

MODELAGEM DE DADOS GEOGRÁFICOS

Karla Borges

Clodoveu Davis

4.1 APRESENTAÇÃO

Um modelo de dados é um conjunto de conceitos que podem ser usados para descrever a estrutura e as operações em um banco de dados [ElNa94]. O modelo busca sistematizar o entendimento que é desenvolvido a respeito de objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado. Os objetos e fenômenos reais, no entanto, são complexos demais para permitir uma representação completa, considerando os recursos à disposição dos sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD) atuais. Desta forma, é necessário construir uma abstração dos objetos e fenômenos do mundo real, de modo a obter uma forma de representação conveniente, embora simplificada, que seja adequada às finalidades das aplicações do banco de dados.

A *abstração* de conceitos e entidades existentes no mundo real é uma parte importante da criação de sistemas de informação. Além disso, o sucesso de qualquer implementação em computador de um sistema de informação é dependente da qualidade da transposição de entidades do mundo real e suas interações para um banco de dados informatizado. A abstração funciona como uma ferramenta que nos ajuda a compreender o sistema, dividindo-o em componentes separados. Cada um destes componentes pode ser visualizado em diferentes níveis de complexidade e detalhe, de acordo com a necessidade de compreensão e representação das diversas entidades de interesse do sistema de informação e suas interações.

Ao longo dos anos, desde o surgimento dos primeiros SGBDs, foram criados vários modelos de dados que apesar de muitas vezes terem a pretensão de se constituírem em ferramentas genéricas, refletem as condicionantes tecnológicas dos SGBDs à época de sua criação. Existem vários tipos de modelos, desde os que possuem descrições orientadas aos usuários chamados *infological* até aqueles cuja principal preocupação é a representação no computador, os *datalogical*. Os modelos podem ser classificados em: modelos de dados conceituais, modelos de dados lógicos e modelos de dados físicos [ElNa94]. Os modelos de dados lógicos, também chamados de clássicos, se destinam a descrever a estrutura de um banco de dados apresentando um nível de abstração mais próximo das estruturas físicas de armazenamento de dados. Uma característica desse tipo de modelo é a sua inflexibilidade, forçando a adequação da realidade à estrutura proposta por ele. Os modelos de dados relacional, de redes e hierárquico, exemplos de modelos lógicos, são implementados

diretamente por vários sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBD) existentes comercialmente. Os modelos de dados conceituais são os mais adequados para capturar a semântica dos dados e, conseqüentemente, para modelar e especificar as suas propriedades. Eles se destinam a descrever a estrutura de um banco de dados em um nível de abstração independente dos aspectos de implementação. Como exemplo desse tipo de modelo, temos o modelo entidade-relacionamento proposto por Chen [Chen76], o modelo funcional [Sike77, Ship81], o modelo binário [Abri74] e os modelos orientados a objetos [Ditt86]. Já os modelos de dados físicos são utilizados para descrever as estruturas físicas de armazenamento.

A orientação a objetos é uma tendência em termos de modelos para representação de aplicações geográficas [OlPM97, KöPS96, PeBS97, AbCa94, Benn96, NaFe94, EgFr92, WOHM90, DaBo94]. Conforme Câmara et al. [CCHM96, pág.50] “a modelagem orientada a objetos não obriga o armazenamento em um SGBD orientado a objetos, mas simplesmente visa dar ao usuário maior flexibilidade na modelagem incremental da realidade.” Os objetos geográficos se adequam bastante bem aos modelos orientados a objetos ao contrário, por exemplo, do modelo de dados relacional que não se adequa aos conceitos natos que o homem tem sobre dados espaciais. Os usuários têm que artificialmente transferir seus modelos mentais para um conjunto restrito de conceitos não espaciais. Nos últimos anos, modelos de dados orientados a objetos têm sido desenvolvidos para expressar e manipular as complicadas estruturas de conhecimento usadas nas diversas aplicações não-convencionais como CAD/CAM, multimídia, CASE, sistemas de informação geográfica, entre outras. Brodie [Brod84 apud Lisb97] denomina de modelos semânticos de propósito especial, os modelos desenvolvidos para atender as demandas das área de aplicações não-convencionais.

Não é surpresa se constatar que, até o aparecimento dos primeiros SIGs, praticamente nada existia em termos de representação específica em modelo de dados, de entidades geográficas ou espaciais. No entanto, o grau de generalidades das técnicas de modelagem de dados permite representar estes tipos de entidades, embora com graus variados de sucesso. Porém, apesar de toda a expressividade oferecida pelas técnicas tradicionais de modelagem de dados, dificuldades surgem devido ao fato de que muitas informações geográficas precisam ser consideradas com respeito à localização onde elas são válidas, o tempo de observação e a sua precisão de obtenção/representação. A modelagem do mundo real é uma atividade complexa porque envolve a *discretização* do espaço geográfico para a sua devida representação. Inúmeros são os fatores envolvidos nesse processo de discretização do espaço. Entre eles citamos:

- *Transcrição da informação geográfica em unidades lógicas de dados* - Para Goodchild [FrGo90], o esquema de uma aplicação geográfica é uma representação limitada da realidade, tendo em vista a natureza finita e discreta da representação nos computadores. Por maior que seja o nível de abstração utilizado, a realidade é modelada através de conceitos geométricos [Fran92] e, para que esses conceitos sejam implementados em computadores, eles precisam ser formalizados, sendo necessário um maior número de

conceitos abstratos para descrever os dados geométricos, e um maior número de operações apropriadas, as quais são independente de implementação [MaFr90].

- *Forma como as pessoas percebem o espaço* – O aspecto cognitivo na percepção espacial é um dos aspectos que faz com que a modelagem de dados geográficos seja diferente da modelagem tradicional. Dependendo do observador, da sua experiência e de sua necessidade específica uma mesma entidade geográfica pode ser percebida de diversas formas. Uma escola, por exemplo, poderá ser vista como um símbolo, como uma área, como edificações, depende do observador e do que ele pretende com essa representação. Além do aspecto cognitivo, existe também a questão da escala, onde a mesma entidade geográfica pode ser representada por diferentes formas, de acordo com a escala utilizada. O uso dessas múltiplas representações pode ocorrer simultaneamente, apresentando formas alternativas de representar uma mesma entidade geográfica, como por exemplo, um aeroporto que pode ser representado ao mesmo tempo pela área que ele abrange e pelos símbolos cartográficos que o representam. Poderá também, ser exclusiva, onde cada representação é válida para visualização em um determinado momento, como por exemplo, os casos da variação de escala. A percepção de que a interpretação do espaço modelado varia é muito importante na definição da melhor forma de representar o mundo real pois, múltiplas representações podem ser necessárias a diferentes propósitos.
- *Natureza diversificada dos dados geográficos* – Além dos dados geográficos possuírem geometria, localização no espaço, informações associadas e características temporais, eles ainda possuem origens distintas. Um exemplo dessa diversidade pode ser visto em [Kemp92]. Segundo a autora, os dados ambientais, por exemplo, são derivados de dados disponíveis sobre topografia, clima e tempo, propriedades do solo, propriedades geológicas, cobertura da terra, uso da terra, hidrografia e qualidade da água. Alguns desses fenômenos, como elevação e propriedades do solo, variam continuamente sobre o espaço (visão de campos). Outros, como falhas geológicas e redes de rios, podem ser discretizados (visão de objetos), enquanto outros podem estar em ambas categorias dependendo do nível de detalhe considerado.
- *Existência de relações espaciais* (topológicas, métricas, de ordem e *fuzzy*) - Essas relações são abstrações que nos ajudam a compreender como no mundo real os objetos se relacionam uns com os outros [MaFr90]. Muitas relações espaciais necessitam estar explicitadas no diagrama da aplicação, de forma a torná-lo mais compreensível. As relações topológicas são fundamentais na definição de regras de integridade espacial, que especificam o comportamento geométrico dos objetos.
- *Coexistência de entidades essenciais ao processamento e entidades “cartográficas”* - Entidades “cartográficas” representam a visão do mundo através de objetos lineares não relacionados, ou seja, sem nenhum comprometimento com o processamento [MaFr90]. É comum, principalmente em aplicações geográficas de áreas urbanas, a presença de

entidades geográficas com características apenas de exibição, não sendo usadas para processamento geográfico (embora sejam parte do mapa base). Citamos como exemplo, os textos que identificam acidentes geográficos como Serras, Picos, ou objetos como muro, cerca viva, cerca mista e cerca que identificam a delimitação de um lote. O que será provavelmente usado no processamento geográfico será o lote, como um polígono. Se o lote é cercado ou não, e se a delimitação é um muro ou uma cerca, não fará diferença, podendo ser uma informação alfanumérica associada. No entanto, a nível cartográfico é muito utilizado o registro fiel da realidade observada, sendo considerada significativa a visualização dessa informação. Nesse aspecto, o desenvolvimento de aplicações geográficas difere da convencional. Como pode ser percebido, muitas entidades geográficas poderão ser criadas no banco de dados sem que necessariamente tenham sido representadas no esquema da aplicação.

Os primeiros modelos de dados para as aplicações geográficas eram direcionados para as estruturas internas dos SIGs. O usuário era forçado a adequar os fenômenos espaciais às estruturas disponíveis no SIG a ser utilizado. Conseqüentemente, o processo de modelagem não oferecia mecanismos para a representação da realidade de forma mais próxima ao modelo mental do usuário. Ficava evidente que a modelagem de dados geográficos necessitava de modelos mais adequados, capazes de capturar a semântica dos dados geográficos, oferecendo mecanismos de abstração mais elevados e independência de implementação.

A próxima seção apresenta alguns modelos de dados convencionais mais utilizados na modelagem geográfica. Todo este material está fortemente baseado em [Borg97], onde podem ser encontradas referências adicionais sobre modelagem de dados.

4.2 MODELOS DE DADOS SEMÂNTICOS

Os modelos de dados semânticos foram desenvolvidos com o objetivo de facilitar o projeto de esquemas de banco de dados provendo abstrações de alto nível para a modelagem de dados, independente do *software* de banco de dados ou hardware utilizado [HuKi87].

Segundo [Nava92], um modelo de dados semântico deve possuir as seguintes características:

- *Expressividade* - O modelo deve distinguir diferentes tipos de dados, relacionamentos e restrições.
- *Simplicidade* – O modelo deve ser simples o bastante para que os usuários possam entender e usar, devendo possuir uma notação diagramática simples.
- *Minimalidade* – O modelo deve consistir num pequeno número de conceitos básicos, que são distintos e ortogonais em seu significado.
- *Formalidade* – O modelo deve ter seus conceitos formalmente definidos.

- *Interpretação única* – Cada esquema deve ser interpretado de forma inequívoca.

Além disso, um modelo semântico deve suportar os seguintes conceitos de abstração [Nava92]:

- *Agregação* - Segundo Navathe [Nava92], agregação é um conceito abstrato de construção de um objeto agregado a partir de objetos componentes. O relacionamento entre o objeto agregado e os componentes é descrito como “é-parte-de”. Num nível mais simples, uma agregação é usada, por exemplo, para agregar atributos, ou seja, um objeto é definido pelo conjunto dos atributos que o descreve.
- *Classificação e Instanciação* - *Classificação* é o processo de abstração no qual objetos similares são agrupados dentro de uma mesma classe. Uma classe descreve as propriedades comuns ao conjunto de objetos. As propriedades podem ser estáticas (estruturais) ou dinâmicas (comportamentais) [Lisb97]. Segundo Brodie [Brod84 apud Lisb97], a maioria dos modelos semânticos representa apenas as características estáticas das entidades. As propriedades dinâmicas são representadas nos modelos orientados a objetos. O relacionamento existente entre o objeto e a sua classe é denominado “é_membro_de” ou “é_instância_de” significando que cada objeto é uma instância da classe [Nava92].
- *Generalização/especialização* - A *generalização* é um processo de abstração no qual um conjunto de classes similares é generalizado em uma classe genérica (*superclasse*). A *especialização* é o processo inverso, onde a partir de uma determinada classe mais genérica (*superclasse*) são detalhadas classes mais específicas (*subclasses*). As subclasses possuem algumas características que as diferem da superclasse. O relacionamento entre cada subclasse e a superclasse é chamado de “é_um” (*is_a*). As subclasses automaticamente herdam os atributos da superclasse [Nava92].
- *Identificação* - Cada conceito abstrato ou objeto concreto tem identificadores únicos [Nava92].

Esses conceitos de abstração têm sido utilizados em diferentes combinações e em diferentes graus nos modelos de dados semânticos. Navathe [Nava92] considera o modelo orientado a objetos como um modelo similar aos modelos semânticos, podendo também ser considerado um modelo semântico que possui adicionalmente: herança de propriedades e métodos que modelam o comportamento dos objetos. Eles possuem também, construtores para a definição de objetos complexos, o que possibilita a representação de aplicações em áreas consideradas não convencionais.

São descritos a seguir, de forma breve, os quatro modelos de dados mais utilizados como base para as extensões geográficas. Uma descrição mais detalhada poderá ser vista nas referências indicadas.

4.2.1 Modelo Entidade-Relacionamento (ER)

O modelo Entidade-Relacionamento (ER) [Chen76], é um dos primeiros modelos de dados semânticos. Ele utiliza apenas três tipos construtores básicos: *entidade* (conjunto de entidades), *relacionamento* (conjunto de relacionamentos) e *atributo* (Figura 3). Várias extensões ao modelo ER foram propostas na literatura [ElWH85, TeYF86, SmSm77, GoHo91, ScSW79, SaNF79, ElNa94], com o objetivo de enriquecer o modelo, com novos conceitos de abstrações.

Uma *entidade* é uma representação abstrata de um objeto do mundo real, que possui uma existência independente e sobre a qual se deseja guardar e recuperar informações. Pode ser algo concreto como uma pessoa ou abstrato como um cargo. Uma entidade que tem sua existência dependente de outra é chamada de *entidade fraca*.

Um *relacionamento* é uma associação entre duas ou mais entidades. No caso de relacionamentos binários, estes podem ter sua cardinalidade expressa por 1:1, 1:N, N:1 ou M:N, indicando o número de vezes que uma entidade pode participar do relacionamento.

Um *atributo* é uma propriedade que descreve uma entidade ou um relacionamento. Um *atributo identificador*, identifica unicamente uma entidade.

O modelo ER possui uma notação gráfica muito simples e poderosa e que por isso mesmo, tem sido largamente utilizada. A Figura 3 apresenta a notação gráfica do modelo ER.

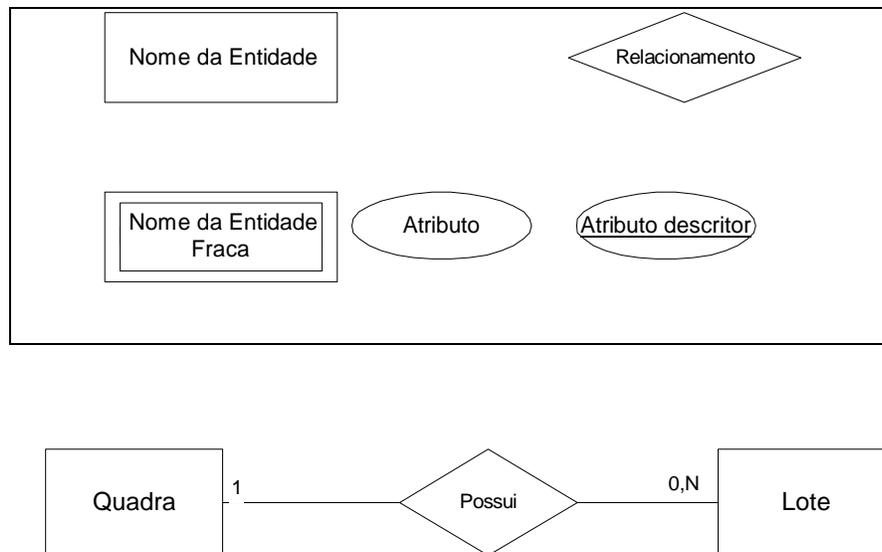


Figura 3 - Construtores Básicos do Modelo ER

“Devido à sua simplicidade de representação e facilidade de aprendizado, tem sido o modelo de maior sucesso como ferramenta de comunicação entre o projetista de banco de dados e o

usuário final durante as fases de análise de requisitos e projeto conceitual” [BaCN92 apud Lisb97, pág. 64].

4.2.2 Modelo IFO

Hull e King [HuKi87] classificam o modelo IFO (*Is-a relationships, Functional relationships, complex Objects*) como um modelo altamente estruturado. Ele foi proposto por Abiteboul e Hull [AbHu87] apresentando atributos e tipos construtores para agregação e agrupamento, além de distinguir entre os dois tipos de relacionamento “é_um” (generalização e especialização). A descrição feita a seguir é baseada em [HuKi87, AbHu87, Hann95].

Os tipos construtores básicos do modelo IFO são: *Objetos, fragmentos e relacionamentos “é_um” (is a)*. Um tipo de objeto no IFO corresponde a uma coleção de objetos com as mesmas características. Existem três tipos básicos de objeto, *imprimível, abstrato e livre*, e dois tipos de objeto construtor, *agrupamento e agregação (produto cartesiano)*. Um objeto *imprimível* (representado graficamente por um retângulo) é um objeto que pode ser diretamente representado como entrada e saída. Como exemplo, temos os tipos pré-definidos *Integer, string, real e pixel*. Um objeto *abstrato* (representado graficamente por um losango) representa objetos do mundo real que não sejam imprimíveis, como pessoa, companhia e curso. Os objetos do tipo *livre* (representados graficamente por um círculo) são entidades obtidas via relacionamentos de generalização e especialização, como, por exemplo, estudante. Pessoa, por exemplo, é um objeto abstrato e estudante um objeto livre.

Os tipos de objeto não básicos são construídos a partir dos tipos básicos usando *agregação e agrupamento*. *Agrupamento* corresponde ao procedimento de formação de um conjunto finito de objetos de uma mesma estrutura. Um *agrupamento* consiste em um conjunto de objetos como, por exemplo, um conjunto de estudantes que forma um tipo de *agrupamento* de nome classe. A *agregação* (produto cartesiano) representa objetos como n-tuplas ordenadas de outros objetos.

O objetivo do modelo IFO é fornecer um formalismo para representar os relacionamentos funcionais entre os tipos. O meio pelo qual os relacionamentos são representados é o *fragmento*. O *fragmento* é uma construção do modelo IFO que contém os tipos e funções (mas não relacionamentos de generalização ou especialização) sujeitos a certas regras. No modelo IFO, os *fragmentos* formam os blocos construtores dos esquemas. Eles podem ser usados para modelar associações “um_para_um” entre dois objetos. Associações “um_para_muitos” são modeladas indiretamente usando *fragmentos e agrupamento*.

O modelo IFO provê um formalismo para a representação do relacionamento funcional entre os tipos. Os relacionamentos funcionais são representados pelos *fragmentos*. Um esquema é a maior unidade do modelo IFO sendo uma floresta de fragmentos, possivelmente conectados nos seus vértices primários (raiz do fragmento) por uma generalização e especialização de seus

delimitadores. Desta forma, o esquema permite a representação de todos os componentes do modelo IFO.

O modelo IFO representa os dois tipos de relacionamentos “é_um” (*is a*): generalização e especialização. A notação do modelo se encontra na Figura 17.

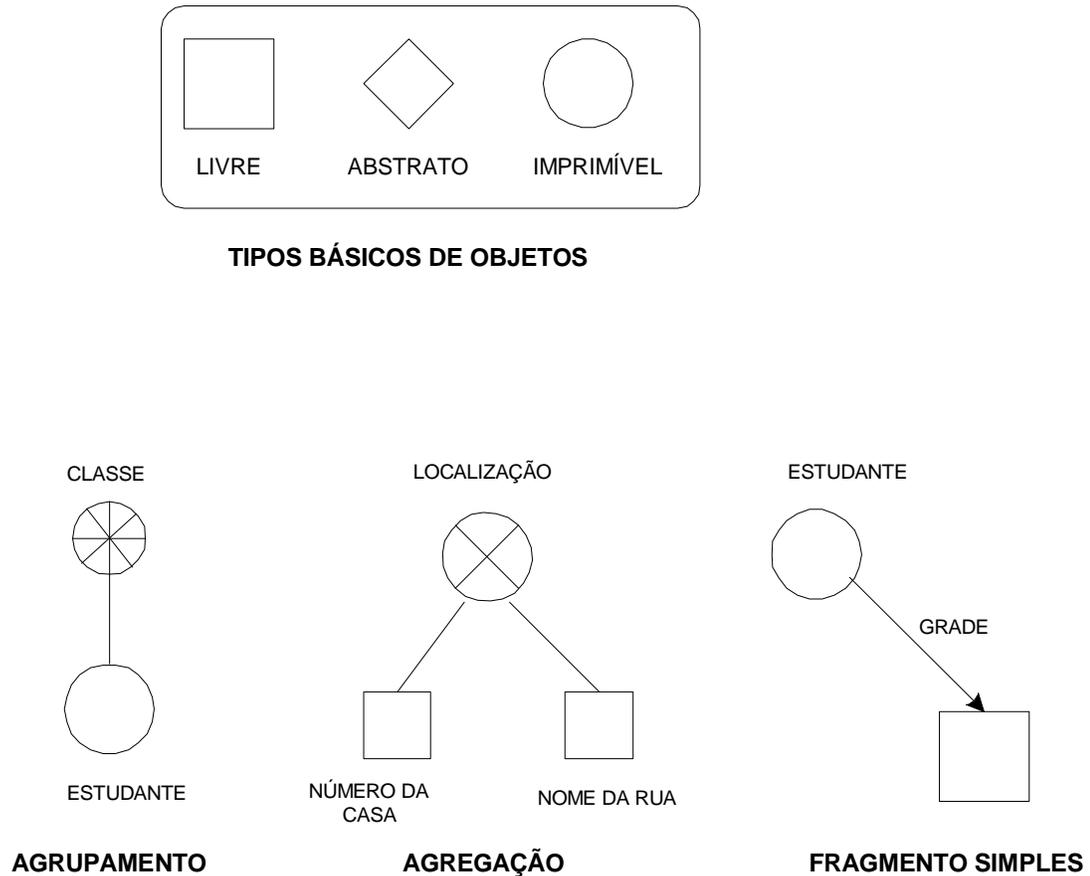


Figura 4 – Notação do Modelo IFO

4.2.3 Object Modeling Technique (OMT)

Rumbaugh *et al.* [RBPE91] propuseram um método de projeto orientado a objetos chamado Técnica de Modelagem de Objetos (*Object Modeling Technique - OMT*). Ele é dividido em três fases: análise, projeto e implementação. Como a fase de análise se ocupa da modelagem do mundo real, apenas ela será referenciada nesta seção.

