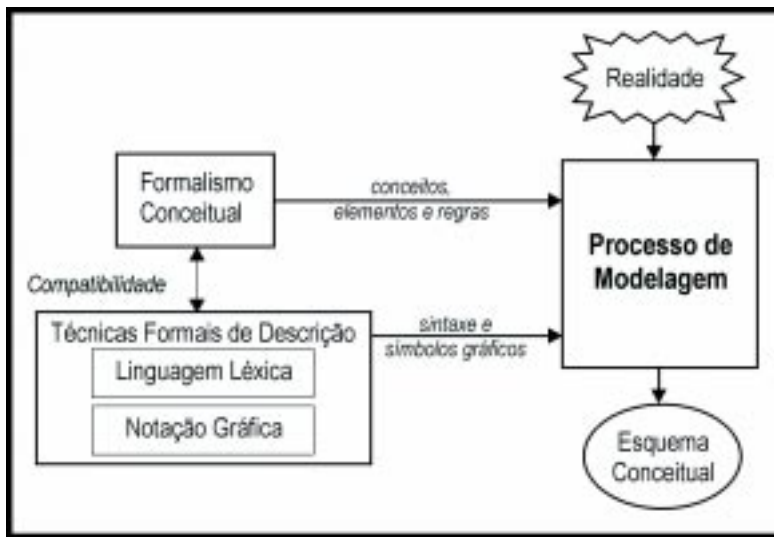


Figura 1 – Processo de modelagem conceitual

## 4. MODELOS CONCEITUAIS DE DADOS PARA SIG

### 4.1 Evolução Histórica

Modelos conceituais de dados têm sido adaptados para atender às necessidades impostas pelas aplicações de SIG desde o final dos anos 80 (Figura 2). A primeira extensão, da qual se tem conhecimento, foi publicada por Bédard e Paquete em 1989 [BP 89]. Os modelos conceituais de dados para SIG baseiam-se nos formalismos existentes. Além dos formalismos de Entidade-Relacionamento (ER) e de Orientação a Objetos (OO), algumas extensões de modelos têm como base o formalismo IFO (Modelo Semântico Formal de Banco de Dados) [AH 87]. A seguir, são sintetizados alguns comentários sobre os modelos mostrados na Figura 2. Maiores detalhes sobre cada um desses modelos estão incluídos nas descrições apresentadas nas seções seguintes.

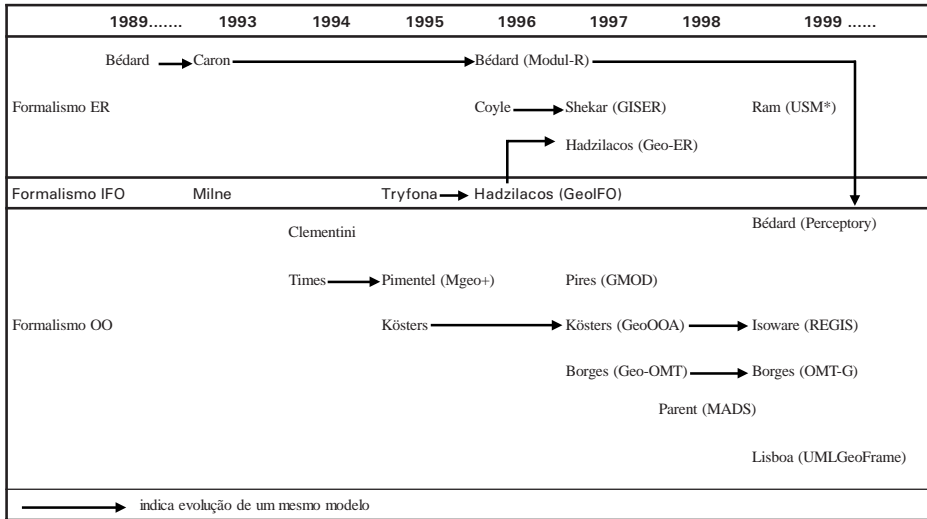


Figura 2– Evolução cronológica dos modelos conceituais de dados para SIG

Bédard [BCM+ 96] descreve uma extensão do modelo E-R [Che 76], denominado Modul-R, para a representação de aplicações geográficas urbanas. Este modelo é resultado da evolução do trabalho de pesquisa desenvolvido na Universidade Laval, Canadá [BP 89, CB 93]. O modelo Modul-R serve de base para a ferramenta CASE Perceptory [Bed 99], a qual emprega o formalismo OO e utiliza a sintaxe da linguagem UML [BJR 98].

A partir das pesquisas realizadas na Universidade de Minnesota [COY 96], Shekhar [SCG+ 97] propõe o modelo GISER (*Geographic Information System Entity Relational*), que é uma extensão para aplicações geográficas do modelo EER (E-R Estendido) [EN 94].

Ram e outros [RPB 99] propõem o modelo USM\* (*Unifying Semantic Model*), uma extensão do modelo E-R para solucionar o problema de acesso a diferentes bancos de dados geográficos. O modelo USM\* foi desenvolvido na Universidade do Arizona.

Outro modelo derivado do formalismo ER é o modelo GeoER [HT 97], que é uma adaptação do modelo GeoIFO [TH 95, HT 96], desenvolvido na Universidade de Patras, Grécia. O modelo GeoIFO, juntamente com o modelo proposto por Milne [MMS 93], são os únicos que têm como base o formalismo IFO [AH 87, HK 87].

O modelo de Clementini [CF 94], desenvolvido na Universidade de L'Aquila, Itália, apresenta uma linguagem léxica para modelagem orientada a objetos de aplicações geográficas.

O modelo MGeo [Tim 94] foi desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco sendo, posteriormente, estendido no modelo MGeo+ [Pim 95]. Este modelo introduziu o uso de bibliotecas de classes que servem de base à modelagem de aplicações geográficas. O modelo MGeo+ é descrito com base no modelo de objetos OMT [RBP+ 91].

Pires [Pir 97] propõe uma extensão do modelo de objetos OMT [RBP+ 91], denominado GMOD, o qual serve de base para o ambiente computacional UAPE, que é específico para aplicações de SIG. O Modelo GMOD/UAPE é resultado de pesquisa desenvolvida na Unicamp, Campinas.