Dentro da fase de análise, existem três modelos: o *modelo de objetos*, o *modelo dinâmico* e o *modelo funcional*. O *modelo de objetos* captura a estrutura estática dos objetos do sistema, mostrando as classes, os relacionamentos existentes entre as classes e os atributos, as operações que caracterizam cada classe, e ainda restrições. Apenas o modelo de objetos será referenciado nesta seção. As definições apresentadas são baseadas em [RBPE91, Rumb96, Ceza97].

Um *objeto* é uma abstração que representa elementos do universo de discurso da aplicação, que podem ser reais como uma pessoa ou abstratos como uma conferência. Cada objeto possui uma identidade que o distingue pela sua própria existência e não pelas propriedades descritivas que ele possa ter. Uma *classe de objetos* descreve um conjunto de objetos com atributos comuns, o mesmo comportamento (operações) e a mesma semântica. As classes são representadas graficamente por retângulos divididos em três partes contendo o nome da classe na parte superior, a lista de atributos na parte do meio e a lista de operações na parte inferior (ver Figura 5). *Atributos* são propriedades dos objetos na classe podendo ser *básicos* ou *derivados*. Atributos derivados são calculados a partir de outros atributos. A apresentação dos atributos é opcional em diagramas. Uma *operação* é uma ação que pode ser aplicada a um objeto, isto é, é uma função ou transformação sobre o objeto. Cada operação pode possuir uma *lista de argumentos*, que é uma seqüência de atributos e suas respectivas classes, e opcionalmente, podem retornar um valor de um certo tipo de dado como *resultado*.

O relacionamento entre objetos e classes é feito através de *ligações* e *associações*. Uma instância de associação é chamada de ligação de objetos. Cada associação é referenciada pelo seu *nome*. O número de classes participantes na associação define seu *grau*. Usam-se *papéis* em associações para qualificar a participação de cada classe relacionada. Eles são obrigatórios para associações onde uma classe participa mais de uma vez. As *associações* podem ser binárias (grau 2), ternárias (grau 3) ou de maior ordem. A notação utilizada para representar a cardinalidade se encontra na Figura 5.

Uma *generalização* é um relacionamento entre classes que produz uma hierarquia: uma ou mais de classes generalizam-se em uma classe de nível mais alto. As classes de nível mais baixo são chamadas de *subclasses* e a classe de nível mais alto é chamada *superclasse*. A *herança* é o mecanismo de compartilhamento de características utilizando o relacionamento de *generalização*. As subclasses herdam os atributos, operações, associações e agregações de sua superclasse. Cada subclasse pode acrescentar suas próprias características. Não existe distinção entre *generalização* e *especialização* já que são dois diferentes pontos de vista do mesmo relacionamento. Na *especialização* as subclasses refinam ou especializam a superclasse. Cada *generalização* pode ter um *discriminador* associado, indicando qual propriedade está sendo abstraída pelo relacionamento de *generalização*. Uma *generalização* pode ser *disjunta* ou *sobreposta*. A *generalização* é *disjunta* quando uma instância de uma superclasse é

membro de uma e somente uma das subclasses. Ela será *sobreposta* quando uma instância da superclasse for membro de uma ou mais subclasses.

A *agregação* é um modo de associação onde um objeto agregado é feito de objetos componentes. A agregação é também chamada de relacionamento “parte_de”. A notação dos principais construtores gráficos usados no OMT encontram-se na Figura 5. Uma descrição completa do modelo pode ser obtida em [RBPE91, Rumb96].

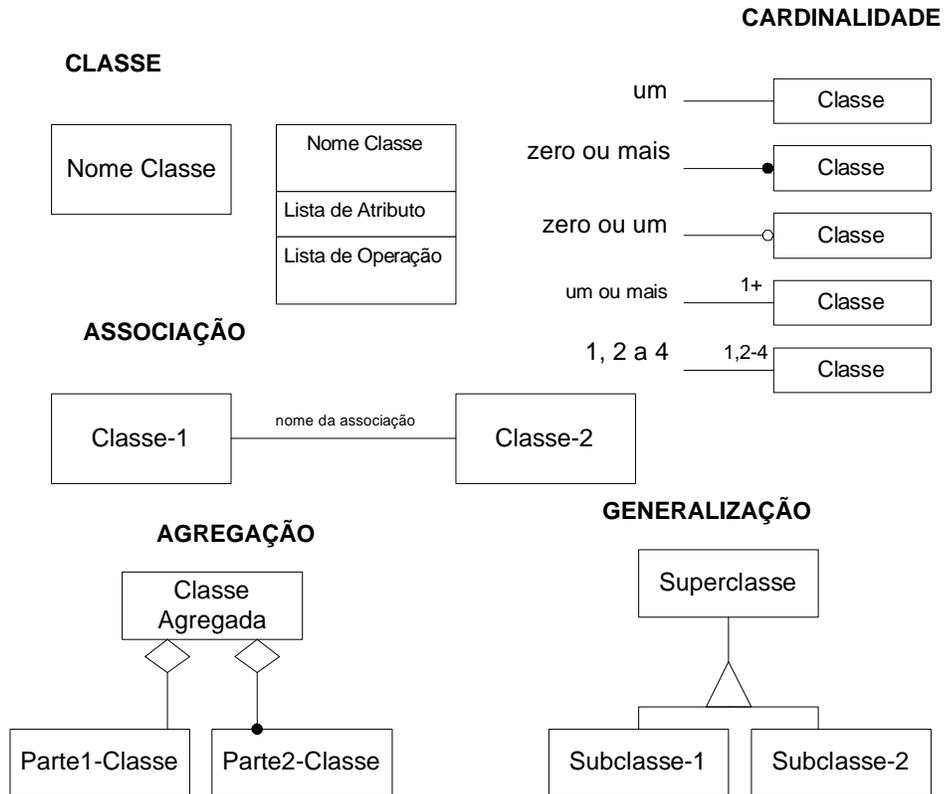


Figura 5 - Construtores Mais Comuns do Modelo OMT

4.2.4 Object-Oriented Analysis Method (OOA)

O método de análise orientada a objetos foi proposto por Peter Coad e Edward Yourdon [CoYo91]. É um método destinado primariamente ao desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de informações. O método possui um processo bem definido, cobrindo análise e o projeto. A fase de análise é baseada no desenvolvimento de uma forma estendida do modelo entidade-relacionamento, denominada modelo OOA. O método OOA será descrito de maneira genérica a seguir.

O método consiste em cinco níveis:

- *Assunto* – Um *assunto* contém classes que podem conter outros assuntos. Em projetos pequeno, os assuntos servem como um mecanismo para orientação do leitor através do modelo OOA. Já em projetos grandes, os assuntos são muito úteis na divisão do domínio do problema em sub-domínios, organizando pacotes de trabalho.
- *Classe e Objeto* – Uma *classe* descreve uma coleção de objetos através de um *conjunto* uniforme de atributos e serviços, incluindo uma descrição de como criar novos objetos na classe. Um *objeto* é uma abstração de algo do domínio do problema.
- *Estrutura* – O método OOA chama de estrutura as primitivas para representação de generalização/especialização e agregação. A estrutura de Generalização-especialização caracteriza a herança na hierarquia entre classes e a estrutura *Todo-parte* (agregação) modela os objetos como parte de outros objetos.
- *Atributo* - Este nível fornece detalhes de informação sobre os objetos. Atributos descrevem valores mantidos em um objeto e que devem ser manipulados exclusivamente pelos *serviços* desse objeto. Conexões de instâncias refletem o relacionamento entre objetos.
- *Serviço* – Um *Serviço* (método, operação) é um comportamento específico que um objeto é responsável por exibir. *Conexões de Mensagens* modelam as dependências de processamento de um objeto, indicando quais serviços ele precisa para cumprir suas responsabilidades.

A primeira fase do método consiste na identificação de *classes* e *objetos*, visando exprimir o domínio do problema e as responsabilidades do sistema. A próxima etapa identifica as estruturas: *Generalização/especialização* e *Todo-parte*. A partir daí são identificados os *assuntos*. No modelo OOA, o conceito de assunto é usado para o controle da visibilidade e orientação do leitor ajudando a rever o esquema e resumindo sucintamente os assuntos no domínio do problema. O próximo passo é a identificação dos *atributos* e o último passo é a definição dos *serviços*. A Figura 6 apresenta a representação gráfica das primitivas do modelo OOA. Maiores detalhes do OOA podem ser encontrados em [CoYo91].

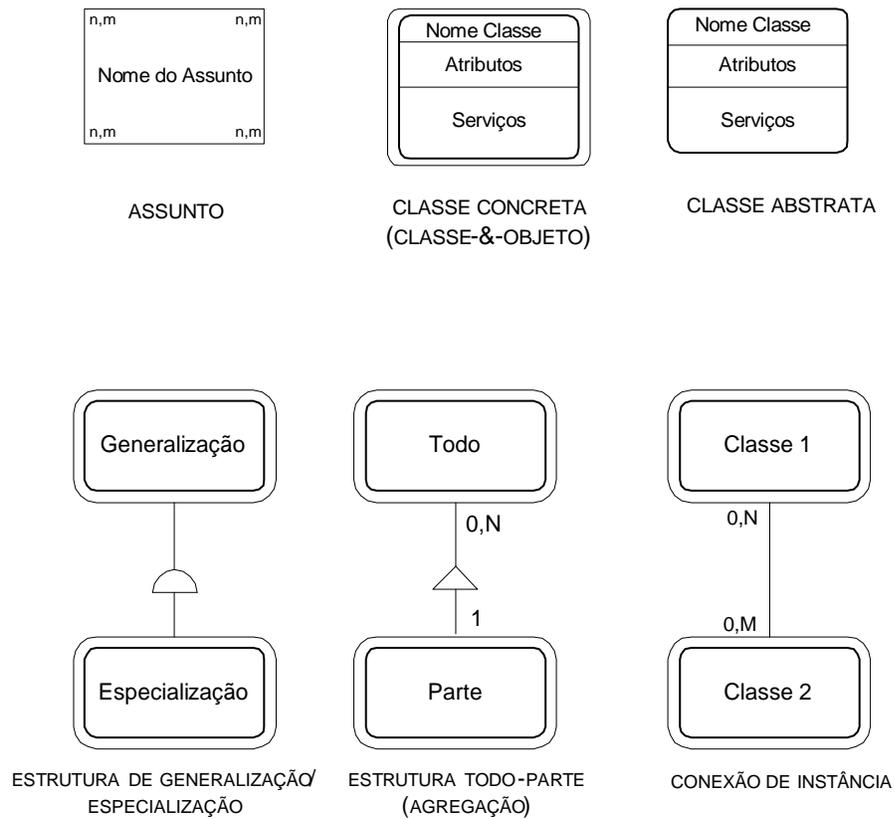


Figura 6 - Principais Construtores do Modelo OOA

4.3 MODELOS DE DADOS GEOGRÁFICOS

Modelos de dados semânticos e orientados a objetos, tais como ER [Chen76], OMT [RBPE91], IFO [AbHu87] e outros, têm sido largamente utilizados para a modelagem de aplicações geográficas. Apesar da grande expressividade desses modelos, eles apresentam limitações para a adequada modelagem dessas aplicações, já que não possuem primitivas geográficas apropriadas para a representação de dados espaciais.

Modelos de dados para as aplicações geográficas têm necessidades adicionais, tanto com relação à abstração de conceitos e entidades, quanto ao tipo de entidades representáveis e seu inter-relacionamento. Diversas propostas existem atualmente, principalmente focalizadas em estender os modelos criados para aplicações convencionais como GeoOOA [KÖPS96], MODUL-R [BCMM96], GMOD [OlPM97], MGeo⁺ [Pime95], IFO para aplicações geográficas [woHM90], GISER [SCGL97], Geo-OMT [Borg97]. Todos eles objetivam refletir melhor as

aplicações geográficas. No entanto, antes de adotar qualquer um deles, convém observar os níveis de abstração dos dados geográficos, os requisitos de um modelo de dados geográficos e finalmente, se o que se pretende modelar poderá ser claramente representado no modelo escolhido.

4.3.1 Níveis de Abstração de Dados Geográficos

Os modelos de dados podem variar de acordo com o nível de abstração empregado. Câmara et al. [CCHM96] especificam quatro níveis de abstração utilizados nas aplicações geográficas:

- *Nível do mundo real* - Contém os fenômenos geográficos a serem representados como, rios, cidades e vegetação.
- *Nível conceitual* - Oferece um conjunto de conceitos formais para modelar as entidades geográficas, em um alto nível de abstração. Este nível determina as classes básicas (contínuas e discretas) que serão criadas no banco de dados.
- *Nível de representação* - As entidades formais definidas no nível conceitual (classes de campos e objetos) são associadas às classes de representação espacial. As diferentes representações geométricas podem variar conforme a escala, a projeção cartográfica escolhida ou a visão do usuário. O nível de representação não tem correspondente na metodologia tradicional de banco de dados já que aplicações convencionais raramente lidam com o problema de múltipla representação.
- *Nível de implementação* - Define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar cada tipo de representação.

Para Lisboa [Lisb97], essa divisão em níveis torna evidente que a dicotomia entre visão de campos e objetos é considerada nos níveis conceitual e de representação, e a dicotomia entre estruturas vetoriais e matriciais é uma questão inerente ao nível de implementação. Encontra-se em [Lisb97] uma comparação entre os níveis de especificação de aplicações geográficas e as etapas de projeto de banco de dados (conceitual, lógico e físico). Para Lisboa, a comparação leva a compreender que cada etapa do projeto de um banco de dados geográfico é mais complexa que as respectivas etapas do projeto de um banco de dados convencional.

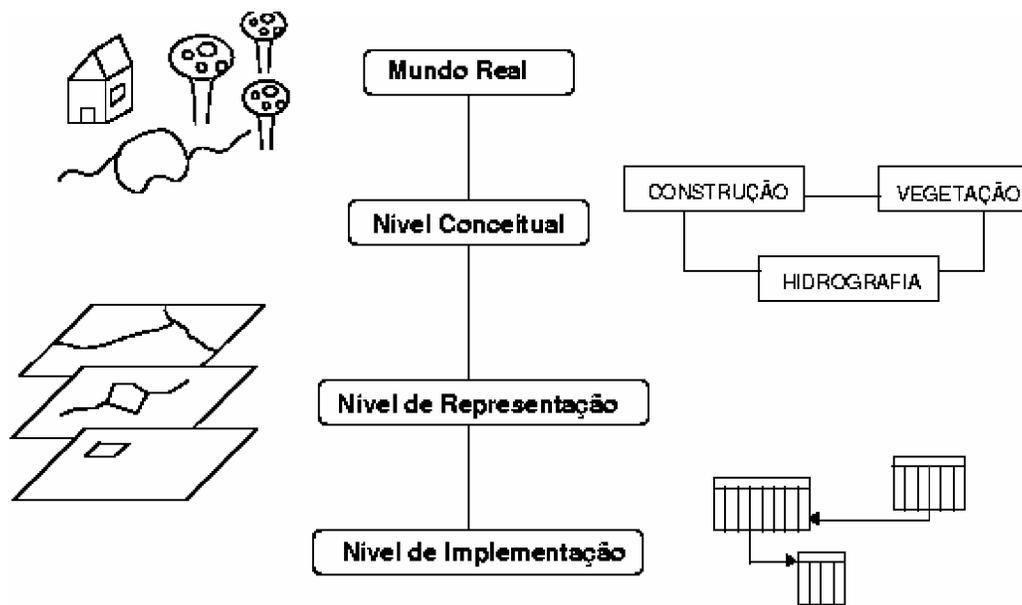


Figura 7 - Níveis de especificação de aplicações geográficas

4.3.2 Requisitos de um Modelo de Dados Geográficos

Considerando os fatores associados à representação da realidade geográfica e, com base na experiência de modelagem de aplicações geográficas de Belo Horizonte e nos trabalhos de [OlPM97, KöPS96, BCM96, Lisb97, BoFo96, PeBS97, CaBe93, SCGL97, CFSC94], relacionamos a seguir um conjunto de requisitos necessários a um modelo de dados voltado para aplicações geográficas.

Um modelo de dados para aplicações geográficas deve:

- fornecer um alto nível de abstração;
- representar e diferenciar os diversos tipos de dados envolvidos nas aplicações geográficas, tais como ponto, linha, área, imagem, etc.;
- representar tanto as relações espaciais e suas propriedades como também as associações simples e de rede;
- ser capaz de especificar regras de integridade espacial;
- ser independente de implementação;
- suportar classes georreferenciadas e classes convencionais, assim como os relacionamentos entre elas;

- ser adequado aos conceitos natos que o ser humano tem sobre dados espaciais, representando as visões de campo e de objetos;
- ser de fácil visualização e compreensão;
- utilizar o conceito de níveis de informação, possibilitando que uma entidade geográfica seja associada a diversos níveis de informação;
- representar as múltiplas visões de uma mesma entidade geográfica, tanto com base em variações de escala, quanto nas várias formas de percebê-las;
- ser capaz de expressar versões e séries temporais, assim como relacionamentos temporais.

4.4 MODELO GEO-OMT

Observando os aspectos considerados quanto à complexidade das aplicações geográficas e os requisitos desejáveis para um modelo de dados geográfico foi proposto o modelo Geo-OMT. Nele estão agrupados de forma unificada as primitivas geográficas propostas por diversos autores [KÖPS96, PeBS97, BCMM96, OlPM97, CaBe93, SCGL97, KaCh95, AbCa94, Cama95, CCHM96], além de introduzir novas primitivas que suprem algumas deficiências percebidas, como por exemplo, a representação de múltiplas visões das entidades geográficas. A opção de estender o modelo de objetos OMT [RBPE91], se deu devido à sua capacidade de representar os aspectos semânticos de uma aplicação, em função de adotar a abordagem de orientação a objetos e, também, devido ao seu amplo uso na modelagem de aplicações geográficas [Lio96, AbCa94, Tisa94, BCMM96, OlPM97, Benn96, Reno97].

A partir das primitivas do modelo OMT convencional, foram introduzidas primitivas geográficas que aumentam sua capacidade semântica, diminuindo a distância entre o modelo mental do espaço a ser modelado e o modelo de representação normalmente utilizado. Destacam-se no modelo a sua expressividade gráfica e a sua capacidade de representação, já que considerações textuais são substituídas por relacionamentos explícitos (ver seção 1.8.5), representando a dinâmica de interação entre os vários objetos de natureza espacial ou não. Conforme [Nava92], a idéia fundamental ao se estender um modelo de dados é enriquecê-lo, de maneira a torná-lo capaz de suportar novos conceitos de abstração.

4.4.1 Características do modelo Geo-OMT

O modelo Geo-OMT apresenta as seguintes características:

- segue o paradigma de orientação a objetos suportando os conceitos de classe, herança, objeto complexo e método;

- representa e diferencia os diversos tipos de dados envolvidos nas aplicações geográficas, fazendo uso de uma representação simbólica que possibilita a percepção imediata da natureza do dado, eliminando assim, a extensa classe de hierarquias utilizada para representar a geometria e a topologia dos objetos espaciais;
- fornece uma visão integrada do espaço modelado, representando e diferenciando classes com representação gráfica (georreferenciadas) e classes convencionais (não-espaciais), assim como os diferentes tipos de relacionamento entre elas;
- caracteriza as classes em contínuas e discretas, utilizando os conceitos de “visão de campos” e “visão de objetos” introduzidos por Goodchild [FrGo90, Good92];
- representa a dinâmica da interação entre os vários objetos, explicitando tanto as relações espaciais como as associações simples;
- representa as estruturas topológicas “todo-parte” e de rede;
- formaliza as possíveis relações espaciais, levando em consideração a forma geométrica da classe;
- traduz as relações topológicas e espaciais em restrições de integridade espaciais;
- representa os diversos fenômenos geográficos, utilizando conceitos natos que o ser humano tem sobre dados espaciais;
- possibilita a representação de múltiplas visões de uma mesma classe geográfica, tanto baseada em variações de escala, quanto nas várias formas de se perceber o mesmo objeto no mundo real;
- é de fácil visualização e entendimento, pois utiliza basicamente os mesmos tipos construtores definidos no modelo OMT;
- não utiliza o conceito de camadas e sim o de níveis de informação (temas), não limitando o aparecimento de uma classe geográfica em apenas um nível de informação;
- é independente de implementação.

O modelo Geo-OMT é baseado em três conceitos principais: *classes*, *relacionamentos* e *restrições de integridade espaciais*. Nas seções seguintes esses conceitos serão detalhados.

4.4.2 Classes Básicas

O modelo Geo-OMT trabalha no nível conceitual/representação e suas classes básicas são: *Classes Georreferenciadas* e *Classes Convencionais* (Figura 18). Através dessas classes são representados os três grandes grupos de dados (contínuos, discretos e não-espaciais) encontrados nas aplicações geográficas, proporcionando assim, uma visão integrada do espaço modelado, o que é muito importante na modelagem principalmente de ambientes urbanos.

Uma *Classe Georreferenciada* descreve um conjunto de objetos que possuem representação espacial e estão associados a regiões da superfície da terra [Cama95], representando a visão de campos e de objetos proposta por Goodchild [FrGo90, Good92].

Uma *Classe Convencional* descreve um conjunto de objetos com propriedades, comportamento, relacionamentos, e semântica semelhantes, e que possuem alguma relação com os objetos espaciais, mas que não possuem propriedades geométricas. Um exemplo desse tipo de classe é a que define os proprietários de imóveis cadastrados para fins de tributação (IPTU), e que possuem relação de propriedade com os lotes e edificações presentes no banco de dados geográfico.

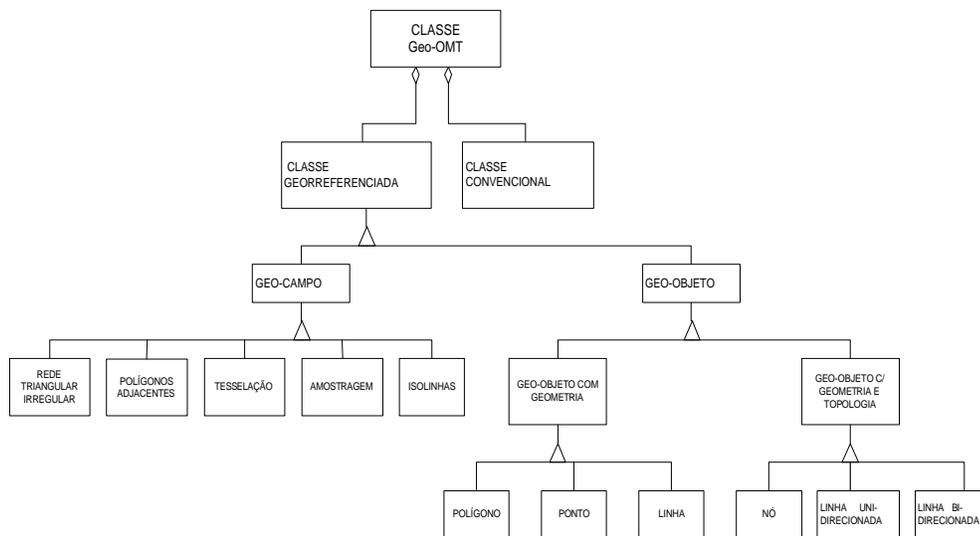


Figura 18- Meta Modelo Parcial do Modelo Geo-OMT

A distinção entre classes convencionais e classes georreferenciadas permite que diferentes aplicações possam compartilhar dados não-espaciais, auxiliando no desenvolvimento dessas aplicações e na reutilização dos dados [OlPM97].

Tanto as classes georreferenciadas como as classes convencionais podem ser especializadas, utilizando o conceito de herança da orientação a objetos. O modelo Geo-OMT formaliza a especialização das *Classes Georreferenciadas* em classes do tipo *Geo-Campo* e *Geo-Objeto*.

As classes do tipo *Geo-Campo* representam objetos distribuídos continuamente pelo espaço, correspondendo a grandezas como tipo de solo, topografia e teor de minerais [Cama95].

As classes do tipo *Geo-Objeto* representam objetos geográficos individualizáveis, que possuem identificação com elementos do mundo real, como lotes, rios e postes. Esses objetos podem ter ou não atributos não-espaciais, e podem estar associados a mais de uma representação geométrica, dependendo da escala em que é representado, ou de como ele é percebido pelo usuário. Por exemplo, um usuário encarregado do gerenciamento de trânsito verá a rua como uma rede direcionada, representando vias de mão simples e dupla; um usuário encarregado do cadastro da cidade, interessado em conhecer os proprietários dos lotes, verá a rua como o espaço entre os meios-fios.

Todas as subclasses georreferenciadas apresentam uma representação simbólica, construindo assim um sistema semântico onde cada símbolo possui significado próprio que incorpora a sua natureza e a geometria.

A inclusão de símbolos geométricos nas classes de entidades geográficas, em substituição aos relacionamentos que descrevem a geometria do objeto, simplifica significativamente o esquema final e de acordo com a semiologia gráfica [Bert67], a linguagem visual é mais intuitiva e expressiva proporcionando uma percepção imediata do conteúdo analisado. Representações gráficas que exigem demorada leitura tornam-se ineficazes. Portanto, o uso desse tipo de abstração, além de eliminar pelo menos um relacionamento por classe gráfica, elimina a necessidade de modelar a estrutura de dados geométrica¹ que descreve a classe [BePa89].

Os pictogramas de um *Geo-objeto* estão exemplificados na Figura 19. O ponto representa um símbolo como por exemplo uma árvore, a linha representa segmentos de reta formados por uma linha simples, um arco ou por uma polilinha (ex. muro, trecho de rua, trecho de circulação) e o polígono representa uma área (ex. edificação, lote).

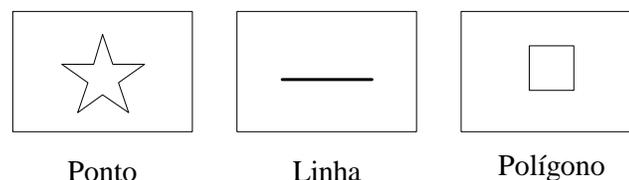


Figura 19 - Pictogramas da Classe *Geo-Objeto*

Nas aplicações urbanas, esta simplificação pode ser facilmente percebida devido à grande quantidade de entidades do mundo real presentes em um esquema da aplicação.

Na Figura 20 está exemplificada a *simplificação por substituição simbólica*. Uma rua possui pelo menos um trecho, que é definido por pelo menos dois pontos. A quadra é um polígono,

¹ A estrutura de dados geométrica depende da técnica de implementação de cada SIG.

definido pelo menos por três segmentos. Com a substituição simbólica, o nível de abstração é bem mais elevado. O trecho passa a ser visto como um objeto linha e a quadra como um polígono. O fato do trecho ser definido por dois pontos já é parte da sua definição geométrica. A definição simbólica da quadra já identifica que é um polígono formado por pelo menos três segmentos e que cada segmento possui dois vértices.

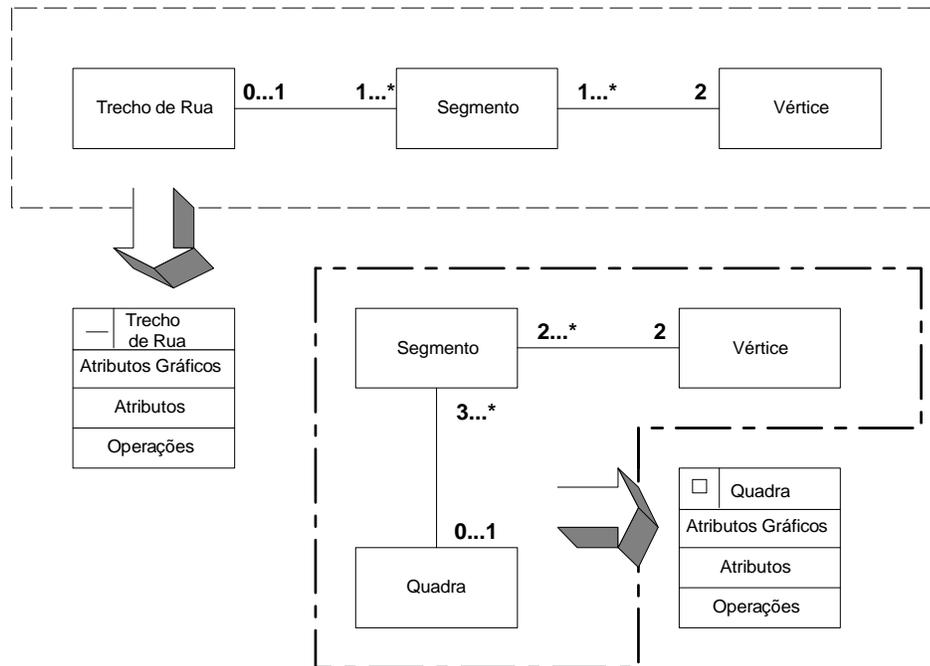


Figura 20 - Exemplo de Simplificação por Substituição Simbólica

Além das vantagens acima citadas, o uso da simbologia tornam mais claras e consistentes as relações espaciais entre as classes. Por exemplo, o uso da relação “dentro de” implica que uma das classes do relacionamento seja do tipo Polígono ou Polígono Adjacente.

Uma *Classe Georreferenciada* é representada graficamente por um retângulo, subdividido em quatro partes. A parte superior contém à direita o nome da classe e à esquerda o símbolo representando a forma gráfica da *Classe Georreferenciada*. Na segunda parte, aparece a lista dos atributos gráficos na terceira parte, a lista dos atributos alfanuméricos (quando existirem) e, na última parte, a lista das operações que são aplicadas à classe. Uma *Classe Georreferenciada* poderá conter ou não atributos alfanuméricos. No entanto, terá sempre o atributo gráfico de localização. Uma representação simplificada poderá ser utilizada,

considerando apenas uma subdivisão do retângulo, contendo o nome da classe e a sua representação simbólica (Figura 20a).

A notação gráfica utilizada para *Classes Convencionais* corresponde à notação usada no modelo OMT [RBPE91, Rumb96]. Uma classe é representada graficamente por um retângulo subdividido em três partes contendo, respectivamente, o nome da classe, a lista dos atributos alfanuméricos e a lista das operações que são aplicadas à classe. A forma simplificada utilizada é o retângulo contendo apenas o nome da classe (Figura 20b).

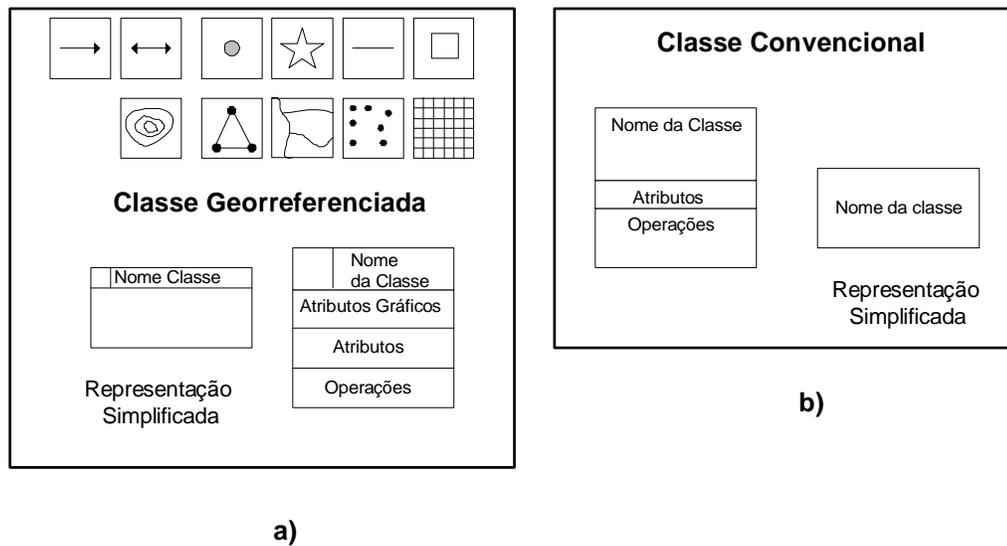


Figura 20 - Notação Gráfica das Classes Básicas

Todo esquema de uma aplicação deve conter a classe que representa o domínio espacial a ser modelado. Ela deverá vir localizada na parte mais alta do esquema, em posição destacada, podendo conter atributos gráficos como sistema de coordenadas, projeção cartográfica e *datum*. Todas as classes modeladas no esquema estarão totalmente contidas nela. Sua existência poderá ser real, como na modelagem de municípios onde a divisa de cada município é um polígono que envolve todo o espaço modelado, ou poderá ser abstrata, apenas representando a delimitação do espaço modelado, como por exemplo, nos casos de municípios que além da parte territorial possuem ilhas.

4.4.3 Geo-Campo

Por representar a distribuição espacial contínua de um fenômeno geográfico sobre o espaço, qualquer posição no espaço geográfico considerado deverá corresponder a algum valor da

variável representada, obedecendo ao princípio do “*planar enforcement*” [Good92] (restrição de preenchimento do plano).

Um exemplo de *Geo-Campo* são as curvas de nível. Qualquer ponto na superfície modelada possui uma cota. Enfocando não só o aspecto ambiental, mas também o urbano, um outro exemplo são as subdivisões territoriais que abrangem todo um município (Figura 21).

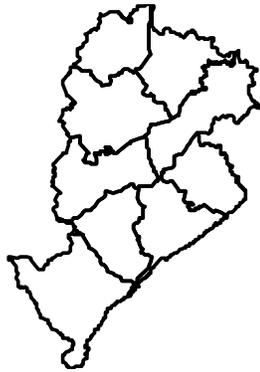


Figura 21 - Administrações Regionais de Belo Horizonte

O modelo Geo-OMT possui cinco classes do tipo *Geo-Campo*: *Isolinhas*, *Polígonos Adjacentes*, *Tesselação*, *Amostragem* e *Rede Triangular Irregular*. Cada uma dessas classes possui um padrão simbólico de representação (Figura 22).

De acordo com os níveis de especificação de aplicações geográficas, a especialização da classe *Geo-Campo* corresponde ao nível de representação.

Rede Triangular Irregular	Isolinha	Polígonos Adjacentes	Tesselação	Amostragem
 Nome da Classe	 Nome da Classe	 Nome da Classe	 Nome da Classe	 Nome da Classe
Atributos Gráficos				
Atributos	Atributos	Atributos	Atributos	Atributos
Operações	Operações	Operações	Operações	Operações
Ex: TIN	Ex: Curvas de Nível	Ex: Divisão de Bairros	Ex: Imagem de Satélite	Ex: Pontos Cotados

Figura 22 - Geo-Campos

As subclasses da classe *Geo-Campo* são as seguintes:

- *Subclasse Amostragem* - Representa uma coleção de pontos regular ou irregularmente distribuídos por todo o espaço geográfico. Exemplo: estações de medição de temperatura, modelos numéricos de terreno ou pontos cotados em levantamentos altimétricos de áreas urbanas (Figura 22).
- *Subclasse Isolinhas* - Representa uma coleção de linhas fechadas que não se cruzam nem se tocam (aninhadas). Cada instância da subclasse contém um valor associado. Exemplo: curvas de nível, curvas de temperatura e curvas de ruído. Deve-se observar que o fechamento das isolinhas sempre ocorrerá quando se considera o espaço geográfico como um todo, no entanto, na área em que se está modelando isto poderá não ocorrer (Figura 22).
- *Subclasse Polígonos Adjacentes* - Representa o conjunto de subdivisões de todo o domínio espacial em regiões simples que não se sobrepõem e que cobrem completamente este domínio. Exemplo: tipos de solo, divisão de bairros, divisões administrativas e divisões temáticas (Figura 22).
- *Subclasse Tesselação* - Representa o conjunto das subdivisões de todo o domínio espacial em células regulares que não se sobrepõem e que cobrem completamente este domínio. Cada célula possui um único valor para todas as posições dentro dela. Exemplo: imagem de satélite (Figura 22).
- *Subclasse Rede triangular Irregular* - representa o conjunto de grades triangulares de pontos que cobrem todo o domínio espacial. Um exemplo de rede triangular irregular é visto em modelagem de terreno (TIN - rede irregular triangularizada.) (Figura 22)

4.4.4 *Geo-Objeto*

Classes do tipo *Geo-Objeto*: *Geo-Objeto com Geometria* e *Geo-Objeto com Geometria e Topologia*. Cada uma dessas classes possui um padrão simbólico de representação representado na figura 23.

Uma classe do tipo *Geo-Objeto com Geometria* representa objetos que possuem apenas propriedades geométricas (Ponto, Linha e Polígono) e é especializada em classes do tipo Ponto, Linha e Polígono. Exemplos desta classe são, respectivamente, ponto de ônibus, trecho de logradouro e quadras.

Uma classe do tipo *Geo-Objeto com Geometria e Topologia* representa objetos que possuem, além das propriedades geométricas, propriedades topológicas de *conectividade*, sendo representados por nós e segmentos orientados. É especializada em classes do tipo Nó, Linha Uni-direcionada e Linha Bi-direcionada. Exemplos desta classe são as redes de malha viária, de água e esgoto. Os segmentos orientados traduzem o sentido do fluxo da rede, se uni-direcional ou bi-direcional, dando mais semântica à representação. “Alguns tipos de aplicações (ex.: rede

de água, redes viárias, cadastro urbano, etc.) possuem características, onde os relacionamentos do tipo *conectividade* e *adjacência* são fundamentais. Alguns SIGs oferecem suporte ao armazenamento desses tipos de relacionamentos, porém, no nível conceitual é importante que o projetista consiga representá-los” [LiIo96].

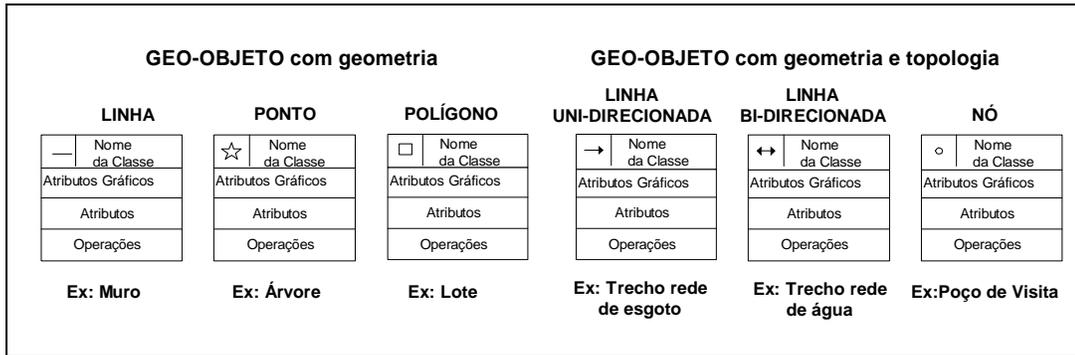


Figura 23- Geo-Objetos

As subclasses da classe *Geo-Objetos* são as seguintes:

- *Subclasse Polígono* - representa objetos de área, podendo aparecer conectada, como lotes dentro de uma quadra, ou isolado, como a representação de uma ilha (Figura 23).
- *Subclasse Ponto* - representa objetos pontuais, que possuem um único par de coordenadas (x, y). Na representação do mobiliário urbano é freqüente o uso de símbolos, como por exemplo na representação de postes, orelhão, hidrante, etc (Figura 23).
- *Subclasse Linha* - representa objetos lineares sem exigência de conectividade. Como exemplo podemos citar a representação de muros, cercas e meio-fios (Figura 23).
- *Subclasse Nó* - representa os objetos pontuais no fim de uma linha, ou os objetos pontuais nos quais as linhas se cruzam (nó do grafo). Possui a propriedade de conectividade, garantindo a conexão com a linha. Exemplos de nó podem ser vistos na modelagem de redes. Por exemplo, o poço de visita na rede de esgoto ou o cruzamento (interseção de vias) na malha viária (Figura 23).
- *Subclasse Linha Uni-direcionada* - representa objetos lineares que começam e terminam em um nó e que possuem uma direção (arco do grafo orientado). Cada linha deve estar conectada a dois nós ou a outra linha uni-direcionada. Como exemplo podemos citar trechos de uma rede de esgoto, que indicam a direção do fluxo da rede (Figura 23).
- *Subclasse Linha Bi-direcionada* - representa objetos lineares que começam e terminam em um nó e que são bi-direcionados. Cada linha bi-direcionada deve estar conectada a dois nós ou a outra linha bi-direcionada. Como exemplo podemos citar trechos de uma rede de água, onde

a direção do fluxo pode ser nos dois sentidos dependendo do controle estabelecido (Figura 23).

As instâncias da classe *Geo-Objeto* não obedecem ao princípio do “*planar enforcement*” [Good92], podendo estar disjuntas no espaço ou ocupando o mesmo lugar, como é o caso de um poste com um semáforo de pedestre e uma placa de sinalização.

A Figura 24 exemplifica o uso da notação gráfica de classes do tipo *Georreferenciadas* e *Convencionais*. O esquema mostra parte de uma aplicação de transporte coletivo, onde a classe Divisa Municipal estabelece o espaço modelado. A classe Linha de Ônibus se relaciona com a classe Ponto de Ônibus. Cada Ponto de Ônibus é localizado em frente a um endereço de imóvel podendo estar próximo ou dentro de um local de referência da cidade. Pela notação utilizada, fica explícito que a Linha de Ônibus é uma classe *convencional*, o Ponto de Ônibus e o endereço são classes de *Geo-Objetos* do tipo Ponto e a Área de Referência é uma Classe de *Geo-Objeto* do tipo Polígono. A Classe Divisa Municipal é um *Geo-Campo* do tipo Polígono Adjacente.

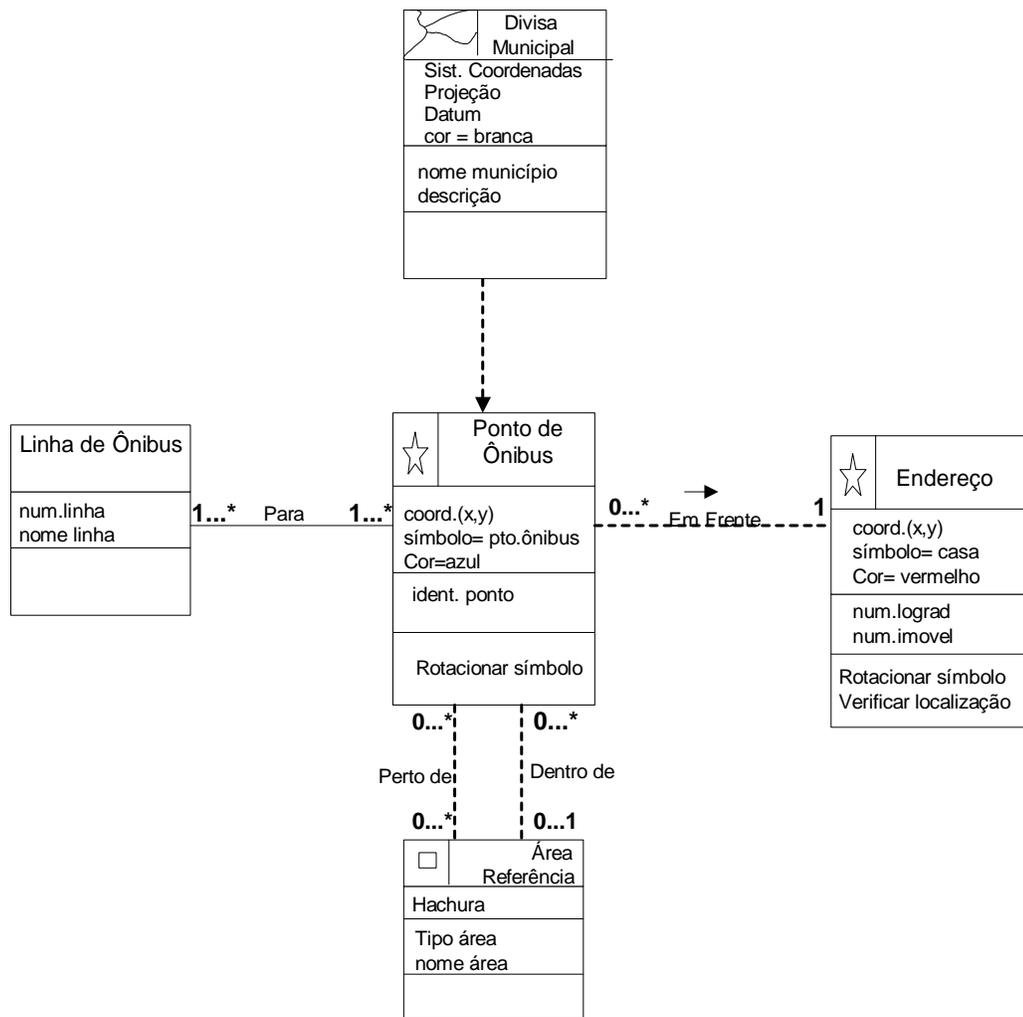


Figura 24 - Exemplo de Classes do Tipo Geo-Objeto

4.4.5 Relacionamentos

Segundo [OLPM97], um problema existente na maioria dos modelos de dados é o fato deles ignorarem a possibilidade de modelagem dos relacionamentos entre fenômenos do mundo real. Considerando a importância das relações espaciais e não espaciais na compreensão do espaço modelado, o modelo Geo-OMT representa os seguintes tipos de relacionamentos entre suas classes: associações simples, relações topológicas de rede e relações espaciais.