Kösters [KPS 95, KPS 97] descreve o modelo GeoOOA, uma extensão do modelo usado na metodologia de análise orientada a objetos OOA [CY 91], para análise de requisitos de aplicações em SIG. O modelo GeoOOA serviu de base para a implementação da ferramenta CASE REGIS [Iso 99], a qual emprega a notação gráfica da linguagem UML [BJR 98]. O modelo GeoOOA foi desenvolvido na Universidade de Hagen, Alemanha.

O modelo Geo-OMT [Bor 97], que é uma extensão do modelo de objetos OMT [RBP+ 91] para aplicações de SIG, foi desenvolvido na Fundação João Pinheiro, em Belo Horizonte. O modelo foi aprimorado para possibilitar a modelagem de restrições espaciais, passando a se chamar OMT-G [BLD 99]. Este modelo tem tido grande aceitação por parte de usuários/projetistas de SIG no Brasil.

O modelo conceitual MADS [PSZ+ 98, PSZ 99] também adota o formalismo de orientação a objetos através da inclusão de características do modelo padrão ODMG (*Object Database Management Group*) para sistemas orientados a objetos [CB 97]. MADS está sendo desenvolvido na Universidade de Lausanne, Suíça.

Lisboa e Iochpe [LI 99] propõem que a modelagem de banco de dados geográficos pode ser realizada a partir de um *framework* conceitual chamado GeoFrame, utilizando a linguagem de modelagem unificada UML [BJR 98], acrescida de alguns estereótipos. Estereótipo é o mecanismo de extensão fornecido pela própria UML. O *framework* GeoFrame foi desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Existem ainda outras propostas de modelos conceituais para SIG, mas foram omitidas deste estudo devido à similaridade desses trabalhos com os aqui descritos. Algumas dessas extensões estão descritas em [EF 92, BCG+ 93, SA 93, BX 94, Nat 94, BDM 95, Cro 96, AG 98].

#### **4.2 Requisitos de Modelagem Conceitual para Aplicações de SIG**

Segundo Chrisman [Chr 97], um SIG provê um conjunto de atividades organizadas, através do qual as pessoas:

- medem os diversos aspectos de fenômenos e processos geográficos;

- representam estas medidas, normalmente na forma de um banco de dados digital, enfatizando temas espaciais, entidades e relacionamentos;
- operam sobre estas representações para produzir novas medidas e descobrir novos relacionamentos através da integração de fontes diversas; e
- transformam estas representações para ajustar a outras estruturas de entidades e relacionamentos.

Desta forma, um entendimento conceitual de um SIG inclui tanto os fenômenos estáticos quanto os eventos dinâmicos, sendo que a localização e outras características dos fenômenos também são medidas sobre o tempo. O segundo item acima, enfatiza que um SIG inclui a representação das “coisas” sendo medidas, que são, normalmente, estruturadas na forma de temas, entidades e relacionamentos.

Com base na definição acima, Rugg e outros [RDE 98] descrevem um conjunto de requisitos para modelagem conceitual de SIG, onde alguns conceitos-chave são relacionados. São eles:

- fenômenos: habilidade para descrever e modelar a morfologia das coisas que existem no mundo real em um dado instante de tempo;
- processos: habilidade para descrever e modelar processos dinâmicos, incluindo atividades contínuas e eventos discretos;
- medidas: procedimentos e categorias definidas para registrar e representar as características dos fenômenos;
- localização: procedimentos específicos para registrar e representar as características de localização dos fenômenos;
- relacionamentos: habilidade para descrever e representar interações entre os fenômenos;
- temas: habilidade para agrupar fenômenos baseados em suas características, relacionamentos e outras propriedades;
- operações: habilidade para descrever e representar o comportamento dos fenômenos.

Com o objetivo de realizar um estudo comparativo entre diversas linguagens de esquema conceitual, no contexto de SIG, o Comitê Europeu para Padronização (CEN) também definiu um conjunto de requisitos que estas linguagens devem apresentar [Eur 96]. Entre os requisitos especificados pelo Comitê CEN, cabe ressaltar a determinação de inclusão, no modelo conceitual, dos aspectos geométricos e dos relacionamentos topológicos dos fenômenos geográficos.

Com base nestes conjuntos de requisitos e nos requisitos identificados em estudos anteriores dos autores [LI 96, Lis 97, LI 98], o seguinte conjunto de

requisitos de modelagem é usado para análise dos principais modelos conceituais descritos na literatura.

- Fenômenos geográficos e objetos convencionais: possibilidade de diferenciação entre fenômenos geográficos e objetos sem referência espacial.
- Visões de campo e objetos: possibilidade de modelagem dos fenômenos nas visões de campo e de objetos.
  - Aspectos temáticos: necessidade de organizar os fenômenos por tema.
  - Aspectos espaciais: possibilidade de modelagem das características espaciais dos dados.
  - Múltiplas representações: possibilidade de modelagem de que um fenômeno possa ter mais de uma representação espacial.
  - Relacionamentos espaciais: possibilidade de diferenciação dos relacionamentos espaciais, incluindo restrições de integridade espacial.
  - Aspectos temporais: possibilidade de modelagem das características temporais dos dados.
  - Aspectos de qualidade: possibilidade de modelagem de metadados de qualidade.

A seguir, cada um desses requisitos é apresentado em maiores detalhes, juntamente com a contribuição de cada modelo conceitual para SIG.

#### ***4.2.1 Fenômeno Geográfico e Objeto Convencional***

Normalmente, em um banco de dados geográficos existem, além dos dados referentes a fenômenos georreferenciados (que possuem referência a sua localização em relação à superfície da Terra), objetos convencionais presentes em qualquer sistema de informação. Por exemplo, uma fazenda é um fenômeno geográfico se no banco de dados estão armazenadas suas informações espaciais, como os limites da fazenda. Neste mesmo banco de dados pode-se ter dados sobre proprietários de fazendas, considerados objetos convencionais por não terem informações espaciais associadas. Em um esquema conceitual é importante que se possa diferenciar, facilmente, entre classes (ou entidades) descrevendo esses dois tipos de objetos.