As associações simples representam relacionamentos estruturais entre objetos de diferentes classes, tanto convencionais como georreferenciadas. A instância individual de uma associação

é chamada *link*. Muitas associações são binárias, sendo representadas por uma linha contínua ligando duas classes [RBPE91, Rumb96] (Figura 25a). Uma associação pode ter sobre o seu nome uma seta mostrando qual o sentido da relação. Algumas associações podem ter atributos próprios.

As relações espaciais representam as relações topológicas, métricas, ordinais² e *fuzzy*. Algumas relações podem ser calculadas a partir das coordenadas de cada objeto durante a execução das operações de análise espacial. As relações topológicas são exemplos deste caso. Outras necessitam ser especificadas pelo usuário para que o sistema consiga manter estas informações. Estas relações são chamadas de *explícitas* [Peuq84 apud Lisb97]. A representação dessas relações no modelo Geo-OMT têm por objetivo tornar explícita a interação espacial entre as classes quando for relevante para o propósito da aplicação.

Todas as relações espaciais são representados por linhas pontilhadas (Figuras 24 e 25b). Um caso particular de relação espacial é a *hierarquia espacial*. Através dessa relação a classe que representa o domínio espacial é conectada às demais subdivisões espaciais (Figuras 24 e 25c). Esta relação também pode ser utilizada na relação entre classes do tipo *Geo-campo* com classes do tipo *Geo-Objeto*, onde terão sempre uma conotação de hierarquica espacial já que, toda classe do tipo *Geo-Objeto* estará distribuída sobre classes do tipo *Geo-Campo*. A Figura 26 representa que qualquer ponto dentro de um lote tem um valor altimétrico associado.

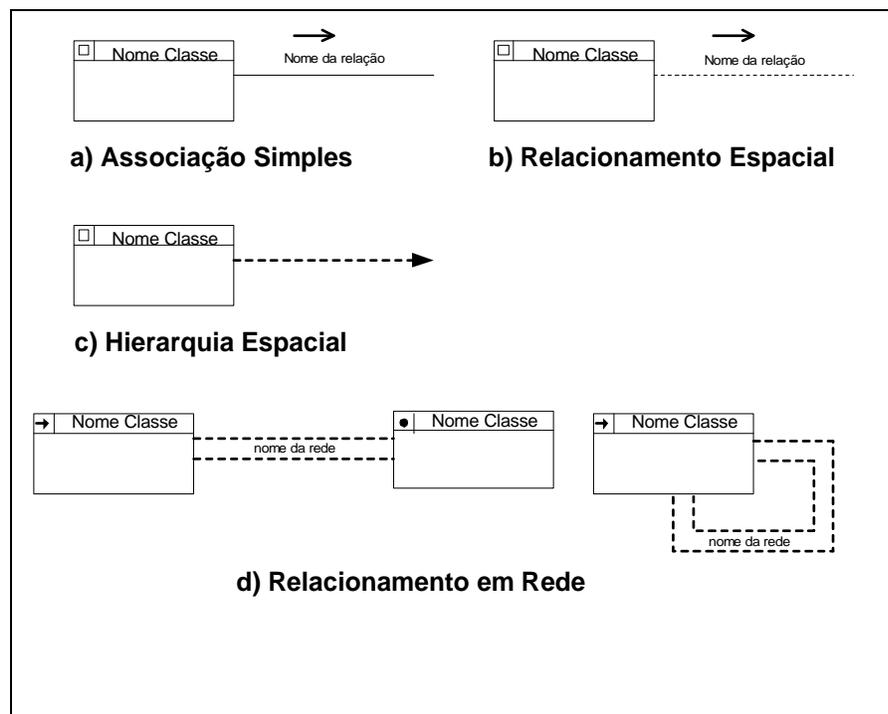


Figura 25 - Relacionamentos

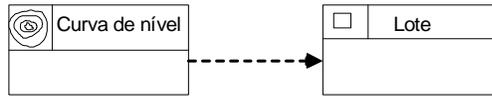


Figura 26 - Relação entre Geo-Campo e Geo-Objeto

As relações em rede são relações que podem ser mantidas através de estruturas de dados dos SIGs, sendo representadas por nós e arcos conectados.

As relações em rede são representadas por duas linhas pontilhadas paralelas ligando classes do tipo Nó com classes do tipo Linha Uni ou Bi-direcionada. Estruturas de rede sem nó, apresentarão um relacionamento recursivo na classe que representa os segmentos do grafo. O nome dado à rede deverá estar entre as linha pontilhadas (Figura 25d).

Os nomes das relações espaciais estão formalizados abaixo e, conforme dito anteriormente, poderão ser seguidos por uma seta indicando a origem da relação. Exemplificando melhor, citamos o caso de lote e rede elétrica. A relação entre as duas classes é *em frente a*. A seta deve ser na direção lote→rede elétrica indicando que a relação é importante quando se está no lote. Em cada instância da classe Lote é necessário saber se existe rede elétrica *em frente* e não na instância de um trecho de rede elétrica saber se existe lote *em frente*. É uma questão de maior clareza semântica.

Baseado em [PaTh97, Free75, EgHe90, Feut93, EgFr91, ClFO93, Cama95, Fran96, MaES95], o modelo Geo-OMT considera as seguintes relações espaciais entre as *Classes Georreferenciadas*: *disjunto*, *contém*, *dentro de (contido)*, *toca (encontra)*, *cobre*, *coberto por*, *sobreposição*, *adjacente*, *perto de*, *acima* (mais alto que sobre), *abaixo* (mais baixo que sob), *sobre*, *sob*, *entre*, *coincide*, *cruza*, *atravessa*, *em frente a*, *à esquerda*, *à direita*. As relações *contém/dentro de (contido)* serão tratadas como um tipo de Agregação Espacial. A seguir daremos, o significado semântico de cada relação espacial.

- *Disjunto* – Não existe nenhum tipo de contato entre as classes relacionadas.
- *Contém* – A geometria da classe que contém envolve a geometria das classes contidas. Uma instância da classe que contém envolve uma ou mais instâncias da(s) classe(s) contida(s). a classe que contém deve ser do tipo *Polígono (Geo-Objeto)* ou *Polígonos Adjacentes (Geo-Campo)*.

² Relações relativas a ordem

- *Dentro de* – Existem instâncias de uma classe qualquer, dentro da (contida na) geometria de instâncias das classes do tipo *Polígono (Geo-Objeto)* ou *Polígonos Adjacentes (Geo-Campo)*. A relação *dentro de* será tratada como uma Agregação Espacial “todo-parte”.
- *Toca* - Existe um ponto (x,y) em comum entre as instâncias das classes relacionadas. Consideramos esta relação um caso particular da relação *adjacente*.
- *Cobre/coberto por* - A geometria das instâncias de uma classe envolve a geometria das instâncias de outra classe. A classe que cobre é sempre do tipo polígono (*Geo-Objeto*).
- *Sobrepõe* - Duas instâncias se sobrepõem quando há uma interseção de fronteiras. Só será usado para relações entre polígonos (*Geo-Objeto*). Apenas parte da geometria é sobreposta.
- *Adjacente* - Utilizado no sentido de vizinhança, ao lado de, contíguo.
- *Perto de* - Utilizado no sentido de proximidade. Deve estar associado a uma distância “d”, que define quanto será considerado perto. Esta distância poderá ser uma distância euclidiana, um raio, um intervalo ou qualquer outra definida pelo usuário.
- *Acima / Abaixo* – *Acima* é mais alto que sobre, e *abaixo* mais baixo que sob. Será considerado *acima* ou *abaixo*, quando as instâncias estiverem em planos diferentes.
- *Sobre / Sob* - Utilizado no sentido de “em cima de” / “em baixo de”, no mesmo plano.
- *Entre* - Utilizado no sentido posicional, enfatizando a localização de uma instância de determinada classe entre duas instâncias de outra classe.
- *Coincide* - Utilizado no sentido de igual. Duas instâncias de classes diferentes que possuem o mesmo tamanho, a mesma natureza geométrica e ocupam o mesmo lugar no espaço. Essa relação é um caso particular do *sobre/sob*.
- *Cruza* - Existe apenas um ponto P (x,y) comum entre as instâncias.
- *Atravessa* - Uma instância atravessa integralmente outra instância, tendo no mínimo dois pontos P1 (x₁,y₁) e P₂ (x₂,y₂) em comum. Este é um caso particular de *cruza*, que foi separado por fornecer maior expressão semântica.
- *Em frente a* - utilizado para dar ênfase à posição de uma instância em relação à outra. Uma instância está “de face” para outra. *Paralelo a* poderá ser usado na relação entre linhas, por ser semanticamente mais significativo.
- *À esquerda / à direita* - Utilizado para dar ênfase na lateralidade entre as instâncias. No entanto, a questão de lateralidade deve estar bem definida nas aplicações no SIG, de forma a ser possível formalizar o que é lado direito e esquerdo.

Algumas relações só são possíveis entre determinadas classes, pois são dependentes da forma geométrica. Por exemplo, a existência da relação *dentro de* pressupõe que uma das classes

relacionadas seja um polígono. Neste aspecto, as aplicações tradicionais diferem das geográficas, onde as associação entre classes convencionais independem de fatores como forma geométrica. Este é um dos pontos onde a modelagem tradicional difere da modelagem de dados geográficos. Ao se modelar uma aplicação geográfica, as formas de representação das entidades geográficas normalmente já serão conhecidas, visto que existe uma interdependência entre a natureza da representação, o tipo de interpretação e a finalidade que será dada a cada entidade geográfica. No modelo Geo-OMT isto é considerado para que sejam estabelecidas as relações que envolvem classes *Georreferenciadas*. Neste aspecto, o Geo-OMT atua também no nível de representação.

A Figura 28 exemplifica as possíveis relações espaciais entre as *Classes Georreferenciadas*. É apresentado um conjunto mínimo de relações. Outras podem ser derivadas de combinações das relações já existentes, como também acrescentadas. Concentramos na expressividade semântica de cada palavra, tentando aproximar ao máximo, o nome das relações à linguagem natural. A formalização tem por objetivo auxiliar os analistas de sistemas no projeto da aplicação e facilitar a interpretação do esquema da aplicação por parte dos usuários, uma vez que o significado semântico de cada nome de relação será conhecido. Deve-se evitar traduções entre uma linguagem formal e uma natural. Através da formalização são fornecidos quais são as relações possíveis entre *Geo-Objetos* e *Geo-Campos*. As relações *à esquerda de* e *à direita de*, não foram consideradas nas tabelas da Figura 28 por serem possíveis em qualquer combinação. A relação entre polígonos está exemplificada na Figura 27

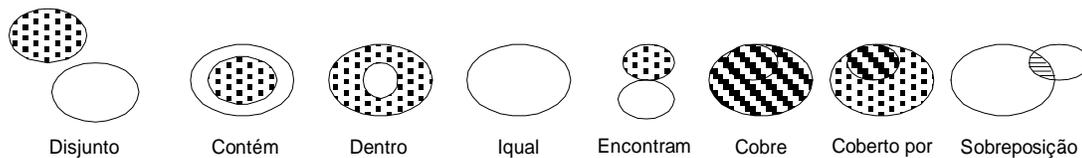


Figura 27 - Relacionamentos Espaciais entre Polígonos

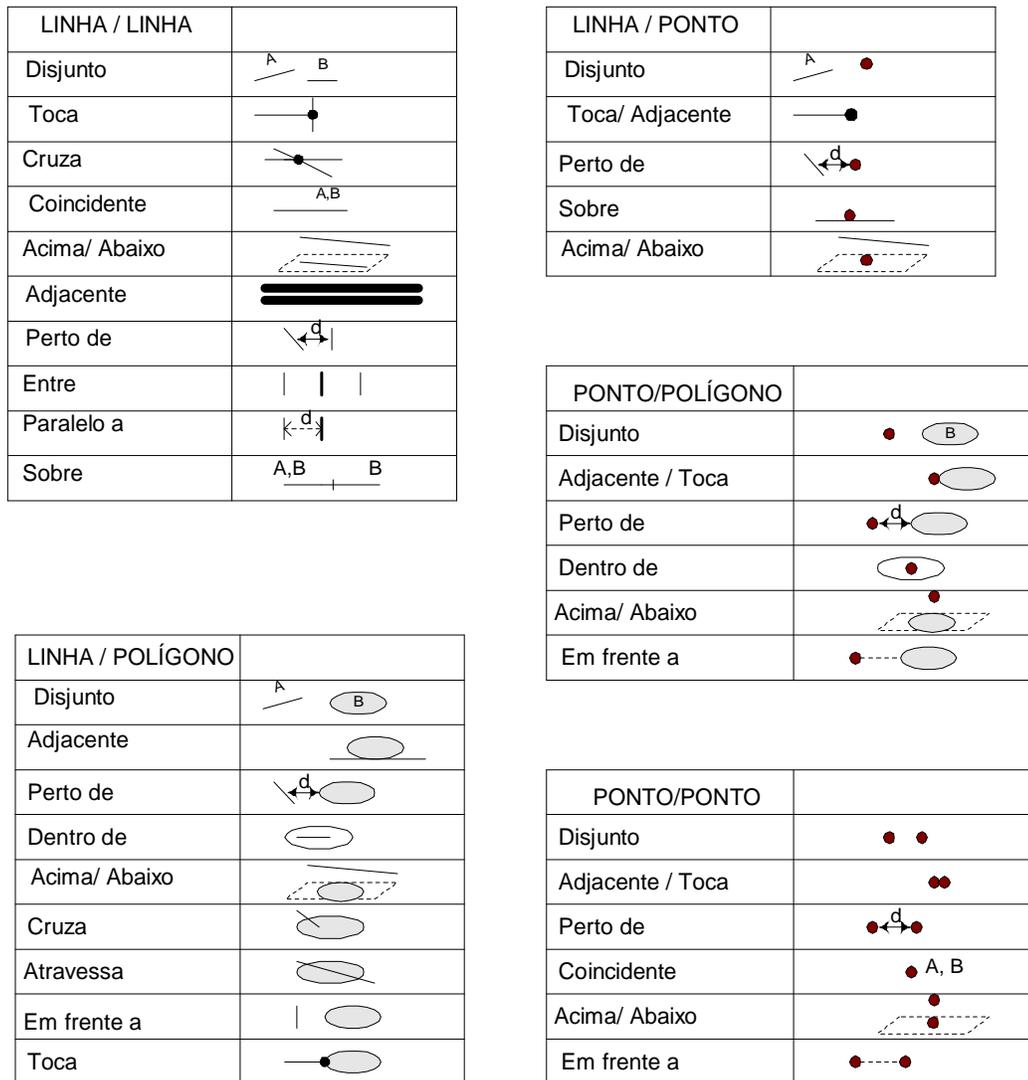


Figura 28 - Relacionamentos Espaciais

Os relacionamentos são caracterizados pela **cardinalidade**. A cardinalidade representa o número de instâncias de uma classe que pode estar associadas a uma instância da outra classe. A notação de cardinalidade adotada pelo modelo Geo-OMT é a utilizada na Unified Modeling Language (UML) [Rati97] por apresentar maior expressividade na sua representação do que a proposta pelo modelo OMT (Figura 29).

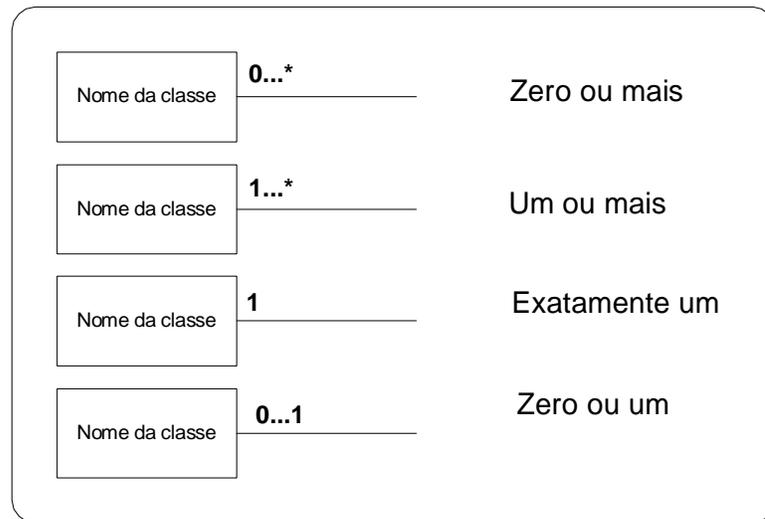


Figura 29 -Cardinalidade

As relações em *rede* e *hierarquia espacial* já trazem incorporado em seu significado a sua cardinalidade, não sendo portanto necessário explicitá-la.

4.4.6 Generalização e Especialização

A generalização é o processo de definir classes mais genéricas (superclasses) a partir de classes com características semelhantes (subclasses). Já a especialização é o processo inverso, classes mais específicas são detalhadas a partir de classes genéricas, adicionando-se novas propriedades na forma de atributos [Lisb97]. Cada subclasse herda atributos, operações e associações da superclasse.

No modelo Geo-OMT, as abstrações de generalização e especialização se aplicam tanto a *Classes Georreferenciadas* como a *Classes Convencionais*, seguindo a definição e a notação do modelo OMT, onde um triângulo interliga uma superclasse à suas subclasses. (Figura 30). Cada generalização pode ter um *discriminador* associado, indicando qual propriedade está sendo abstraída pelo relacionamento de generalização.

No entanto, se as propriedades gráficas (por exemplo, cor, tipo de linha, etc.) variarem nas subclasses, é utilizada a *generalização espacial*, onde as subclasses herdam a natureza gráfica da superclasse mas variam suas propriedades gráficas. Esse tipo de generalização é útil para registrar que deve existir uma distinção visual entre as subclasses, que não pode ser desconsiderada na implementação. A notação utilizada na *generalização espacial* só varia no tipo de linha utilizada na ligação entre a superclasse e as subclasses. A linha contínua é substituída pela pontilhada (Figura 30).

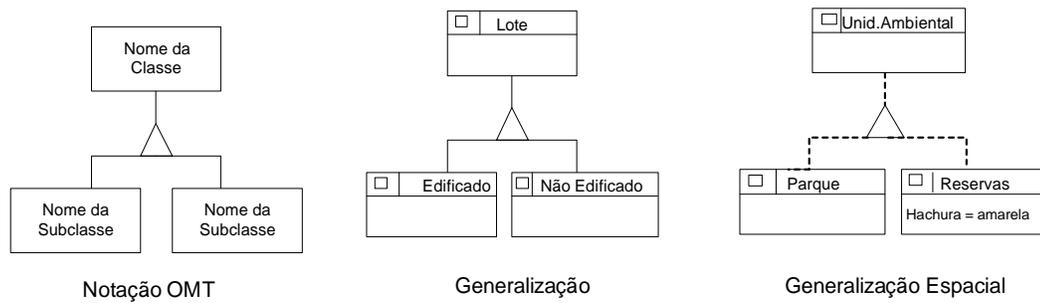
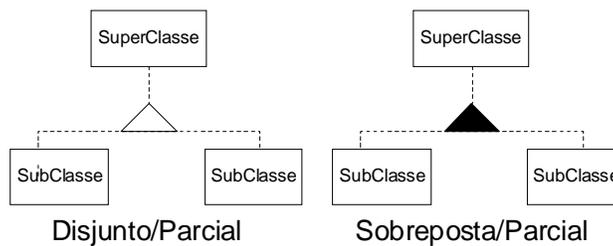


Figura 30 - Generalização

No exemplo da Figura 30 temos a especialização de um lote em lote edificado e lote não edificado. Fica claro pela notação que não existirá diferença de visualização entre os dois tipos de lote no entanto, a unidade ambiental especializada em parque e reservas apresentará um método que a distinguirá visualmente do parque. No referido exemplo, quando a classe unidade ambiental for reserva, a visualização apresentará uma hachura amarela.

Uma generalização (espacial ou não) pode ser especificada como *total* ou *parcial* [LaFl94]. Uma generalização é total quando a união de todas as instâncias das subclasses equivalem ao conjunto de instâncias da superclasse. A totalidade é representada por um ponto no ápice do triângulo (Figura 31).

O triângulo vazado representa a restrição de disjunção, e o triângulo com preenchimento indica a sobreposição de subclasses. A combinação de disjunção e totalidade representa quatro tipos de restrição. Normalmente, uma generalização é total e disjunta, já que a superclasse é o resultado da união de subclasses disjuntas. O mesmo não pode ser dito da especialização, que permite que instâncias da superclasse possam ou não existir nas subclasses.



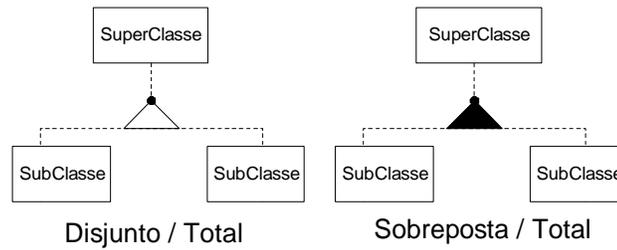


Figura 31 - Generalização Espacial

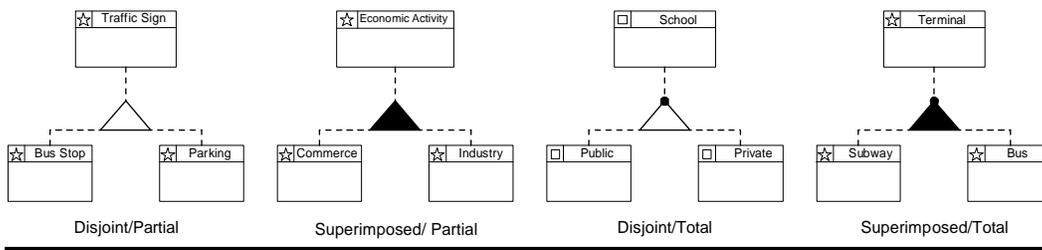


Figura 31a- Exemplo de Generalização Espacial

A Figura 32 mostra o exemplo de uma *generalização espacial disjunta e total* do nó de uma rede fluvial. Ele é especializado em estação fluviométrica, usina hidrelétrica e confluência. Cada nó terá uma representação simbólica diferente. A Figura 32a mostra o nó da rede fluvial com a especialização espacial, e a Figura 32b substituiu o pictograma padrão que representa nó de rede, pelo símbolo real que este nó assumirá no banco de dados geográfico. A indicação de **total** mostra que o nó deverá assumir uma das três formas (estação fluviométrica, usina hidrelétrica e confluência) não existindo nenhum outro tipo de nó fluvial além dos especificados. A indicação de **disjunta** indica que um nó só poderá assumir um tipo por vez ou seja, não poderá ser usina hidrelétrica e confluência ao mesmo tempo.