O modelo GMOD [Pir 97] distingue, através de especialização, classes que representam entidades associadas a alguma localização geográfica (*Geo-Classe*) e classes que não possuem referência espacial (Classes Convencionais), mas que estão relacionadas com as primeiras. O modelo MGeo+ [Pim 95] utiliza uma abordagem semelhante.

Alguns modelos diferenciam os fenômenos geográficos dos objetos convencionais através da inclusão de pequenos símbolos gráficos, denominados pictogramas, nas classes que descrevem os fenômenos geográficos. A ausên-

cia de um pictograma significa que a classe modela um objeto convencional. Exemplos de modelos que seguem esta abordagem incluem GeoOOA [KPS 97], MADS [PSZ 99], OMT-G [BLD 99] e Perceptory [Bed 99].

Lisboa e Iochpe [LI 99] definem um conjunto de estereótipos específicos para diferenciar objetos convencionais dos fenômenos geográficos, estes últimos ainda são especificados entre campos e objetos geográficos, como descrito na seção seguinte. A Figura 3 ilustra o uso de estereótipos definidos de acordo com o modelo UMLGeoFrame [LI 99]. Alguns estereótipos são usados para modelar o tipo de representação espacial dos fenômenos geográficos e estão descritos na Seção 4.2.4.

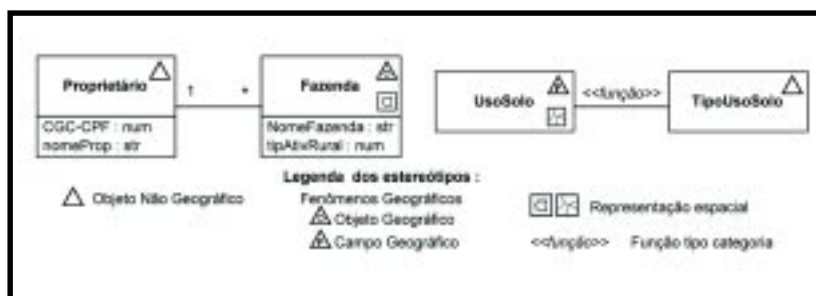


Figura 3- Diferenciando fenômenos geográficos e objetos convencionais

#### 4.2.2 Visões de Campo e de Objetos

Segundo Burrough [BF 95], os modelos de dados geográficos devem refletir a maneira como as pessoas vêem o mundo. Um dos princípios filosóficos da percepção humana dos fenômenos geográficos é que a realidade é composta de entidades exatas e de superfícies contínuas.

Para Goodchild [Goo 92], a realidade geográfica pode ser observada segundo duas visões: de campo e de objetos. Na visão de campo, a realidade é modelada por variáveis que possuem uma distribuição contínua no espaço. Toda posição no espaço geográfico pode ser caracterizada através de um conjunto de atributos como, por exemplo, temperatura, tipo de solo e relevo, medidos para um conjunto de coordenadas geográficas. Já na visão de objetos, a realidade consiste de entidades individuais, bem definidas e identificáveis. Cada entidade tem suas propriedades e ocupa um determinado lugar no espaço. A realidade é modelada como um grande espaço onde entidades estão distribuídas sem que, necessariamente, todas as posições do espaço estejam ocupadas. Duas ou mais entidades podem estar situadas sobre uma mesma posição geográfica.

A classificação de fenômenos geográficos na visão de objetos é um processo natural e direto (ex.: rios são descritos pela classe *Rio*). No entanto, um campo geográfico como, por exemplo, *Altimetria*, não pode ser modelado diretamente como uma classe, pois *Altimetria* não é um objeto e, conseqüentemente, não pode ser descrito diretamente por uma classe.

Para Kemp [KV 98], existem muitas questões filosóficas sobre o entendimento de campos geográficos. Por exemplo, os campos só existem quando são medidos? Os campos possuem características próprias? A atribuição de um determinado valor a uma região é real, ou é apenas um mecanismo conceitual direcionado a um objetivo específico? Apesar de estas questões não terem ainda uma resposta consensual, a definição de um campo como uma função em um domínio, o qual é um subconjunto do espaço-tempo, é suficientemente específico para os propósitos computacionais.

Desta forma, a modelagem conceitual dos fenômenos geográficos necessita de construtores especiais para modelar tanto os campos quanto os objetos geográficos. A maioria dos modelos existentes não suporta a modelagem adequada dos fenômenos geográficos que são percebidos na visão de campo. Por outro lado, todos os modelos estudados suportam a modelagem dos fenômenos na visão de objetos.

No modelo GMOD [Pir 97], a classe *Geo-Classe* (descrita na seção anterior) é especializada nas subclasses *Geo-Campo* e *Geo-Objeto*, ambas formando duas hierarquias de classes que representam fenômenos geográficos observados segundo as visões de campo e de objetos, respectivamente.

O modelo GeoIFO [TH 95, HT 96] permite a modelagem, de forma integrada, dos fenômenos nas visões de campo e de objetos, através dos conceitos de *posição de objetos* e de *atributos variando no espaço*. Segundo Tryfona [TH 95], objetos do mundo real estão ligados ao espaço através de sua posição. A *posição* de um objeto inclui sua localização, forma, tamanho e orientação. *Atributos variando no espaço* descrevem fenômenos do mundo real que estão relacionados diretamente ao espaço e não pertencem a nenhum objeto particular, sendo propriedades do espaço. Por exemplo, segundo o modelo Geo-IFO, em um sistema de transporte de combustível, o tipo de solo do terreno por onde passa um oleoduto pode ser modelado como um atributo da classe *Oleoduto*. A Figura 4 apresenta um exemplo de modelagem integrada de *posição de objetos* (ex.: posição de um oleoduto é representada por um objeto de duas dimensões, isto é, uma linha) e de *atributos variando no espaço* (ex.: tipo de solo é uma função do *Espaço* no domínio *Tipo-Solo*).