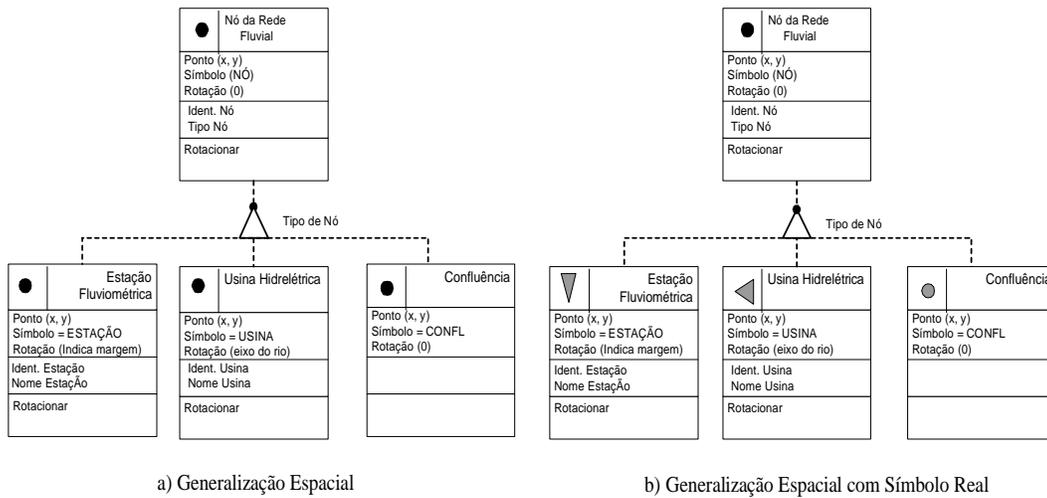


Figura 32 - Generalização Espacial do Nó da Rede Fluvial

4.4.7 Agregação

A agregação é uma forma especial de associação entre objetos, onde um deles é considerado composto por outros. O relacionamento entre o objeto primitivo e seus agregados é chamado de “é-parte-de” e o relacionamento inverso “é-componente-de” [ElNa94]. A notação gráfica da agregação segue a do modelo OMT (Figura 33).

Uma agregação pode ocorrer entre Classes *Convencionais*, entre Classes *Georreferenciadas* e entre Classes *Georreferenciadas* e Classes *Convencionais*.

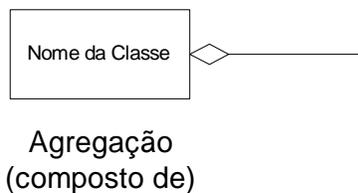


Figura 33 - Notação Gráfica Agregação

A Figura 34 exemplifica o uso desta notação. No exemplo, o logradouro é uma agregação de trechos de logradouro. Se o logradouro existir geograficamente a partir da junção de trechos, como uma única linha, ele será uma agregação entre Classes *Georreferenciadas* (agregação espacial, seção 1.8.8). No entanto, se o logradouro não for representado graficamente, representando só o cadastro de logradouros, ele será uma agregação entre uma Classe *Convencional* e uma Classe *Georreferenciada*. Neste caso, a visualização do Logradouro deverá ser feita através dos trechos.



Figura 34 - Exemplo de Agregação

4.4.8 Agregação Espacial

A *agregação espacial* é um caso especial de agregação onde são explicitados relacionamentos topológicos “todo-parte” [KöPS96, KöPS95, AbCa94].

A utilização desse tipo de agregação impõe restrições de integridade espacial no que diz respeito à existência do objeto agregado e dos sub-objetos. Além do modelo ganhar mais clareza e expressividade, a observação dessas regras contribui para a manutenção da integridade semântica do banco de dados geográfico. Muitos erros no processo de entrada de dados podem ser evitados, se procedimentos baseados nessas restrições forem implementados.

A estrutura topológica “todo-parte” foi subdividida em: *subdivisão espacial*, *união espacial* e *contém*. A notação das três estruturas é apresentada na Figura 35.

Na estrutura *subdivisão espacial*, o todo é subdividido em partes de mesma natureza geométrica e a geometria do todo é coberta pela geometria das partes (por exemplo, a quadra é subdividida em lotes. Para existir um lote, a quadra já deve existir (Figura 35).

A estrutura *união espacial* é o inverso da subdivisão espacial. O todo é formado a partir da união das partes. A diferença entre elas está na origem da geometria do todo (por exemplo, uma quadra é uma união lotes. A quadra não existe sem os lotes existirem primeiro. Figura 35).

Na estrutura *contém*, a geometria do todo contém a geometria da partes. Objetos de natureza geométrica diferentes podem estar contidos no todo (por exemplo, edificações dentro de um lote. Figura 35).

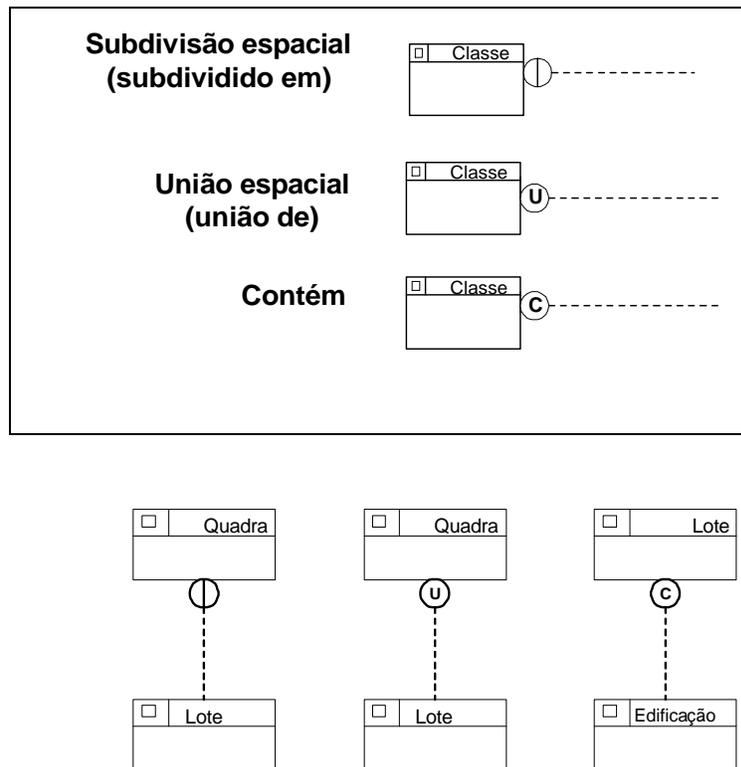


Figura 35 - Agregação Espacial

4.4.9 Generalização Cartográfica

A *generalização*³ pode ser vista como uma série de transformações em algumas representações das informações espaciais, com o objetivo de melhorar a legibilidade e compreensão dos dados. Por exemplo, “uma entidade geográfica pode ter diversas representações espaciais conforme a escala utilizada. Uma cidade pode ser representada por um ponto num mapa de escala pequena e por um polígono num mapa de escala grande” [MeBo96]. Este tipo de mudança na representação cartográfica é chamado de generalização e está relacionado com a representação gráfica.

No entanto, além do apresentado acima, o que se percebe no desenvolvimento de aplicações geográficas, principalmente em áreas urbanas, é que de acordo com a visão do usuário é necessário que formas distintas representem a mesma entidade geográfica, em uma mesma escala e ao mesmo tempo. Dentro da orientação a objetos, este conceito é naturalmente

³ Não se deve confundir a generalização cartográfica com a generalização utilizada como um tipo de abstração usado nos modelos de dados semânticos e orientados a objetos [ElNa94].

entendido e representado. O objeto geográfico representado é o mesmo, com os atributos alfanuméricos comuns, porém variando as características geográficas. Podemos exemplificar esta colocação tomando como exemplo o sistema de informação geográfica da Prefeitura de Belo Horizonte, onde o ambiente geográfico deve ser compartilhado por diversos órgãos e por diversos tipos de aplicações. Para a Secretaria de Turismo, a localização de pontos turísticos é feita através de símbolos que, distribuídos pela cidade, identificam os locais turísticos. No entanto, muitos locais turísticos são referências da cidade, sendo utilizados para localização de ponto de ônibus “mais próximo” na aplicação de transporte coletivo. Se a aplicação *próximo a*, fosse levar em conta apenas a localização dos símbolos turísticos para efetivar sua consulta, o estádio de futebol Mineirão, que tem o seu símbolo no meio do campo de futebol, estaria longe de qualquer ponto de ônibus. Dentro do ponto de vista de proximidade, as referências utilizadas são transformadas em polígonos que envolvem a área referenciada. Em termos do modelo conceitual, tanto o símbolo de turismo quanto a área que envolve o Mineirão representam o mesmo objeto, devendo por isto estar explicitamente demonstrado no esquema da aplicação. Existe ainda a possibilidade da representação fotográfica do símbolo turístico. Neste caso, teremos três formas de visualizar o mesmo objeto.

Para que fosse possível explicitar os dois casos apresentados acima, o modelo Geo-OMT utiliza a primitiva espacial chamada de *Generalização Cartográfica* representando uma classe (superclasse) que é percebida por diferentes visões, que *alteram* a sua natureza gráfica. A superclasse não tem representação gráfica, as subclasses possuem representação gráfica e herdam os atributos alfanuméricos da superclasse.

A *generalização cartográfica* pode ser de dois tipos: *variação pela forma* e *variação por escala*. A *variação pela forma* é utilizada na representação da convivência simultânea das múltiplas formas geométricas de uma mesma classe, dentro de uma mesma escala. A descrição geométrica da superclasse é deduzida a partir do uso das subclasses. Por exemplo, um rio pode ser percebido como um espaço entre suas margens, como um polígono de água ou como um fluxo (linha direcionada), formando a rede hidrográfica (Figura 36).

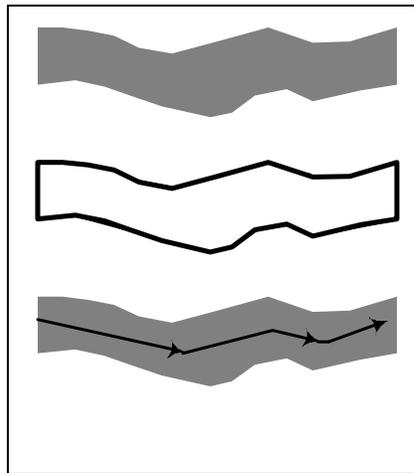


Figura 36 - Diferentes Visões de um Rio

Um outro exemplo, muito comum em áreas urbanas, é o cemitério. Ele é representado tanto por um polígono fechando a área do cemitério, quanto pelos símbolos cartográficos de cruzinhas (Figura 37a). A *variação pela forma* pode ser também usada na representação de classes que possuem simultaneamente instâncias georreferenciadas e instâncias não gráficas, como, por exemplo uma placa de sinalização de trânsito que só passará a ser georreferenciada quando sair do depósito para fixação na rua (Figura 37b)

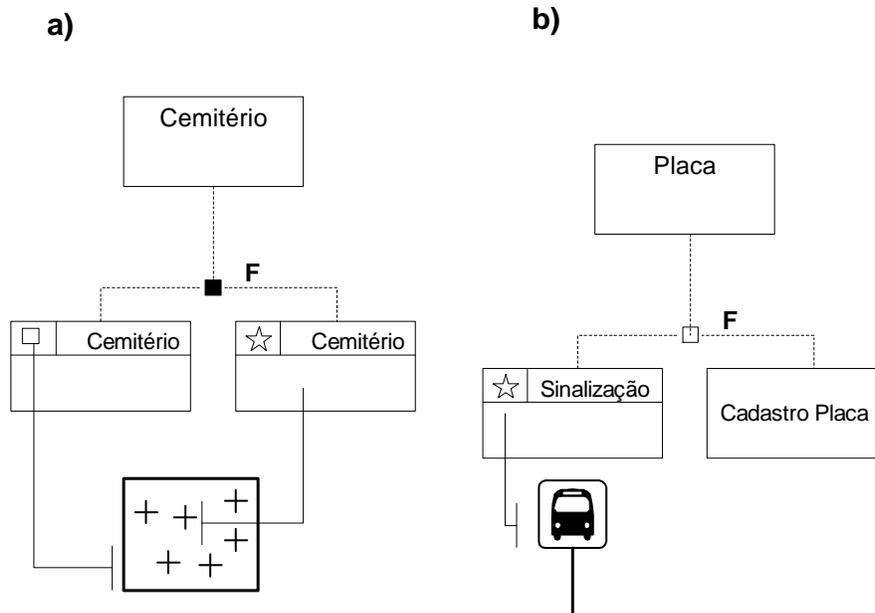


Figura 37 - Generalização Cartográfica - Variação pela Forma

A *variação por escala* é utilizada na representação das diferentes formas geométricas de uma mesma classe decorrente da mudança de escala. Uma escola pode ser representada por uma área (polígono) em uma escala maior e por um símbolo (ponto) em uma escala menor (Figura 38).

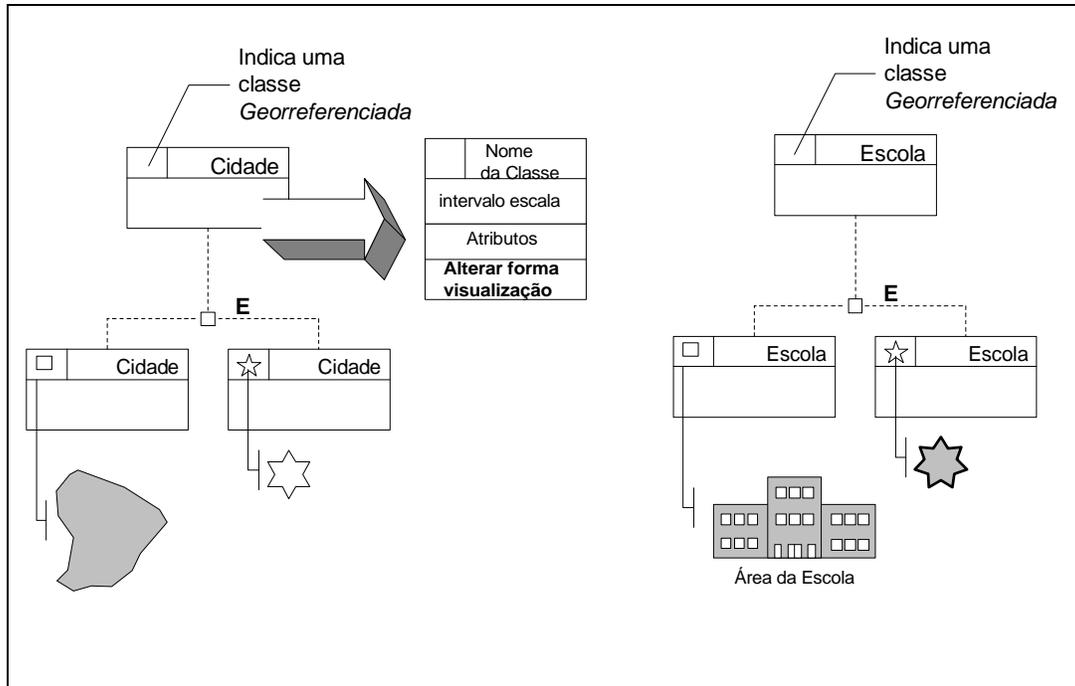


Figura 38 - Generalização Cartográfica - Variação por Escala

A primitiva *generalização cartográfica* é um caso particular da *generalização*, não representando classes que, por motivos de melhor visualização em diferentes escalas, mantêm sua natureza gráfica original porém, variam de tamanho, espessura de traço ou tipo de símbolo. Essa variação **somente** de representação, e não da forma geométrica, é vista no modelo Geo-OMT como uma **operação** aplicada à classe, com função de alterar a visualização. O exemplo na Figura 39 mostra o símbolo de uma árvore variando com a escala. À medida que a escala diminui o símbolo aumenta. Apesar da escala variar, o tipo geométrico continua sendo ponto portanto, não será modelado como *generalização cartográfica*.

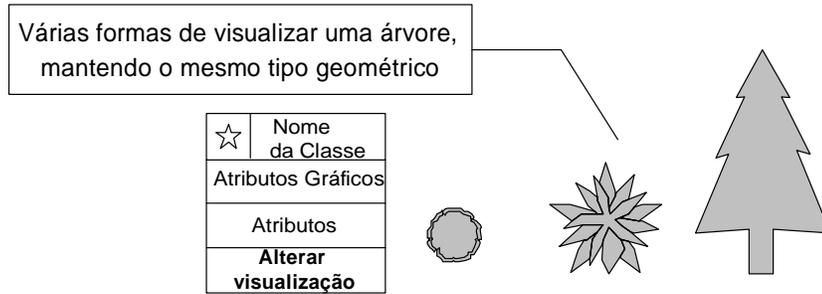


Figura 39 - Variação de Visualização de Um Símbolo

O objetivo do uso desta primitiva é registrar as múltiplas naturezas gráficas que um objeto pode ter, de forma a tornar possível **explicitar** os relacionamentos decorrentes de **cada** natureza. Conforme visto, a forma com que uma classe é representada influencia nos tipos de relacionamento espacial que dela podem ser derivados.

A notação para *generalização cartográfica* é um quadrado interligando uma superclasse à suas subclasses. A subclasse é ligada por uma linha pontilhada ao retângulo. É usado como *discriminador* a letra E para *variação por escala* e a letra F para *variação pela forma*. O quadrado será vazado para representar a restrição de disjunção, e preenchido indicando a sobreposição de subclasses (Figura 40).

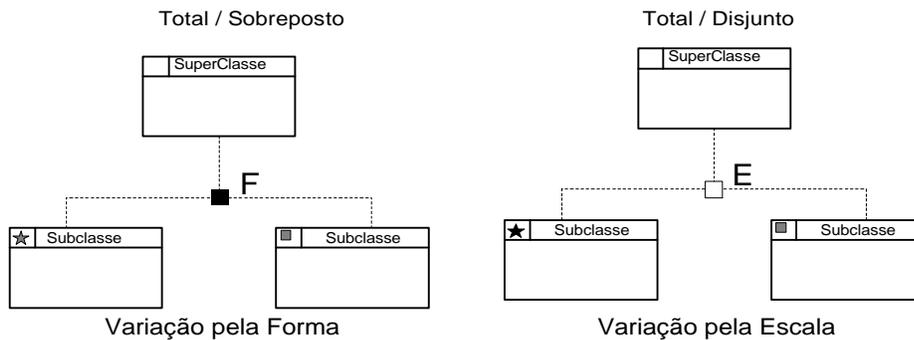


Figura 40 - Generalização Cartográfica

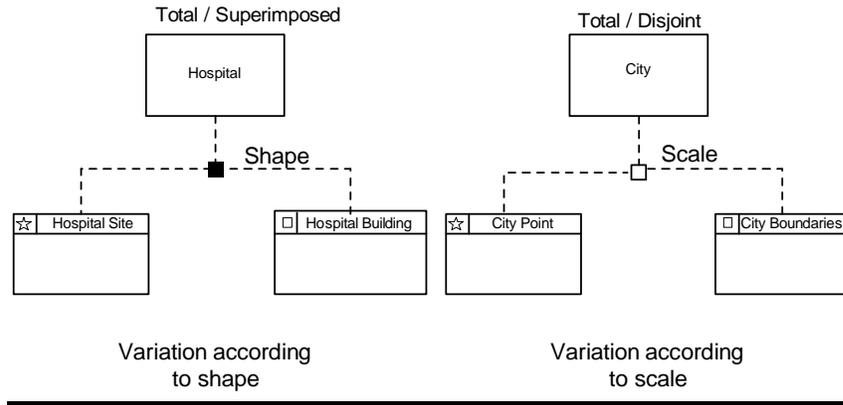


Figura 40a -Exemplo de Generalização Cartográfica

A *variação por escala* será sempre *total* e *disjunta*, porque a união de todas as instâncias das subclasses deve ser equivalente ao conjunto de instâncias da superclasse, não sendo permitida sobreposição. Neste caso, uma entidade geográfica, dependendo da escala, pode ter formas alternativas de representação porém, não ao mesmo tempo.

Apesar de conceitualmente a entidade geográfica ser a mesma, as subclasses serão implementadas como classes distintas, devido a restrições impostas pela maioria dos SIGs hoje existentes que não permitem que uma classe possa simultaneamente ser representada por naturezas gráficas diferentes. Alguns dos problemas decorrentes de múltiplas representações em um SIG são redundância de dados e multiplicidade de comportamento de uma entidade geográfica [CCHM96].

4.4.10 Restrições Espaciais

Muitas aplicações geográficas usam dados que dependem de relacionamentos topológicos que precisam ser representados explicitamente no banco de dados. Nesses casos, cuidados especiais devem ser tomados para que a consistência espacial seja mantida. Esses cuidados interferem não só na entrada de dados geográficos como também na manutenção da integridade semântica do banco de dados.

O controle das restrições de integridade deve ser considerado uma das principais atividades de implementação. É conveniente que o esquema da aplicação geográfica represente pelo menos as situações onde esse controle não pode ser desprezado.

Consideramos nesta seção somente as restrições relacionadas aos relacionamentos espaciais. Restrições que envolvem valores de atributos ou restrições de cardinalidade já são de uso comum em projetos de banco de dados não sendo considerado necessário citá-las. Não consideramos também restrições que envolvem a geometria do objeto, como por exemplo as restrições impostas na descrição geométrica de um polígono: deve ser composto por no

mínimo três segmentos e possuir a mesma coordenada nos pontos inicial e final, garantindo o fechamento do polígono. Restrições geométricas devem ser tratadas a nível do sistema de informação geográfica, pois estão estritamente relacionadas com a implementação. Em [LaTh92] encontramos regras de consistência associadas à geometria dos objetos espaciais.

A partir da criação das primitivas espaciais “todo-parte”, como de alguns relacionamentos espaciais padronizados, são deduzidas algumas regras de integridade espacial. Essas regras formam um conjunto de restrições que devem ser observadas nas operações de atualização do banco de dados geográfico.

As restrições espaciais consideradas no modelo Geo-OMT são as seguintes:

Regras de Dependência Espacial - São impostas restrições pela existência de objetos agregados, onde a existência gráfica do objeto agregado depende da existência gráfica dos sub-objetos e vice-versa. Essas regras são derivadas das primitivas espaciais *Subdivisão espacial* e *União espacial*.

- *Regras de Continência* - São impostas restrições pela existência de objetos contidos dentro da estrutura geométrica de outro. Essas regras são derivadas da primitiva espacial *Contém*.
- *Regras de Generalização Espacial* - São impostas restrições pela variação dos atributos gráficos.
- *Regra de Disjunção* - É uma restrição aplicada a classes que não podem de forma alguma ter algum tipo de relacionamento espacial entre elas.
- *Regras de Conectividade* - São impostas restrições pela existência de conectividade entre os objetos.
- *Regras de Associação Espacial* - São impostas restrições pela existência de algumas relações espaciais.
- *Regras de Geo-Campo* - São impostas restrições à existência de classes do tipo *Geo-Campo*.

O cumprimento de algumas regras de integridade espacial pode ser garantido pelo SIG. No entanto, a maioria requer a definição de operações de controle de integridade associadas às classes.

Usaremos os conceitos de classe primitiva e derivada, e de objeto primitivo e derivado, para descrever as regras de integridade espacial relacionadas com as primitivas espaciais “todo-parte”. Classe primitiva é a classe que dará origem a outras classes, chamadas de derivadas. Um objeto primitivo, é uma instância da classe primitiva. Um objeto derivado é uma instância da classe derivada originado de um objeto primitivo. A seguir são especificadas as regras de integridade espacial.

Regras de Dependência Espacial

<p>Subdivisão Espacial</p> <p>O objeto primitivo é subdividido em áreas menores originando objetos derivados.</p> <p>O objeto primitivo é uma instância da classe que foi subdividida dando origem à classe derivada</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. O objeto da classe primitiva deve dar origem a pelo menos dois objetos da classe derivada. 2. Qualquer porção do espaço contido dentro do objeto primitivo deve conter um e somente um objeto derivado, não podendo haver sobreposição de áreas, nem espaços vazios. 3. Os limites geográficos dos objetos derivados devem estar totalmente contidos no limite geográfico do objeto primitivo, podendo coincidir parte, porém não extrapolá-lo. 4. A alteração do limite geográfico do objeto primitivo implica em alteração nos limites geográficos dos objetos derivados. 5. A alteração do limite geográfico de um dos objetos derivados implicará na alteração do limite geográfico de outros objetos derivados, de forma a não existir espaços vazios dentro do objeto primitivo. 6. A exclusão de um objeto primitivo implicará na exclusão de todos os objetos pertencentes à classe derivada.
---	---

Para exemplificar o uso das regras de dependência espacial, citamos a classe Quadra que é subdividida na classe Lote. Na criação e manutenção de cada instância da classe Lote, deve ser garantido que cada instância da classe Lote só pertença a uma instância da classe Quadra. A subdivisão de uma quadra dará origem a pelo menos dois lotes (regra 1). Cada lote deve ser adjacente a outro, não havendo sobreposição de áreas e nem espaço dentro da quadra que não pertença a um lote (regra 2). A delimitação dos lotes deve estar totalmente contida dentro do limite da quadra, podendo coincidir com ele mas não extrapolá-lo (regra 3). Caso a quadra sofra alteração em seus limites, diminuindo ou aumentando sua área, isso afetará a área dos lotes dentro dela (regra 4). Deve ser verificado quais lotes sofrerão alteração em seus limites. Caso o limite de um lote seja alterado, sem que o da quadra tenha sido alterado, alguns ou todos os lotes adjacentes a ele também serão afetados (regra 5). A exclusão de uma quadra implica na exclusão de todos os lotes dentro dela (regra 6).

<p>União Espacial</p> <p>O objeto derivado (objeto agregado) é formado pela união de objetos primitivos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. A origem de um objeto derivado depende da união de pelo menos dois objetos disjuntos pertencentes à classe primitiva. 2. O limite geográfico do objeto derivado deve coincidir com o limite geográfico externo formado pela união da geometria dos objetos pertencentes à classe primitiva, não podendo extrapolá-lo. 3. A alteração do limite geográfico do objeto derivado só poderá ser feita através da alteração dos limites dos objetos primitivos. 17. A exclusão de um dos objeto primitivos implica na alteração do limite do objeto derivado. 5. A exclusão de todos os objetos primitivos que originaram o objeto derivado, implicará na exclusão do objeto derivado.
---	---

Obs- caso o objeto primitivo tenha servido apenas de parâmetro para a entrada de dados dos objetos derivados, não existindo nenhuma dependência de existência entre eles, essas regras não se aplicam.

Regras de Continência

<p>Contém</p> <p>Objetos contidos dentro da estrutura geométrica de outro.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. A geometria do objeto que <u>contém</u> deve conter a geometria dos objetos contidos. 2. O limite do objeto contido não pode extrapolar o limite do objeto que contém. 3. Qualquer objeto contido só deve pertencer a uma única instância dentro de determinada classe. Outras classes poderão conter os mesmos objetos porém para cada classe o objeto só estará contido em apenas uma instância.
---	---

Exemplificando o uso das regras de continência, citamos a classe Bairro que contém a classe Quadra. Na delimitação do limite do bairro deve ser observado que seu limite não deve atravessar uma quadra. Todo o limite da quadra deve estar totalmente contido no limite de um bairro. Não deve existir quadra sem estar dentro de um bairro e nem pertencendo a mais de um bairro.

Regras de Generalização Espacial

Total/disjunta	<ol style="list-style-type: none">1. A geometria que descreve uma superclasse é herdada pelas subclasses, porém cada subclasse deve possuir atributos gráficos diferentes, como tipo de traço, cor ou simbologia.2. Todas as instâncias da superclasse tem que ser instância de uma e somente uma subclasse.
Parcial/disjunta	<ol style="list-style-type: none">1. A geometria que descreve uma superclasse é herdada pelas subclasses, porém existirão instâncias da superclasse que não pertencem a nenhuma das subclasse devendo ter os atributos gráficos da superclasse2. As instâncias da superclasse podem ou não pertencer a uma subclasse.

Regra de Disjunção

<ol style="list-style-type: none">1. A interseção entre a geometria dos objetos pertencentes à classes disjuntas deve ser vazia.
--

A regra de disjunção é importante na manutenção da integridade em relação à entrada de dados. Por exemplo, a classe Trecho é disjunta da classe Edificação. Isso implica que não pode existir nenhum trecho que cruze uma edificação. Caso isso seja necessário, a edificação (instância) deve primeiro ser excluída. A operação de criação de trecho e edificação poderá garantir essa regra.

Regras de GeoCampo

Isolinha	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uma isolinha não pode interceptar outra isolinha 2. Uma isolinha deve ser contínua
Tesselação	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualquer ponto do espaço geográfico deve pertencer a uma e somente uma célula de cada classe do tipo tesselação.
Polígonos Adjacentes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualquer ponto do espaço geográfico deve pertencer a uma e somente uma instância de uma classe do tipo polígono adjacente. 2. As instâncias desta classe devem ser todas adjacentes, não devendo existir nenhum espaço vazio.
RedeTriangular Irregular	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualquer ponto do espaço geográfico deve pertencer a um triângulo da rede de triangulação. 2. Não existe sobreposição de instâncias destas classes. Cada objeto ocupa uma única posição no espaço, não havendo sobreposição.
Amostragem	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não existe sobreposição de instâncias de uma mesma classe do tipo amostragem.

Regras de Associação Espacial

Proximidade	<ol style="list-style-type: none"> 1. As relações de proximidade são consideradas relações <i>fuzzy</i> devendo portanto, ter parâmetros que forneçam o que é considerado perto ou longe.
Dentro de	<ol style="list-style-type: none"> 1. A instância que contém deve ser sempre uma área, podendo ser um polígono ou uma célula.

Regras de Conectividade

Estrutura grafo-nó	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todo nó deverá estar conectado a pelo menos um segmento orientado. 2. Todo segmento orientado intermediário estará conectado a dois nós. 3. Os segmentos orientados inicial e final começam e terminam em um nó.
---------------------------	---

Regras de Conectividade

Estrutura grafo-grafo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todo segmento orientado intermediário estará conectado a dois outros segmentos orientados de uma mesma classe, um posterior e um anterior. 2. Os segmentos orientados inicial e final devem estar conectados a um segmento orientado posterior e um anterior, respectivamente. Todos de uma mesma classe.
------------------------------	---

As regras de conectividade normalmente são garantidas pelo próprio SIG. No caso da rede de esgoto, que é uma estrutura em grafo-nó, a conexão entre o nó e o segmento é garantida automaticamente pelo sistema.

4.4.11 Diagrama de Temas

O modelo Geo-OMT adota o conceito de temas (assuntos) e não o de camada ou *layers* presentes em muitos outros modelos. No nível conceitual, um tema agrega classes de mesmas características, no entanto, uma mesma classe pode ter característica comum com outros temas. Citamos, por exemplo, o caso de Parques que podem pertencer tanto ao tema “Meio-Ambiente”, como ao tema “Esporte e Lazer”. A transcrição de um tema para as camadas lógicas (*layers*) normalmente dará origem a mais de uma camada. Por exemplo, o tema hidrografia é composto pelas seguintes classes: Rio, Lago, Bacia Hidrográfica, Sub-bacia Hidrográfica. Normalmente cada classe será uma camada. No entanto, isto dependerá do SIG utilizado e dos objetivos da aplicação.

Aplicações geográficas normalmente envolvem uma quantidade muito grande de temas principalmente em área urbana que envolve temas referentes a estrutura urbana, saúde, educação, zoneamento, controle de trânsito, uso do solo, hidrografia, saneamento, energia, telefonia, entre outros. As aplicações geográficas para uma prefeitura geralmente envolvem todos esses temas e, dentro de cada tema, um grande número de classes.

O modelo Geo-OMT introduz o diagrama de temas como forma de visualizar os diversos níveis de informação envolvidos em uma aplicação geográfica, fornecendo um nível de abstração mais elevado. Ele é muito útil em projetos de grande dimensão fornecendo uma visão global de todo o ambiente da aplicação auxiliando na compreensão da abrangência do projeto georreferenciado. O uso de temas auxilia na subdivisão da modelagem em partes.

No esquema da aplicação, a notação utilizada para representar um tema consiste em englobar, com um polígono pontilhado, as classes pertencentes a um mesmo tema. Dentro do polígono deverá constar o nome que identifica o tema. Note que algumas classes apresentarão

sobreposição de temas sendo esta visualização muito importante pois é um indicativo de que a classe é compartilhada por usuários distintos.

O diagrama de temas deve começar com o tema que identifica o espaço modelado e a partir dele uma hierarquia é desenvolvida, dos temas mais abrangentes aos temas específicos. O termo abrangente significa abrangência geográfica, como se fossem camadas no sentido geográfico de distribuição sobre a terra, onde ao mesmo tempo coexistem vários temas de igual importância. Os temas nos níveis inferiores do diagrama necessitam da existência de pelo menos alguns dos temas que estão nos níveis superiores. Cada tema é representado por um retângulo contendo seu nome. A ligação hierárquica entre os temas é feita através de uma linha contínua. A Figura 41 mostra a notação utilizada em um exemplo de temas do município de Belo Horizonte. A Figura 42 mostra parte de um esquema da aplicação de circulação viária onde estão presentes os temas Trânsito e Sistema Viário.

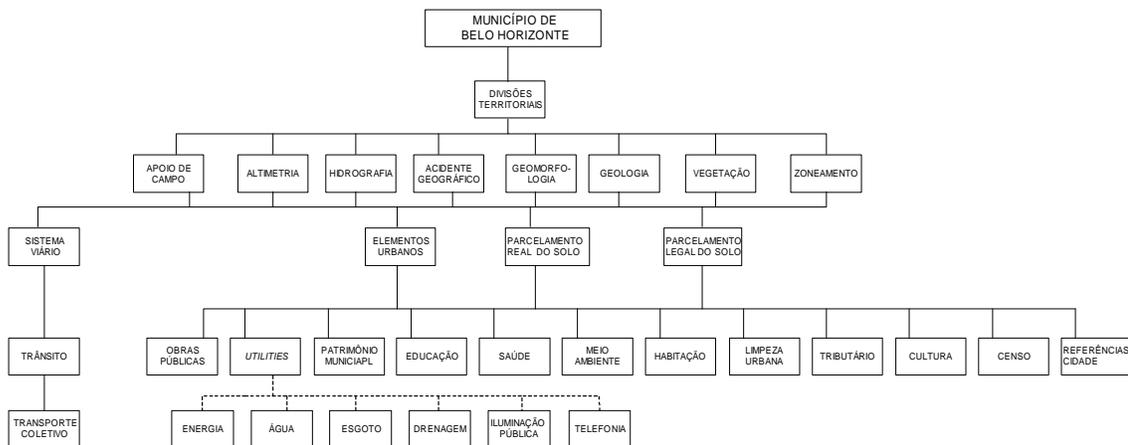


Figura 41 - Diagrama de Temas

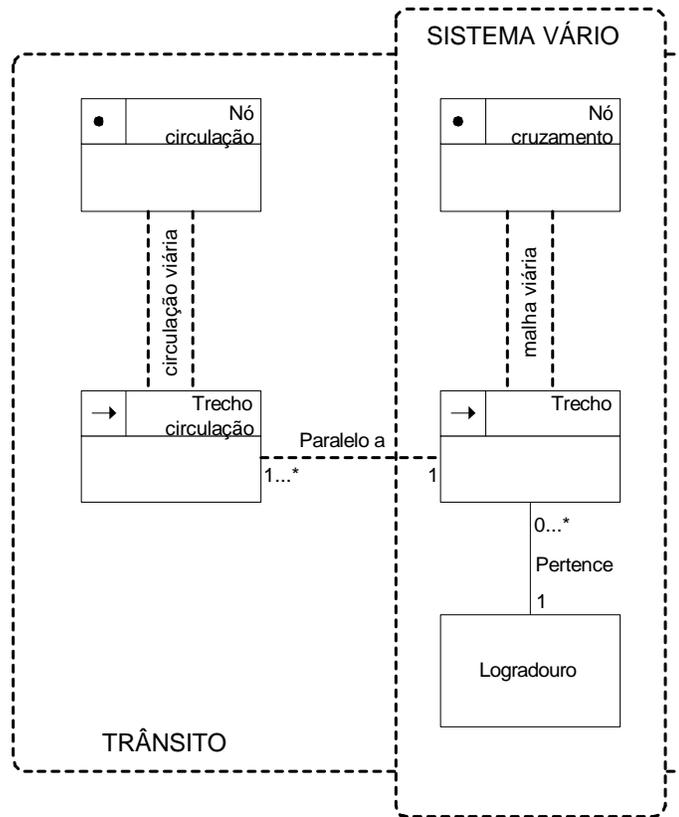


Figura 42 - Parte do Esquema da Aplicação de Circulação Viária

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS DE DADOS PARA APLICAÇÕES GEOGRÁFICA

Esta seção apresenta uma análise comparativa entre os modelos de dados descritos com base nos requisitos necessários às aplicações geográficas. A comparação apresentada é baseada nas referências citadas na descrição dos modelos e nas observações de [Lisb97].

	GEO-OMT	EXT. IFO	MGEO+	OMT EXT.	GISER	GEO-OOA	GMOD	MODULO-R
1. Representa o conceito de campos	4		4		4		4	
2. Representa o conceito de objeto	4	4	4	4	4	4	4	4
3. Diferencia relações espaciais das associações simples	4							
17. Suporta relações de agregação	4	4	4	4	4	4	4	4
5. Possui primitivas para agregação espacial	4			4		4		
6. Representa relação topológica de conectividade	4				4	4		
7. Possui primitivas para representar classes Georreferenciadas e classes Convencionais.	4					4		4
8. Representa múltiplas <i>views</i> de uma mesma entidade	4		4		4		4	4
9. Possui primitivas para representação de múltiplas <i>views</i>	4							
10. Possui regras de integridade espacial	4							
11. Modela a temporalidade dos dados geográficos					4	4	4	4

Tabela 2 – Requisitos das Aplicações Geográficas X Modelos de Dados Geográficos

Somente o modelo Geo-OMT diferencia, de forma explícita, as relações espaciais das associações simples. Normalmente nos modelos apresentados, apenas lendo o nome da relação é possível diferenciar os dois tipos de associações. O estabelecimento de regras de integridade espacial associadas às primitiva de representação também não é considerado nos outros modelos. Dos modelos apresentados, apenas o modelo GISER consegue representar a alteração de atributos visuais de uma classe, através de uma restrição visual da relação *display*. Entretanto a representação do modelo Geo-OMT, além de mais clara, mantém a mesma notação utilizada na generalização, só trocando para linha pontilhada, a linha que associa as classes envolvidas.

A seguir estão exemplificados os diferentes tipos de modelagem.