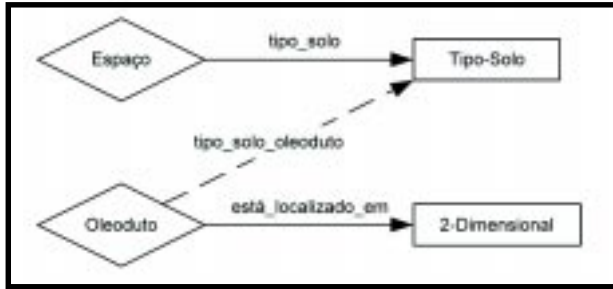


Figura 4 – Um exemplo de modelagem no modelo Geo-IFO

O modelo OMT-G [Bor 97] diferencia campos e objetos geográficos através do uso de dois conjuntos distintos de pictogramas, um para a representação espacial de campos e outro conjunto para a representação de objetos geográficos. O modelo GeoOOA [KPS 97] propõe uma solução na qual os conceitos de campo geográfico e modelo de representação *raster* são usados de forma ambígua. O modelo UML-GeoFrame [LI 99] suporta esses dois primeiros requisitos de forma unificada, conforme mostrado na Figura 3.

#### 4.2.3 Aspectos Temáticos

Os fenômenos geográficos possuem vários atributos, dentre os quais o que fornece sua localização geográfica. A localização e a forma dos fenômenos geográficos são representadas através de objetos espaciais, associados a um sistema de coordenadas. Uma entidade geográfica (ex.: um rio) deve estar associada a um ou mais objetos espaciais que representam sua localização e sua forma sobre a superfície terrestre. Em um SIG, as representações espaciais das entidades geográficas não são tratadas isoladamente, mas sim, em grupos de representações de entidades com características e relacionamentos em comum. Diferentes termos como *tema*, *camada* e *plano de informação* são encontrados na literatura, referindo-se a estes agrupamentos.

No nível interno de um SIG, a organização dos dados espaciais é feita em camadas físicas (ex.: conjunto de polígonos representando os limites dos lotes urbanos). No entanto, embora o projeto de camadas físicas seja um problema a ser tratado nas etapas de projeto lógico ou físico, diversos autores afirmam que é importante que camadas conceituais sejam definidas durante a fase de projeto conceitual [HT 96, BCM+ 96, Eur 96]. Segundo Hadzilacos [HT 96], camadas conceituais não necessitam ter um relacionamento um-para-um com camadas físicas. Por exemplo, uma única camada conceitual, como *Hidrografia*, pode ser armazenada em diferentes camadas físicas, uma contendo somente os rios, outra contendo somente os lagos, etc. Neste estudo adotou-se a nomenclatura utilizada em [Eur 96], onde uma camada conceitual recebe a denominação de tema.

Os modelos MGeo+ [Pim 95] e GMOD [Pir 97] permitem a modelagem de diferentes visões da área de estudo, correspondendo a temas, através do conceito de planos de informação.

De acordo com o GeoFrame [LI 99], a área geográfica de interesse de uma aplicação de SIG pode ser retratada através de diversos temas, os quais agrupam conjuntos de classes fortemente relacionadas entre si. A Figura 5 mostra um conjunto de temas identificados e modelados formando uma hierarquia de temas. Temas são modelados através do construtor UML denominado pacote [BJR98]. Ferramentas CASE para SIG estão adotando mecanismo semelhante. Exemplos incluem Perceptory [Bed 99] e REGIS [Iso 99]. O modelo OMT-G [Bor 97] propõe uma notação própria para a modelagem hierárquica de temas.



Figura 5 – Modelando temas segundo o modelo UMLGeoFrame

#### 4.2.4 Aspectos Espaciais

Segundo Worboys [Wor 95], um fenômeno geográfico possui quatro dimensões ao longo das quais os atributos são medidos: *espacial*, *gráfica*, *temporal* e *textual/numérica*. Por exemplo, um objeto *município* pode conter os seguintes atributos: um polígono representando os limites municipais (*espacial*); um polígono e um símbolo gráfico (ex.: círculos concêntricos proporcionais à população) representando sua forma cartográfica em diferentes escalas (*gráfico*); data de emancipação e data em que os dados do município foram incluídos no sistema (*temporal*); e atributos descritivos como nome e população (*textual/numérico*). Portanto, os aspectos espaciais estão relacionados com a forma e localização dos fenômenos geográficos.

A localização geográfica e a abstração da forma espacial dos fenômenos geográficos são representadas, no SIG, através de objetos espaciais. Todo objeto espacial possui uma geometria, que representa a forma espacial do fenômeno, sendo que suas coordenadas devem estar registradas com base em um determinado sistema de coordenadas (ex.: latitude e longitude) e uma projeção (ex.: projeção UTM).

A experiência dos autores mostra que, embora os aspectos espaciais dos fenômenos geográficos possam parecer detalhes de mais para serem tratados durante a modelagem conceitual, a sua inclusão no esquema conceitual tem sido fator fundamental na comunicação com o usuário.

Na visão de objetos, os fenômenos geográficos são representados por objetos espaciais do tipo ponto, linha, polígono ou combinações destes, enquanto que na visão de campo uma superfície contínua pode ser representada, por exemplo, através de modelos numéricos, conjuntos de isolinhas, polígonos adjacentes e grade de células. Um SIG fornece diferentes tipos de modelos de representação, os quais permitem ao usuário representar os diversos tipos de fenômenos geográficos. O modelo de representação a ser usado depende da finalidade da aplicação e das características do fenômeno.

Diferentes abordagens têm sido propostas para modelagem conceitual dos aspectos espaciais dos fenômenos geográficos. A abordagem mais comum é a que define uma associação entre a classe que descreve o fenômeno e a classe do tipo de objeto espacial correspondente a sua representação espacial. Exemplos de modelos que seguem esta abordagem são GISER [SCG+ 97], GeoIFO [TH 95], Geo-ER [HT 97] e GMOD [Pir 97]. Um dos problemas que ocorre nesta abordagem é a sobrecarga do esquema de dados resultante, devido ao grande número de novas associações.