4.5.1 Geo-Campo: Isolinha (Curva de Nível)

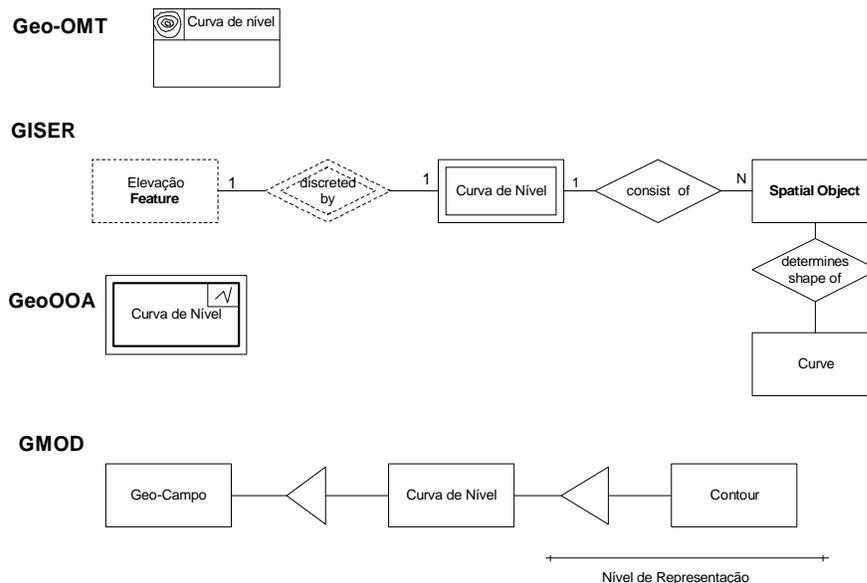


Figura 43 - Esquema para Geo-Campo

4.5.2 Geo-Objeto: Polígono (Bacia Hidrográfica)

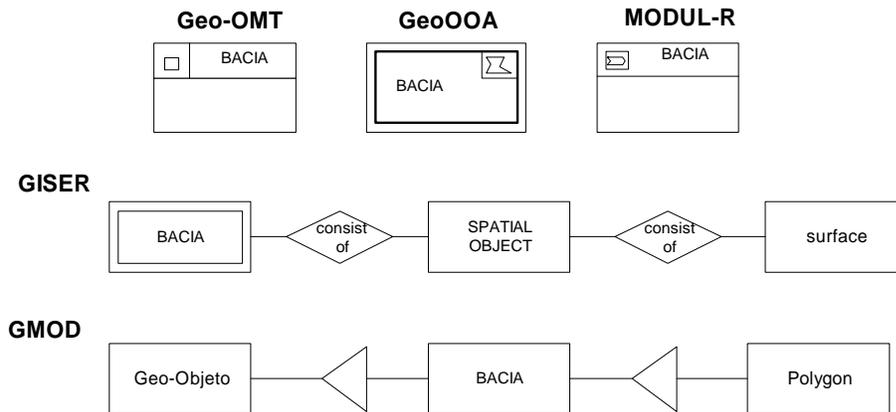


Figura 44 - Esquema para Geo-Objeto

4.5.3 Relações Espaciais

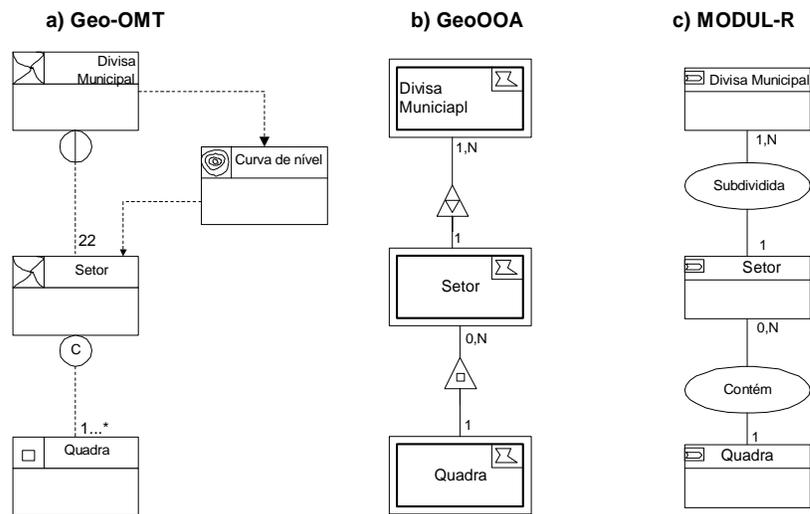


Figura 45 - Relações Espaciais

4.5.4 Generalização Espacial (Trecho de rua)

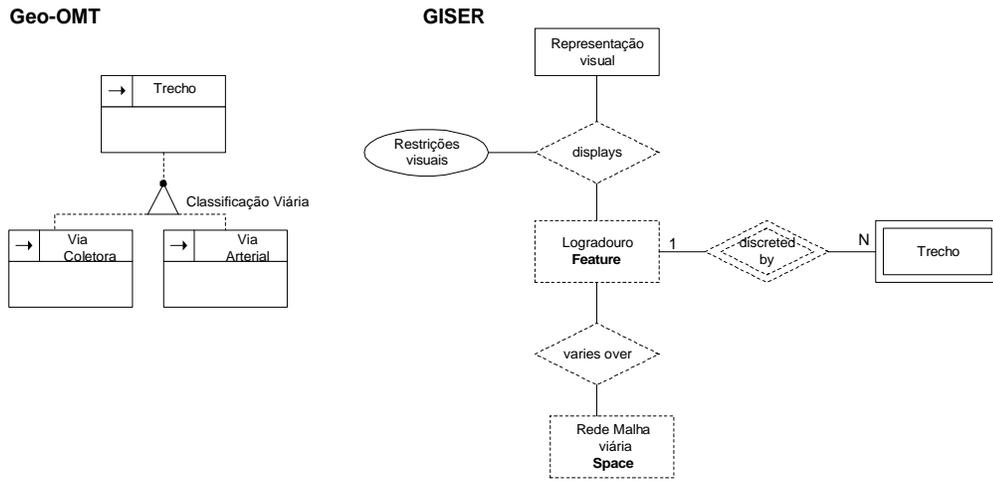


Figura 47 - Generalização Espacial

4.5.5 Geo-Objeto com geometria e topologia (Rede Fluvial)

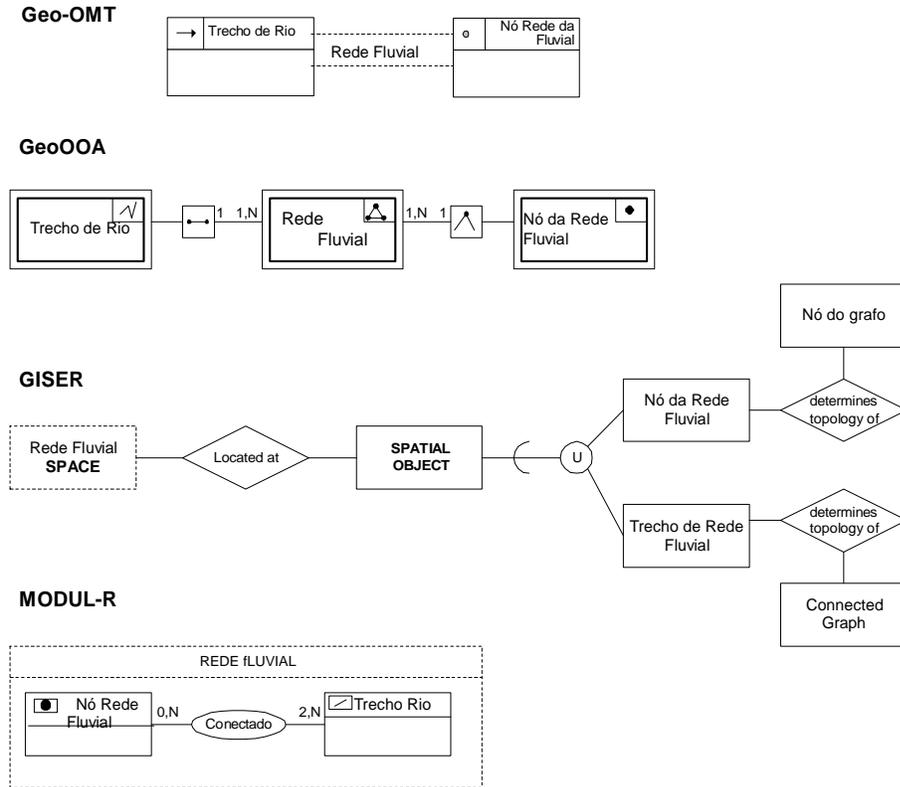


Figura 46 - Estrutura de Rede

4.5.6 Múltiplas representações: Geo-Objeto (Lote - área, Lote - testada)

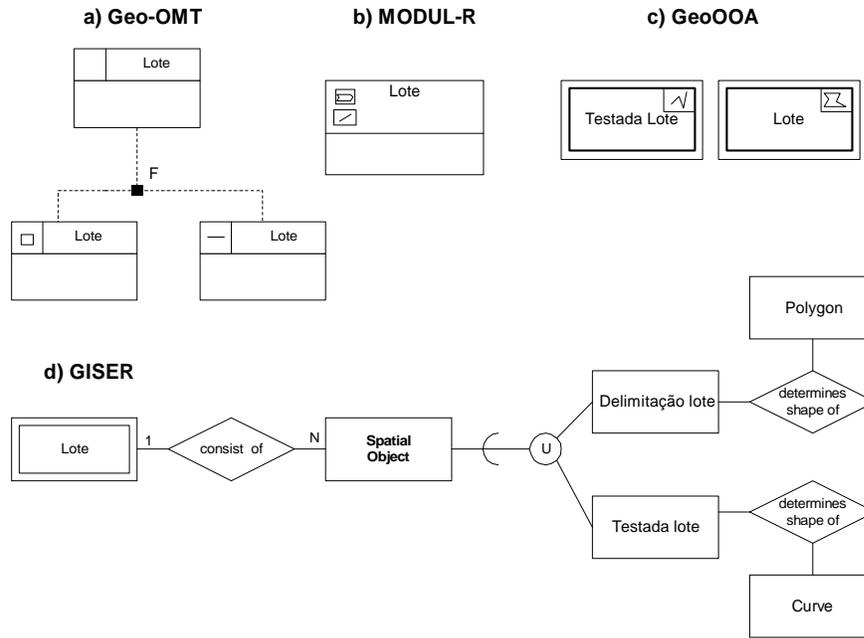


Figura 48- Múltiplas Representações

4.6 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES UTILIZANDO O MODELO GEO-OMT

4.6.1 Transporte Público e Trânsito

O espaço geográfico modelado corresponde ao município de Belo Horizonte. O município é subdividido em vinte e duas regiões denominadas setores. Cada quadra só pertence a um setor. As quadras são subdivididas em lotes. Cada lote é representado tanto pela sua delimitação quanto pela sua frente (testada do lote). Cada testada de lote dá frente para um ou mais logradouros.

A malha viária é representada por segmentos de logradouro, denominados trechos. Um segmento de logradouro é a parte do logradouro compreendida entre dois cruzamentos. A conexão dos segmentos forma uma rede de logradouros (malha viária), onde o sentido da rede acompanha o sentido de crescimento da numeração. De acordo com a classificação viária, os trechos de logradouro podem ser trechos de via coletora, via local, via arterial ou via de ligação regional. Os trechos são associados ao cadastro de logradouros, onde estão todos os atributos referentes ao logradouro como nome, apelido, etc. Os trechos são dispostos no centro da área compreendida pelos meio-fios, identificando o centro do logradouro.

A circulação viária é uma rede que fornece o sentido de tráfego. É formada por segmentos orientados e nós de circulação. Os nós identificam a mudança de direção. Os trechos da circulação viária são paralelos aos trechos de logradouro respeitando a direção de mão e contra-mão.

O itinerário de ônibus tem uma relação estreita com a circulação viária. Uma mudança no sentido de tráfego implica numa mudança nos itinerários que passam por ali. O itinerário de ônibus é formado pelos trechos do itinerário, que são compreendidos pelos pontos de parada e cruzamentos. A cada ponto de parada (nó da rede) corresponde uma placa de sinalização, identificando, na calçada, um ponto de ônibus. A placa de ponto de ônibus faz parte da sinalização vertical de trânsito. Para cada placa de ponto de ônibus, existe a informação de todas as linhas que param naquele ponto. Algumas linhas possuem mais de um itinerário, que varia com o horário e dia da semana. Para controle dos diferentes itinerários existentes em algumas linhas de ônibus, cada linha foi subdividida em sublinhas, onde cada sublinha representa um itinerário. Cada placa de parada de ônibus está associada a um endereço ao qual ela dá frente. A Figura 49 mostra um detalhe da tela referente à aplicação de itinerário de ônibus. As linhas direcionadas representam os trechos de um itinerário de ônibus, a placa na calçada representa o ponto de ônibus e o ponto de parada (nó da rede) é representado por um símbolo na sequência da linha do trecho. A Figura 50 exemplifica a circulação viária e a Figura 51

mostra o esquema da aplicação de transporte coletivo. Nele foi usada a notação simplificada do Modelo Geo-OMT.

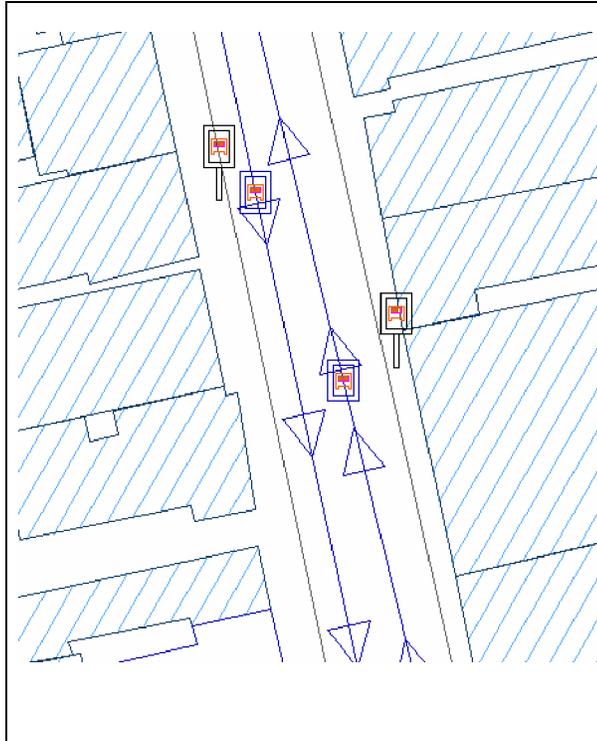


Figura 49 - Rede do Itinerário de Ônibus

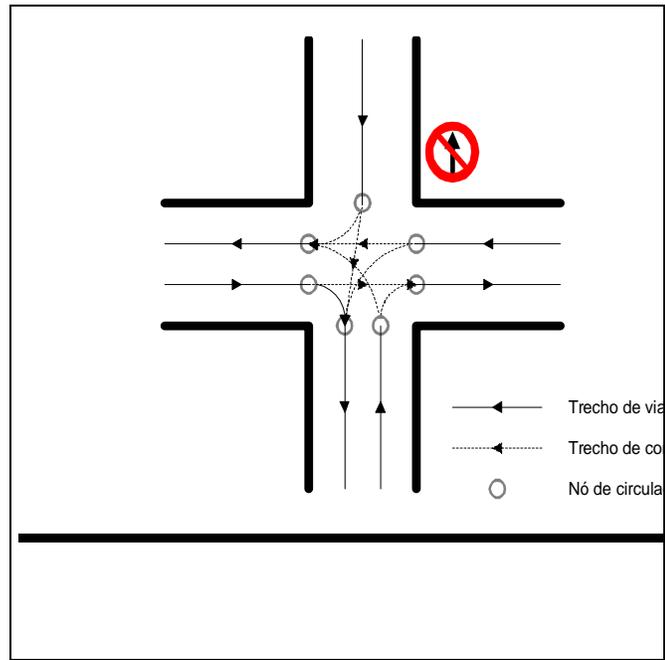


Figura 50 - Exemplo da Circulação Viária

4.6.2 Rede de Esgoto

O município é subdividido em bacias de esgoto que por sua vez se divide em sub-bacias. Cada sub-bacia abrange um conjunto de trechos de rede. A rede de esgoto sanitário é classificada em rede coletora, interceptora e emissária de acordo com a sua função. A rede coletora é a de diâmetro menor, recebe as ligações dos usuários. A rede interceptora recebe o fluxo das coletoras e a rede emissária recebe o fluxo das interceptoras para efetuar o lançamento da rede de esgoto.

Um trecho da rede é representado por dois nós e um arco. Os nós são interrupções no trecho devido a um poço de visita (PV), um poço de visita com ponta seca, um ponto de lançamento (em rede pluvial, em curso d'água), uma ligação do usuário, uma estação de tratamento ou o fim da rede (ponta seca). Os arcos são trechos de tubulação. Cada trecho possui informações do tipo de rede, diâmetro da tubulação, extensão do trecho, percentual de declividade e tipo de material (ferro, concreto, pvc). Cada nó possui o tipo, um número e quando PV a cota do fundo e a cota do tampão.

A bacia de esgoto possui uma numeração, um nome, a quantidade de população atendida e a vazão da bacia. As sub-bacias são numerada dentro do código da bacia a qual ela pertence possuindo nome, população atendida e vazão.

Os nós terão representação gráfica diferente assim como deverão ser graficamente diferente as redes emissárias, coletoras e interceptoras.

A Figura 52 exemplifica um trecho de rede de esgoto e a Figura 53 mostra o esquema simplificado da rede de e utilizando o Geo-OMT.

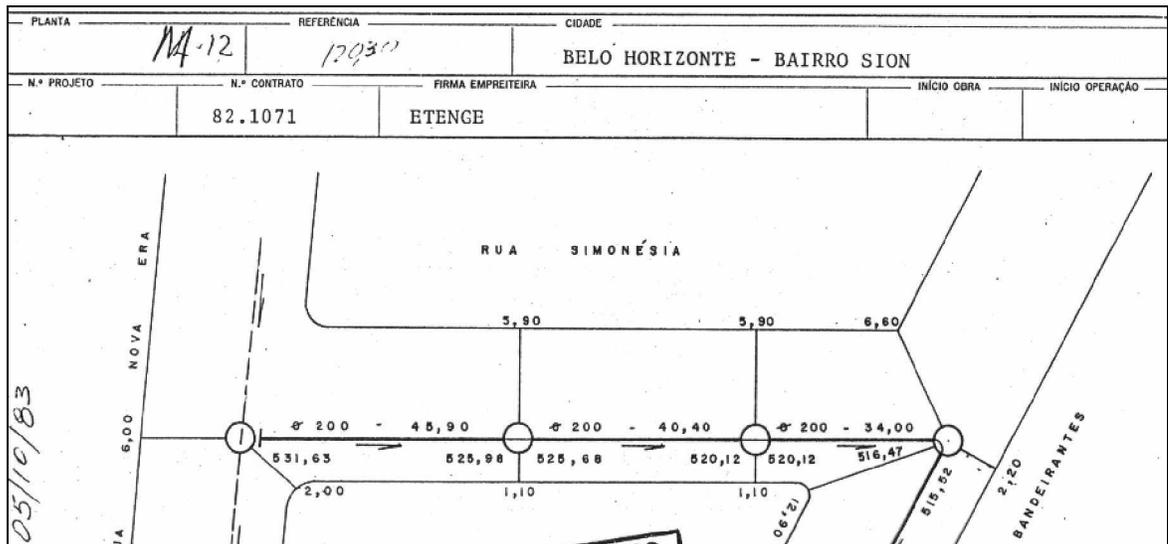


Figura 52 - Exemplo de Trecho da Rede de Esgoto

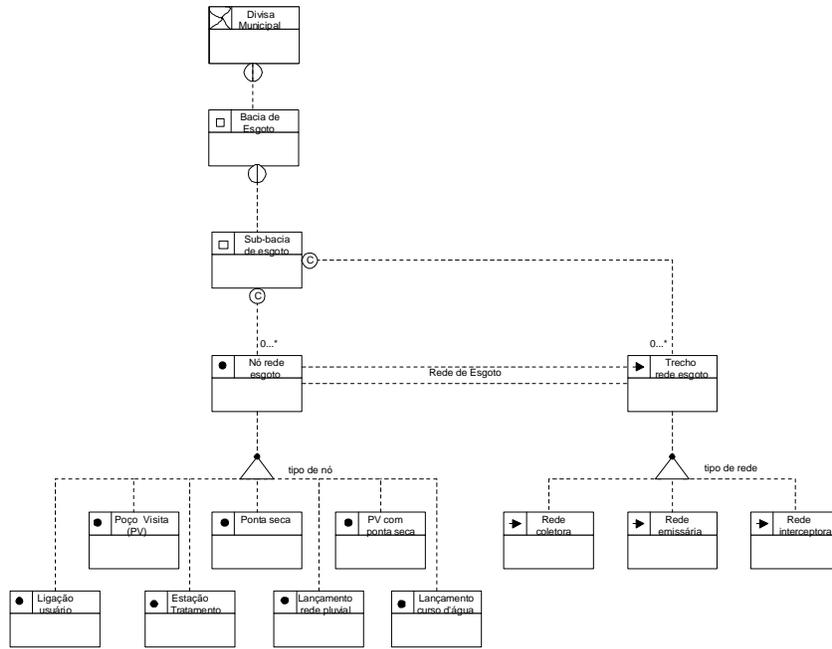


Figura 53 - Esquema Simplificado da Rede de Esgoto

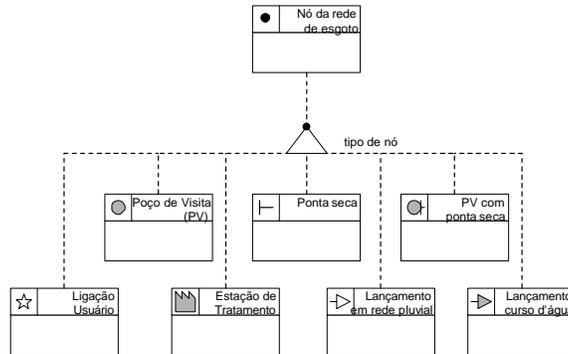


Figura 54 - Substituição do símbolo padrão pelo símbolo real

4.6.3 Base Cadastral Urbana

O município possui quadras que são subdivididas em lotes. Os lotes podem ser territoriais, quando não existirem construções ou edificados. Os lotes edificados possuem uma ou mais edificações. Os endereços das edificações (Número de Porta = num.logradouro + num imóvel) estão dentro da área do lote. Somente os lotes edificados possuem endereço.

No arquivo de IPTU um imóvel pode ser predial ou territorial. Um imóvel predial estará associado a uma edificação, quando for possível, e ao lote gráfico. Os imóveis prediais podem ser georreferenciados pelo endereço no entanto, os imóveis territoriais para serem georreferenciados deverão usar a associação com o lote gráfico.

As curvas de nível ocupam todo o município sendo que é possível saber a cota de qualquer ponto na base geográfica.

O número de porta pertence a um logradouro e está em frente a um trecho da malha viária. A figura 55 mostra o esquema da aplicação.

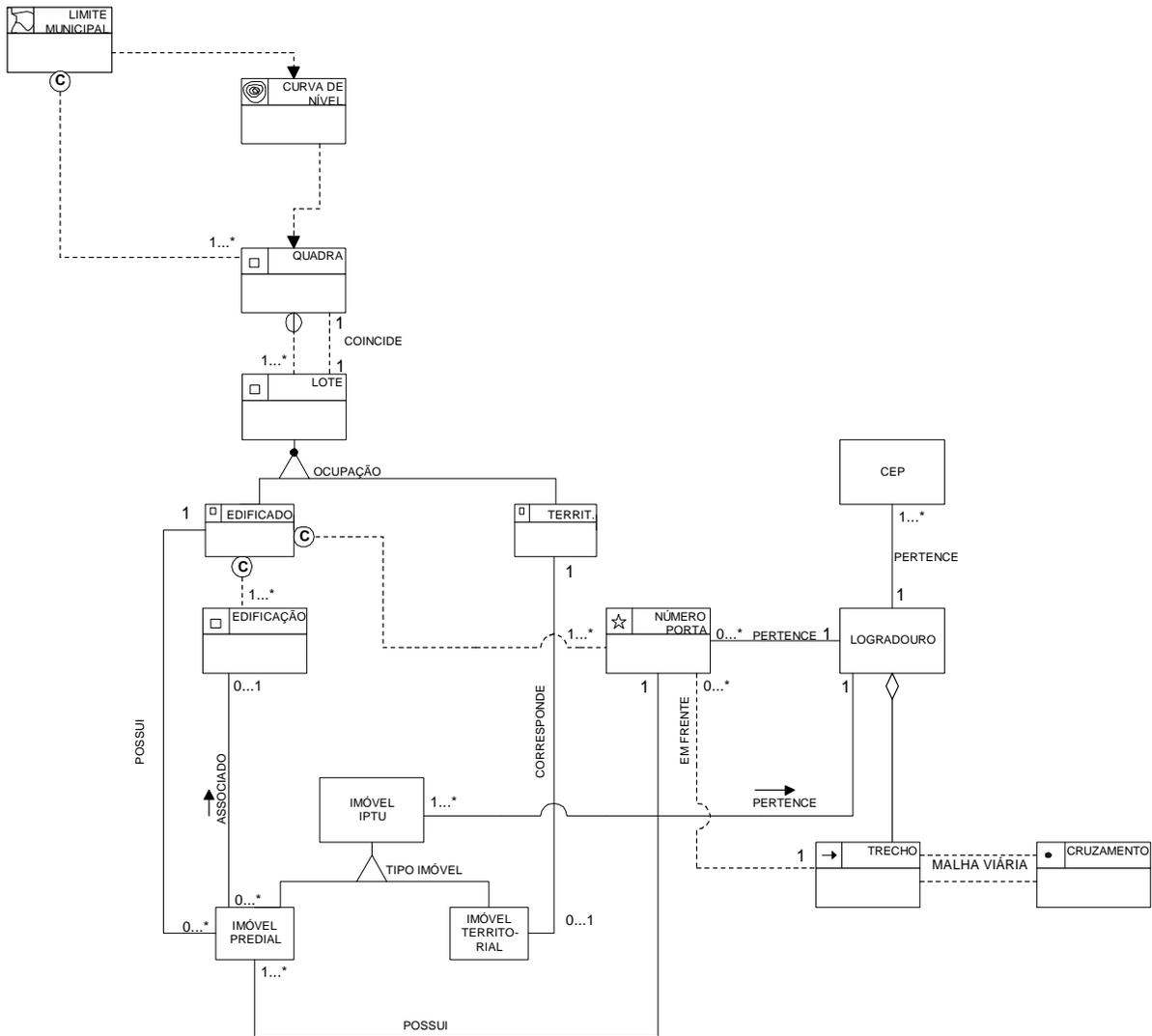


Figura 55 - Esquema parcial da Base Cadastral

4.6.4 Exercícios

Exercício 1

Uma área de concessão corresponde a uma área geográfica de atuação da Eletropaulo. A estrutura organizacional interna da empresa divide a área de concessão em uma ou mais áreas regionais, baseada em alguns requisitos tais como região de atuação, departamento, divisão e seção em questão. Adicionalmente, é de grande interesse da empresa o armazenamento de informações relativas às áreas geográficas eletricamente isoladas entre si, as chamadas regiões elétricas.

Um município é uma área administrativa autônoma do Estado. No banco de dados do SIGRADE, para cada município são armazenadas informações tais como o nome, o código e a área total de ocupação. Em um município, existem diversas localidades técnicas, que são áreas geográficas definidas com o objetivo de atendimento técnico da rede elétrica e dos consumidores.

Outro elemento importante do modelo de dados do SIGRADE é a entidade divisa de lote. Uma divisa de lote representa a testada de um determinado lote em uma determinada quadra. Cada instância desta entidade possui informações relativas ao número do lote na rua, à descrição da divisa e à quadra à qual o lote está associado. Para cada divisa existe um único número associado. Em adição, para cada quadra são armazenadas as edificações de destaque nelas localizadas.

As divisas de lote são adjacentes aos eixos de logradouro. Um eixo de logradouro é uma porção definida entre dois cruzamentos consecutivos. Desta forma, um logradouro é formado por um ou mais eixos de logradouros e representa uma via pública. No banco de dados do sistema, para cada logradouro são armazenadas informações como código, o nome e o seu título, entre outras”. A Figura 56 apresenta o esquema do MUB feito no modelo OMT.