Para obter esquemas de dados mais legíveis, alguns modelos utilizam pictogramas para substituir esta associação. Entre os modelos que utilizam pictogramas pode-se citar o Modul-R [BCM+ 96], que foi o pioneiro, GeoOOA [KPS 97], OMT-G [BLD 99], MADS [PSZ 99], UML-GeoFrame [LI 99], além das ferramentas CASE Perceptory [Bed 99] e REGIS [Iso 99]. Na Figura 3 duas classes (*Fazenda* e *UsoSolo*) apresentam pictogramas de representação espacial, definidos como estereótipos no modelo UML-GeoFrame [LI 99].

Alguns modelos pioneiros, como o modelo de Clementini [CF 94], induziam o projetista a cometer um equívoco de modelagem dos aspectos espaciais, que é o de modelar classes de fenômenos geográficos (ex.: classe *Rio*) como subclasse de classes de objetos espaciais (ex.: classe *Linha*).

#### **4.2.5 Múltiplas Representações**

Uma das características das aplicações geográficas é a possibilidade de existência de múltiplas representações para um mesmo fenômeno geográfico. Esta necessidade surge em resposta à complexidade da realidade a ser representada e às diferentes visões que os usuários têm de um mesmo fenômeno. Um fenômeno geográfico pode ser representado em diferentes escalas ou projeções, inclusive por diferentes objetos espaciais.

Múltiplas representações são modeladas através da inclusão de várias associações entre o fenômeno geográfico e os tipos de objetos espaciais corres-

pondentes. Por exemplo, na Figura 5 a classe *Município* contém dois tipos de representação espacial: pontual e poligonal.

Uma classificação de diferentes tipos de combinações possíveis de pictogramas é apresentada por Bédard e incluída no modelo Perceptory [Bed 99]. Segundo Bédard, um fenômeno geográfico pode apresentar representação espacial com forma complexa, alternativa, múltipla, derivada ou complicada (explicada textualmente em um dicionário). Em todos os modelos citados na seção anterior é possível modelar múltiplas representações, embora muitos não descrevam isso de forma explícita.

#### **4.2.6 Relacionamentos Espaciais**

Uma das tarefas mais importantes quando se está modelando os dados de uma aplicação é a identificação de quais os relacionamentos que deverão ser mantidos no banco de dados, dentre os possíveis relacionamentos observáveis na realidade. No domínio das aplicações geográficas este problema é bem complexo, uma vez que o número de relacionamentos possíveis de serem mantidos no banco de dados é ainda maior, devido à existência dos relacionamentos espaciais entre os fenômenos geográficos.

Diversos tipos de relacionamentos espaciais são citados na literatura [EFJ 89, LT 92, Wor 95]. São eles:

- relacionamentos métricos: incluem os possíveis relacionamentos entre os atributos espaciais (geométricos) das entidades. Um exemplo é o relacionamento de distância entre coordenadas geográficas, que permite a execução de operações com base no conceito de proximidade;
- relacionamentos topológicos: propriedades topológicas são aquelas que se mantêm inalteradas após distorções (ex.: mudança de projeção). Assim, os relacionamentos topológicos referem-se aos relacionamentos que não dependem exclusivamente das coordenadas dos objetos (ex.: adjacência);
- relacionamentos de composição: ocorrem quando o componente espacial de um objeto é composto de outros objetos espaciais (objetos complexos). Por exemplo, um arquipélago é composto de um conjunto de ilhas.

A maioria dos SIG fornece estruturas especiais para o armazenamento explícito de alguns tipos de relacionamentos espaciais (normalmente são mantidos somente os relacionamentos de adjacência ou de conectividade), deixando os demais para ser calculados a partir das coordenadas espaciais dos objetos, durante a execução das operações de consulta. Muitas aplicações não necessitam manter os relacionamentos topológicos, embora eles sempre existam. Por outro lado, existem aplicações nas quais esses relacionamentos possuem significado semântico relevante, tal como vizinhança e cru-

zamento de ruas. Nestes casos o projetista necessita especificar estas informações no modelo de dados.

As cardinalidades associadas aos relacionamentos formam um conjunto de restrições de integridade que devem ser mantidas entre as instâncias dos objetos no banco de dados. Para os relacionamentos espaciais, novos tipos de cardinalidade podem ser definidos, tais como associação espacial, pertinência, etc. Um modelo conceitual de dados para SIG deve fornecer meios para que o projetista represente os relacionamentos a serem mantidos no banco de dados geográficos. Isto inclui tanto os relacionamentos convencionais como os relacionamentos espaciais.

A maioria dos modelos estudados utiliza os próprios construtores de modelagem de relacionamentos já disponíveis no formalismo de origem. No entanto, alguns modelos definem novos construtores, como descrito a seguir.

O modelo GMOD [Pir 97] define dois novos tipos especiais de relacionamentos: *de versão* e *causal*. Relacionamentos de versão são usados para associar diferentes versões de uma mesma entidade, enquanto um relacionamento causal estabelece uma ligação de causa-efeito entre dois fenômenos modelados.

O modelo OMT-G [Bor 97] diferencia os relacionamentos espaciais dos relacionamentos convencionais através de novos símbolos gráficos. São definidos construtores abstratos para modelar alguns tipos de relacionamentos topológicos como, por exemplo, estruturas “todo-parte” e de rede. Um conjunto de 29 regras de restrições de integridade é apresentado em [BLD 99].

As novas primitivas do modelo GeoOOA [KPS 97] suportam abstrações de estruturas todo-parte espacial, diferenciando três tipos de estruturas: *cobertura*, *pertinência* e *partição*. Construtores específicos para modelagem de elementos de uma rede também são fornecidos pelo modelo GeoOOA.

De acordo com o modelo MADS [PSZ 99], os relacionamentos espaciais, assim como a existência de atributos espaciais, são modelados através de linhas tracejadas.

#### **4.2.7 Aspectos Temporais**

A maioria dos SIG disponíveis atualmente considera as entidades como se o mundo existisse somente no presente. Informações geográficas são incluídas e alteradas ao longo do tempo, mas o histórico dessas transformações não é mantido no banco de dados. Segundo Peuquet [PEU 95], estas limitações dos SIG vêm recebendo atenção crescente, devido à necessidade de um melhor entendimento dos processos geográficos e dos inter-relacionamentos de causa e efeito entre as atividades humanas e o meio ambiente.

Para Hadzilacos [HT 96], a necessidade de os dados geográficos estarem qualificados com base no tempo, não se deve ao fato de os dados serem frequentemente modificados, mas sim à necessidade de se registrar estados passados, de forma a possibilitar o estudo da evolução dos fenômenos geográficos. Para possibilitar uma análise de dados com base na evolução dos fenômenos geográficos é necessário adicionar aos SIG as potencialidades dos sistemas de bancos de dados temporais. Isto implica na inclusão de informações temporais relacionadas aos fenômenos geográficos e da extensão das linguagens de consulta disponíveis para que estas suportem cláusulas de condição associadas a aspectos temporais [Ede 94, Wor 95].

Alguns modelos estendem a notação gráfica para ressaltar a existência dos aspectos temporais em determinadas classes e/ou atributos. No modelo GMOD [Pir 97], Geo-Classes e classes Convencionais podem ser definidas como sendo temporais, através da definição de uma associação com a classe *Tempo*. A classe *Tempo* é raiz de uma outra hierarquia de classes, onde suas subclasses distinguem os tipos de características do tempo (ex.: discreto ou contínuo, variação linear ou intervalar).

O modelo GeoOOA utiliza um pictograma especial, que é um símbolo de um relógio, para diferenciar classes temporais (Figura 6). Além disso, a notação gráfica do modelo OOA [CY 91] é estendida para representar dois tipos especiais de relacionamentos temporais: *conexão ancestral* e *conexão de atributo temporal*. Um relacionamento de conexão ancestral permite a associação entre versões de um mesmo objeto. Por exemplo, um lote pode ser dividido, em um determinado momento, dando origem a dois novos lotes. A conexão de atributo temporal é usada para destacar uma associação decorrente da necessidade de modelar o aspecto temporal de um atributo. Por exemplo, na Figura 6, a classe *Escritura* é resultado da modelagem dos dados históricos do lote. Em uma modelagem não temporal, o usual é que cada lote tenha uma única associação com o proprietário atual.



Figura 6 – Exemplo de modelagem de aspectos temporais no modelo GeoOOA

O modelo Modul-R também utiliza pictogramas para modelagem dos aspectos temporais. Provavelmente, devido à complexidade da solução apresentada por Bédard em [BCM+ 96], esta solução foi abandonada na implementação da ferramenta CASE Perceptory [Bed 99].

#### **4.2.8 Aspectos de Qualidade**

Dados com erros podem surgir nos SIG, mas precisam ser identificados e tratados. Os erros podem ser introduzidos no banco de dados de diversas formas: serem decorrentes de erros já existentes nas fontes originais dos dados; serem adicionados durante os processos de obtenção (captura) e armazenamento dos dados; serem gerados durante a exibição ou impressão dos dados; ou surgirem a partir de resultados errôneos de operações de análise de dados [BF 95].

Uma aplicação de SIG se diferencia das demais aplicações de banco de dados por fazer uso de grande volume de dados importados de outros sistemas, muitas vezes de outras organizações. Este fenômeno gera, freqüentemente, problemas de confiabilidade dos dados.

O padrão americano para troca de dados espaciais (SDTS) requer um relatório de qualidade, o qual fornece uma base para que o usuário faça seu próprio julgamento sobre a qualidade do dado importado [AP 96]. Os aspectos de qualidade fazem parte de um conjunto maior de dados que são elaborados para possibilitar o compartilhamento de dados em aplicações de SIG. Diversas tentativas de padronização do formato de descrição de dados, denominados metadados, são encontradas na literatura [WLI+ 98].

No tocante a projeto conceitual, porém, pouco avanço tem sido observado. Os modelos Modul-R [HT 96] e GISER [SCG+ 97] apenas citam a necessidade de se manter dados de qualidade, mas não descrevem como isso é feito. Ram e outros [RPB 99] apresentam uma proposta de uso de metadados com o objetivo de acesso aos dados através de um modelo semântico (USM\*), ao invés de comandos disponíveis em SIG.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A partir dos diversos modelos analisados observa-se que todos seguiram um mesmo caminho, onde se buscou acrescentar novas primitivas de abstração a um dos formalismos conceituais existentes com variações apresentadas, principalmente, na sintaxe da linguagem e na notação gráfica proposta.

No entanto, a maioria desses modelos, ao invés de realmente introduzir novas primitivas de modelagem, se restringe a descrever como e o que mo-

delar da realidade geográfica, utilizando-se quase sempre de primitivas de modelagem do próprio formalismo de origem.

Observa-se que alguns modelos já atendem, em maior ou menor grau, aos requisitos de modelagem identificados. Coloca-se, então, a pergunta: Por que os projetistas de SIG relutam, ainda, em realizar a fase de modelagem conceitual em seus projetos? Acredita-se que isto ocorra não mais pela ausência de um modelo adequado para as aplicações de SIG, mas, sim, devido a deficiências nas metodologias de desenvolvimento em que esses modelos são empregados. Uma das possíveis soluções para este problema é a utilização de metodologias de desenvolvimento de sistemas baseadas em abordagens de reutilização [LIB 98].

O estudo mostra que alguns dos requisitos analisados ainda necessitam ser melhor pesquisados como, por exemplo, os aspectos temporais e os aspectos de qualidade. Os modelos analisados também permitem concluir que, nos casos onde se buscou a definição de um modelo muito rico semanticamente, aumentou a dificuldade de se utilizar o modelo, devido ao grande número de primitivas (ex.: Modelo MADS).

## **KEYWORDS**

*Geographic Information Systems (GIS) – Conceptual data modeling – Database systems.*

## **ABSTRACT**

*Conceptual modeling has been applied successfully to database modeling in general. Independent of underlying hardware or software, conceptual models allow for a first, abstract representation of the application's reality helping designers to better communicate with one another and with the users. Geographic applications pose a set of specific requirements on conceptual data modeling that are either not at all or only partially supported by existing conceptual data models. This paper discusses a minimum set of requirements which should be supported by a data model for Geographic Information Systems (GIS) and compares some well known conceptual data models relying on these requirements.*

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [AG 98] ABRANTES, G.; e GOMES, M. R. GEO-OMT: an object-oriented method supporting the development of facilities management systems. In *Proceedings of the International Conference & Exhibition on Geographic Information*, Lisbon, 1998.

- [AH 87] ABITEBOUL, S.; e HULL, R. IFO: A formal semantic database model. *ACM Transactions on Database Systems*, 12(4):525-565, 1987.
- [AP 96] ASPINALL, R. J.; e PEARSON, D. M. Data quality and spatial analysis: analytical use of GIS for ecological modeling. In: Goodchild, M.F. et al. (Eds.). *GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*. Fort Collins, CO: GIS World Books, 1996.
- [BCG+ 93] BONFATTI, F.; CANTARONI, R.; GENTILI, L.; e MURARI, C. Object-oriented support to the design of geographical information systems. In *Proceedings of the European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems*, Genoa, 1993.
- [BCM+96] BÉDARD, Y.; CARON, C.; MAAMAR, Z.; MOULIN, B.; et al.. Adapting data models for the design of spatio-temporal databases. *Computers, Environment, and Urban Systems*, 20(1), 1996.
- [BCN 92] BATINI, C.; CERI, S.; e NAVATHE, S. B. *Conceptual database design: an entity-relationship approach*. Redwood: Benjamin/Cummings, 1992.
- [BDM 95] BONFATTI, F.; DALLARI, A.; e MANARI, P.D. Capturing more knowledge for the design of geological information systems. In *Proceedings of ACM-GIS International Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, Baltimore, 1995.
- [Bed 99] BÉDARD, Y. Visual modeling of spatial databases: towards spatial PVL and UML. *Geomatica*, June, 1999.
- [BF 95] BURROUGH, P.A.; e FRANK, A.U. Concepts and paradigms in spatial information: are current geographical information systems truly generic? *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(2):101-116, 1995.
- [BJR 98] BOOCH, G.; JACOBSON, I.; e RUMBAUGH, J. *The Unified Modeling Language User Guide*. Reading: Addison Wesley Longman, 1998.
- [BLD 99] BORGES, K. A. V.; LAENDER, A. H. F.; e DAVIS Jr, C. D. Spatial data integrity constraints in object oriented geographic data modeling. In *Proceedings of ACM-GIS International Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, Kansas City, 1999.
- [Bor 97] BORGES, K. A. V. *Modelagem de Dados Geográficos: uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas*. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 1997. Dissertação de Mestrado.
- [BP 89] BÉDARD, Y.; e PAQUETTE, F. Extending entity/relationship formalism for spatial information systems. In *Proceedings of AUTOCARTO*, 1989.
- [Bro 84] BRODIE, M. L. On the development of data models. In: BRODIE, M. L.; Mylopoulos, J.; Schmidt, J.W. (Eds.). *On Conceptual Modeling*. New York: Springer-Verlag, 1984.
- [BX 94] BATTY, M.; e XIE, Y. Research article: Modelling inside GIS: Part 1 Model structures, exploratory spatial data analysis and aggregation. *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(3):291-307, 1994.
- [CB 93] CARON, C.; e BÉDARD, Y. Extending the individual formalism for a more

- complete modeling of urban spatially referenced data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 17:337-346, 1993.
- [CB 97] CATTEL, R.G.G.; e BARRY, D.K. (Eds.) *The Object Database Standard: ODMG 2.0*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1997.
- [CF 94] CLEMENTINI, E.; e FELICE, P.D. Object-oriented modeling of geographic data. *Journal of the American Society for Information Science*, 45(9):694-704, 1994.
- [Che 76] CHEN, P. P. S. The entity-relationship model: Towards a unified view of data. *ACM Transactions on Database System*, 1, 1976.
- [Chr 97] CHRISMAN, N. *Exploring Geographic Information Systems*. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [Cou 92] COUCLELIS, H. People manipulate objects (but cultivate fields): beyond the raster-vector debate in GIS. In *Theories and methods of spatial-temporal reasoning in geographic space*. Berlin: Springer Verlag, 1992. (LNCS 639).
- [Cro 96] CROSBIE, P. Object-oriented design of GIS: a new approach to environmental modeling. In: Goodchild, M.F. et al. (Eds.). *GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*. Fort Collins, CO: GIS World Books, 1996.
- [CSL+ 96] COYLE, M.; SHEKHAR, S.; LIU, D.; e SARKAR, S. *Experiences with object data models in geographic information systems*. 1996. White paper available at <http://www.cs.umn.edu/research/shashi-group/> (August, 1997)
- [CY 91] COAD, P.; e YOURDON, E. *Object-Oriented Analysis*. 2.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.
- [Ede 94] EDELWEISS, N. *Sistemas de Informação de Escritórios: um modelo para especificações temporais*. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1994. Tese de Doutorado.
- [EF 87] EGENHOFER, M. J.; e FRANK, A. U. Object-oriented databases: database requirements for GIS. In *Proceedings of the International Geographic Information Systems Symposium, Arlington, Virginia, p. 189-211*, 1987.
- [EFJ 89] EGENHOFER, M. J.; FRANK, J.; e JACKSON, J. A topological data model for spatial databases. In *Proceedings of Symposium Design and Implementation of Large Spatial Databases*, 1989.
- [EF 92] EGENHOFER, M. J.; e FRANK, A. U. Object-oriented modeling for GIS. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 4(2), 1992.
- [EN 94] ELMASRI, R.; e NAVATHE, S. B. *Fundamentals of Database Systems*. 2.ed. Menlo Park, CA: Addison-Wesley, 1994.
- [Eur 96] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *Geographic Information – Data Description – Conceptual Schema Language*. Brussels: CEN, 1996. (Report CR 287005).
- [Fra 88] FRANK, A. U. Requirements for a databases management system for a GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), p.1557-1564, 1988.
- [Goo 92] GOODCHILD, M. F., Geographical data modeling. *Computers & Geosciences*, 18(4):401-408, 1992.

- [HK 87] HULL, R.; e KING, R. Semantic database modeling: survey, applications, and research issues. *ACM Computing Surveys*, 19(3):201-260, 1987.
- [HT 96] HADZILACOS, T.; e TRYFONA, N. Logical data modelling for geographical applications. *International Journal of Geographical Information Science*, 10(2):179-203, 1996.
- [HT 97] HADZILACOS, T.; e TRYFONA, N. An extended entity-relationship model for geographic applications. *SIGMOD Record*, 26(3), 1997.
- [Iso 99] ISOWARE. *CASE-Toll REGIS*. Available at <http://www.isoware.de/>.
- [KPS 95] KÖSTERS, G.; PAGEL, B.; e SIX, H. Object-oriented requirements engineering for GIS-applications. In *Proceedings of ACM-GIS International Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, Baltimore, 1995.
- [KPS 97] KÖSTERS, G.; PAGEL, B.; e SIX, H. GIS-Application Development with GeoOOA. *International Journal of Geographical Information Science*, 11(4), 1997.
- [KV 98] KEMP, K. K.; e VCKOVSKY, A. Towards an ontology of fields. In *Proceedings of International Conference on Geocomputation*, 1998, Bristol-UK, 1998.
- [LI 96] LISBOA F., J.; e IOCHPE, C. *Análise Comparativa dos Modelos de Dados Conceituais para Sistemas de Informações Geográficas*. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1996. RP-266-96.
- [LI 98] LISBOA F., J.; e IOCHPE, C. Requisitos especiais e modelos conceituais de dados para aplicações de sistemas de informações geográficas. In *Proceedings of IDEAS'98 Workshop Ibero-americano de Engenharia de Requisitos e Ambientes de Software*, Torres-RS, 1998.
- [LI 99] LISBOA F., J.; e IOCHPE, C. Specifying analysis patterns for geographic databases on the basis of a conceptual framework. In *Proceedings of ACMGIS International Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, Kansas City, 1999.
- [LIB 98] LISBOA F., J.; IOCHPE, C.; e BEARD, K. Applying Analysis Patterns in the GIS Domain. In *Proceedings of 10th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre*, Dunedin, New Zealand, 1998.
- [Lis 97] LISBOA F., J. *Modelos Conceituais de Dados para Sistemas de Informações Geográficas*. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1997. 119p.- (EQ-12)
- [LT 92] LAURINI, R.; THOMPSON, D. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. San Diego: Academic Press, 1992.
- [MMS 93] MILNE, P.; MILTON, S.; e SMITH, J. L. Geographical object-oriented databases - a case study. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.7, n.1, p.39-55, 1993.
- [Nat 94] NATIVI, S. A conceptual modelling for the GIS developing. In *Proceedings of European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems*, 1994.
- [Nav 92] NAVATHE, S. B. Evolution of Data Modeling for Databases. *Communications of the ACM*, 35(9):112-123, 1992.

- [Peu 95] PEUQUET, D. J. An event-based spatiotemporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(1), p.7-24, 1995.
- [Pim 95] PIMENTEL, F. L. *Uma Proposta de Modelagem Conceitual para Dados Geográficos: o Modelo Mgeo+*. Recife: UFPE, 1995. Dissertação de Mestrado.
- [Pir 97] PIRES, F. *Um ambiente computacional para modelagem de aplicações geográficas*. Campinas: Unicamp, Instituto de Computação, 1997. Tese de Doutorado.
- [Pre 87] PRESSMAN, R.S. *Software Engineering: a practitioner's approach*. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1987.
- [PSZ 99] PARENT, C.; SPACCAPIETRA, S.; e ZIMANYI, E. Spatial-temporal conceptual models: data structures + space + time. In *Proceedings of ACMGIS International Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, Kansas City, 1999.
- [PSZ+ 98] PARENT, C.; SPACCAPIETRA, S.; ZIMANYI, E.; DONINI, P.; et. al. Modeling spatial data in the MADS conceptual model. In *Proceedings of International Symposium on Spatial Data Handling*, Vancouver, 1998.
- [RBP+ 91] RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PRAMERLANI, W.; EDDY, F. et. al. *Object-Oriented Modeling and Design*. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.
- [RDE 98] RUGG, R. D.; DOBSON, J. E.; e EGENHOFER, M. J. *Formalisms and schema languages for modeling geographic information*. Santa Barbara, CA: Federal Geographic Data Committee, University Consortium for Geographic Information Science, 1998.
- [RPB 99] RAM, S.; PARK, J.; e BALL, G. L. Semantic-model support for geographic information systems. *IEEE Computer*, v.32, n.5, 1999.
- [SA 93] SUBRAMANIAN, R.; e ADAM, N. R. The design and implementation of an expert object-oriented geographic information system. In *Proceedings of CIKM Information and Knowledge*, Washington, 1993.
- [SCG+ 97] SHEKHAR, S.; COYLE, M.; GOYAL, B.; LIU, D.; et. al., S. Data models in geographic information systems. *Communications of the ACM*, 40(4), 1997.
- [Tim 94] TIMES, V. C. *MGeo: Um Modelo Orientado a Objetos para Aplicações Geográficas*. Recife: UFPE, 1994. Dissertação de Mestrado.
- [TH 95] TRYFONA, N.; e HADZILACOS, T. Geographic applications development: models and tools for the conceptual level. In *Proceedings of ACM-GIS International Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, Baltimore, 1995.
- [WH 91] WILLIAMSON, I., P.; e HUNTER, G. J. The need for improved forms of conceptual models in geographical information system development. *Australian Surveyor*, 36(2):100-110, 1991.
- [WHM 90] WORBOYS, M.; HEARNshaw, H.; e MAGUIRE, D. Object-oriented Data Modeling for Spatial Databases. *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(4):369-384, 1990.

- [WLI+ 98] WEBER, E. J.; LISBOA F., J.; IOCHPE, C.; e HASENACK, H. Geospatial metadata in Brazil: an experience in data documentation of an environmental GIS application. In *Proceedings of International Conference & Exhibition on Geographic Information - GIS Planet '98*, Lisbon, 1998.
- [Wor 95] WORBOYS, M. F. *GIS: A Computing Perspective*. London: Taylor and Francis, 1995.