(Descrição do esquema do MUB (mapeamento Urbano) da Eletropaulo constante do artigo *Construção de um modelo unificado a partir de sistemas stand-alone* – Cristina Aguiar e Cláudia Bauzer Medeiros- Gis Brasil 96)

A partir da descrição acima e do esquema na figura 56, avaliar a clareza do esquema quanto:

- existência de entidades gráficas e alfanuméricas
- tipo da entidade gráfica
- relacionamentos espaciais
- restrições de integridade espaciais

Gerar o esquema equivalente utilizando o Geo-OMT

Modelo Eletropaulo

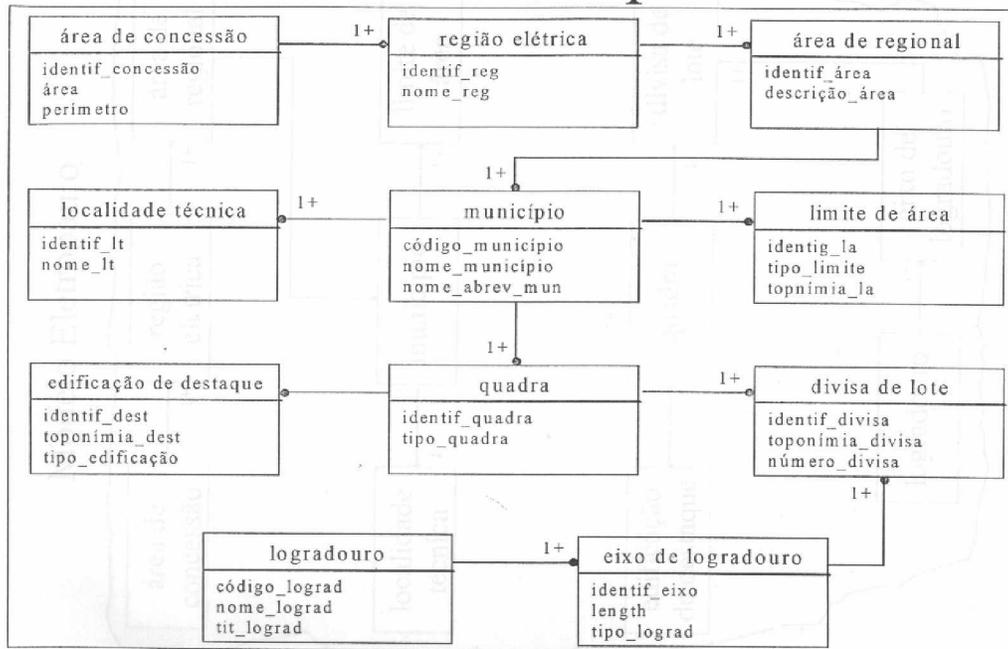


Figura 56 - Esquema do MUB

Exercício 2

O objetivo da aplicação é identificar os possíveis focos de Dengue dentro de município de Belo Horizonte.

Deverão ser identificados todos os lotes vagos, todas as borracharias, floriculturas e ferro velho. Todas as áreas verdes, córregos e rios também deverão ser identificados. Todas as notificações de Dengue, obtidas através da Secretaria de Saúde, deverão ser georreferenciadas pelo endereço do paciente.

O resultado será um mapa por distrito sanitário contendo as quadras com o total de lotes vagos, os casos de dengue registrados pontualmente, a localização das borracharias, floriculturas e ferro velhos, as áreas verdes, os rios e córregos.

O município é subdividido em Distritos Sanitário. Cada distrito possui uma identificação e é responsável pela área que ele abrange ou seja, cada quadra dentro do município pertence apenas a um Distrito Sanitário.

As atividades de Borracharia, floricultura e ferro velho podem ser obtidas através do arquivo convencional de Atividades-ISS e georreferenciadas pelo endereço (Num. Logradouro + num. Imóvel). Cada atividade georreferenciada está relacionada com o arquivo convencional contribuinte-ISS onde estão armazenados os dados do contribuinte que está exercendo a atividade.

Os lotes vagos podem ser localizados no arquivo convencional de IPTU. No entanto, o seu georreferenciamento deverá ser feito através dos campos num.setor e num.quadra.

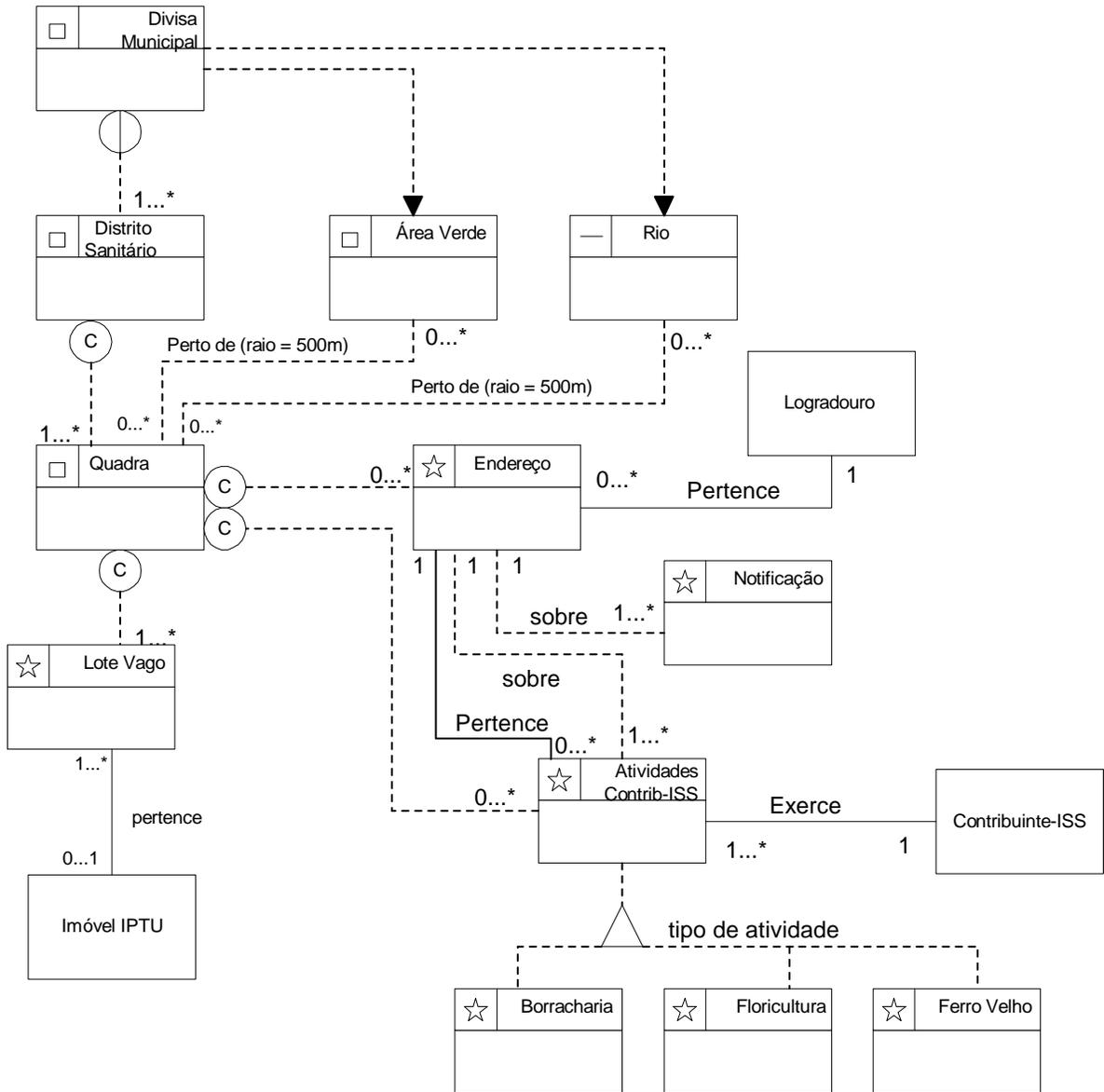
Como os lotes não estão fechados, não será possível localizar individualmente cada lote. Serão localizadas todas as quadras que possuem lotes vagos. A chave de identificação de uma quadra é num. setor + num. quadra. A localização lote vago estará associada ao arquivo convencional Imóvel IPTU para obtenção do proprietário do lote.

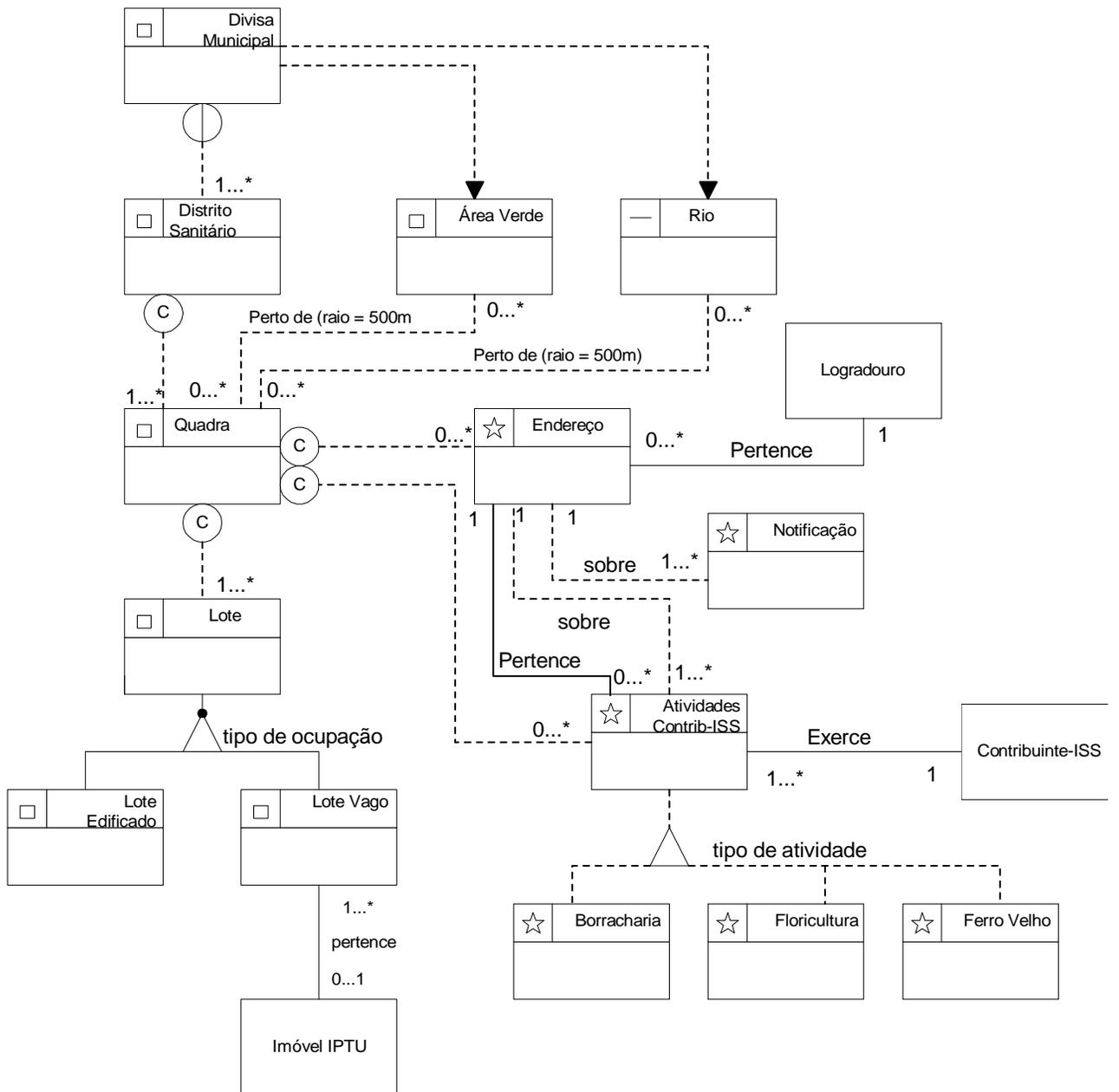
O Endereço é uma entidade gráfica simbólica localizado na base geográfica e será sobre ele que as atividades e notificações estarão localizadas.

O número e nome do logradouro estão no arquivo convencional Logradouro. Este arquivo estará relacionado com o endereço e as notificações.

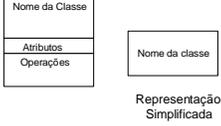
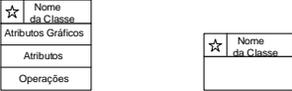
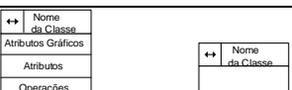
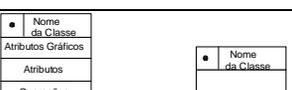
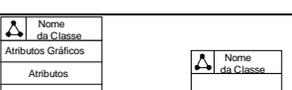
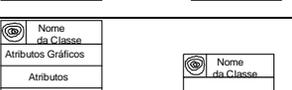
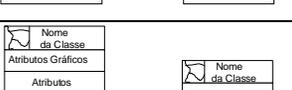
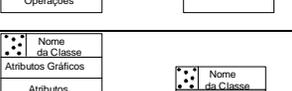
Analisar o problema apresentado e modelar a aplicação utilizando o modelo Geo-OMT.

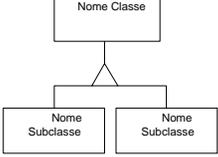
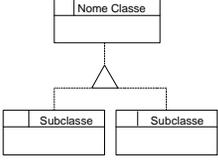
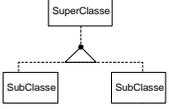
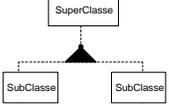
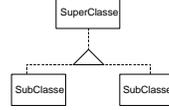
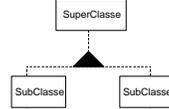
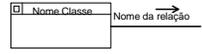
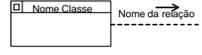
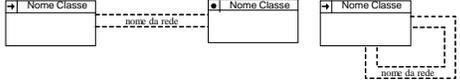
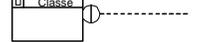
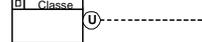
Caso os lotes já estivessem fechados (polígonos) na base geográfica, qual será a diferença no esquema feito anteriormente?

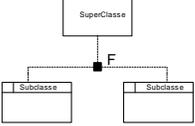
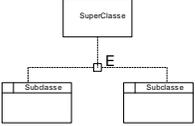




LEGENDA – MODELO DE DADOS Geo-OMT

<i>Representação Gráfica</i>	Significado
 <p>Representação Simplificada</p>	Classe Convencional
	Classe Georreferenciada Geo-objeto Linha Ex- Muro
	Classe Georreferenciada Geo-objeto Ponto (símbolo) Ex- Árvore
	Classe Georreferenciada Geo-objeto Polígono Ex- Lote
	Classe Georreferenciada Geo-objeto Linha uni-direcionada Ex- Trecho da rede de esgoto
	Classe Georreferenciada Geo-objeto Linha bi-direcionada Ex- Trecho da rede de água
	Classe Georreferenciada Geo-objeto Nó Ex- Poço de visita
	Classe Georreferenciada Geo-campo Rede triangular irregular Ex- TIN
	Classe Georreferenciada Geo-campo Isolinha Ex- Curva de Nível
	Classe Georreferenciada Geo-campo Polígonos Adjacentes Ex- Divisão de regiões administrativas
	Classe Georreferenciada Geo-campo Tesselação Ex- Imagem de Satélite
	Classe Georreferenciada Geo-campo Amostragem Ex- Pontos cotados (altimetria)

Representação Gráfica	Significado
	<p>Generalização As subclasses herdam os atributos da superclasse</p>
	<p>Generalização Espacial As subclasses possuem atributos gráficos diferentes da superclasse no entanto, herdam os atributos alfanuméricos</p>
	<p>Generalização Espacial disjunta/total A superclasse é a união de subclasses disjuntas</p>
	<p>Generalização Espacial sobreposta/total a união de instâncias das subclasses equivalem ao conjunto das instâncias da superclasse, existindo instâncias que pertençam a mais de uma subclasse</p>
	<p>Generalização Espacial disjunta/parcial Nem todas instâncias da superclasse estão representadas nas subclasses disjuntas.</p>
	<p>Generalização Espacial sobreposta/parcial Nem todas instâncias da superclasse estão representadas nas subclasses e as instâncias existentes nas subclasses podem pertencer simultaneamente a mais de uma subclasse.</p>
	<p>Associação Simples</p>
	<p>Relacionamento Espacial</p>
	<p>Hierarquia Espacial</p>
	<p>Relacionamento em Rede</p>
	<p>Agregação</p>
	<p>Agregação Espacial Subdivisão Espacial (subdividido em)</p>
	<p>Agregação Espacial União Espacial (união de)</p>
	<p>Agregação Espacial Contém</p>

<p><i>Representação Gráfica</i></p>	<p>Significado</p>
	<p>Generalização Cartográfica pela Forma sobreposta / total</p>
	<p>Generalização Cartográfica por Escala disjunta / total</p>
<p>Nome da classe <input type="text"/> 0..* _____</p>	<p>Cardinalidade Zero ou mais</p>
<p>Nome da classe <input type="text"/> 0..1 _____</p>	<p>Cardinalidade Zero ou um</p>
<p>Nome da classe <input type="text"/> 1..* _____</p>	<p>Cardinalidade Um ou mais</p>
<p>Nome da classe <input type="text"/> 1 _____</p>	<p>Cardinalidade Exatamente um</p>

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [AbCa94] ABRANTES, Graca, CARAPUCA, Rogerio. Explicit representation of data that depend on topological relationships and control over data consistency. In: FIFTH EUROPEAN CONFERENCE AND EXHIBITION ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS – EGIS/MARI'94, 19917. *Proceedings...*v.1,p.869-877. (<http://www.wsgi.ursus.maine.edu/gisweb/egis/eg94100.html>)
- [AbHu87] ABITEBOUL, Serge, HULL, Richard. IFO: a formal semantic database model. *ACM Transactions on Database Systems*, v.12, n.4, p.525-565, 1987.
- [Abri74] ABRIAL, J. Data semantics. In: KLIMBIE, J., KOFFEMEN, K.(Eds.). *Data Base management*.North-Holland, amsterdam, 1974, p.1-59.
- [BaCN92] BATINI, C.,CERI, S., NAVATHE, S.B. *Conceptual database design: an entity relationship approach*. Redwood, CA: Benjamin Cummings, 1992.
- [BCMM96] BÉDARD, Y., CARON, C., MAAMAR, Z., MOULIN, B., VALLIÈRE, D. Adapting data models for the design of spatio-temporal databases. *Computers, Environment and Urban Systems*, London, v.20, n.1, p.19-41, 1996.
- [Benn96] BENNETT, David A. A framework for the integration of geographical information systems and modelbase management. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.11, n.4, p.337-357, 1997.
- [BePa89] BÉDARD, Yvan, PAQUETTE, François. Extending entity-relationship formalism for a spatial information systems. . In: 9th AUTOCARTO, 1989. *Proceedings...* p.818-828.
- [Bert67] BERTIN, Jaques. *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris: Mouton et Gauthier-Villars, 1967. 431p.
- [BoFo96] BORGES, Karla A. V., FONSECA, Frederico T. Modelagem de dados geográficos em discussão. In: GIS BRASIL96, 1996, Curitiba. *Anais...* p.525-532.
- [Borg97] BORGES, Karla A. V. *Modelagem de dados geográficos –uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas*. Belo Horizonte, MG: ESCOLA DE GOVERNO DE MINAS GERAIS, Fundação João Pinheiro, 1997. (Dissertação de Mestrado).
- [Bote95] BOTELHO, Márcio A. *Incorporação de facilidades espaço-temporais em banco de dados orientados a objetos*. Campinas, SP: UNICAMP, 1995. (Dissertação de Mestrado).

- [Brod84] BRODIE, M. L. On the development of data models. In: BRODIE, M. L., MYLOPOULOS, J., SCHMIDT, J. W. (Eds.). *On conceptual modeling*. New York: Spring-Verlag, 1981. p.19-48.
- [BuJF95] BUNDY, G., JONES, C., FURSE, E. Holistic generalization of large-scale cartographic data. In: MÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. *GIS and generalization: methodology and practice*. GISDATA I, serie editors. Londres: Taylor & Francis, 1995. Cap.8, p.106-119.
- [Butt95] BUTTENFIELD, Barbara P. Object-oriented map generalization: modeling and cartographic considerations. In: MÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. *GIS and generalization: methodology and practice*. GISDATA I, serie editors. Londres: Taylor & Francis, 1995. Cap.7, p.91-105.
- [CaBe93] CARON, Claude, BÉDARD, Yvan. Extending the individual formalism for a more complete modeling of urban spatially referenced data. *Computers, Environment and Urban Systems*, London, v.17, p.337-346, 1993.
- [Cama95] CÂMARA, Gilberto. *Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos*. São José dos Campos, SP: INPE, 1995. (Tese de Doutorado).
- [CCHM96] CÂMARA, G., CASANOVA, M., HEMERLY, A., MAGALHÃES, G., MEDEIROS, C. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197p.
- [Cere96] CEREJA, Newton. *Visões em sistemas de informações geográficas: modelos e mecanismos*. Campinas, SP: UNICAMP, 1996. (Dissertação de Mestrado).
- [Ceza97] CÉZAR Neto, Joel. *Gerador de esquema físico relacional a partir de um diagrama TMO para ambiente WWW*. Belo Horizonte, MG. UFMG, 1997. (Dissertação de Mestrado).
- [CFSC94] CAMARA, G., FREITAS, U., SOUZA, R., CASANOVA, M., HEMERLY, A., MEDEIROS, C. A model to cultivate objects and manipulate fields. In: 2ND ACM WORKSHOP ON ADVANCES IN GIS, 1994, *Proceedings...*p.20-28.
- [Chen76] CHEN, P. The entity-relationship model - toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems*, v.1,n., p.9-36,1976.
- [ClFo93] CLEMENTINI, E., FELICE P., OOSTEROM, P. A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction. In: 3rd SYMPOSIUM SPATIAL DATABASE SYSTEMS, 1993, *Proceedings...*p.277-295.

- [CoYo91] COAD, P., YOURDON, E., 1991, *Object-Oriented Analysis.*, 2nd edition. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- [Cros93] CROSBIE, Peter. Reality of object-oriented GIS. In: 31st ANNUAL CONFERENCE OF THE URBAN AND REGIONAL INFORMATION SYSTEMS ASSOCIATION – URISA'93, Atlanta, 1993. *Proceedings...v.1*, p.188-199.
- [DaBo94] DAVIS Jr., Clodoveu, BORGES, Karla A. V. Object-oriented GIS in practice. In: 32nd ANNUAL CONFERENCE OF THE URBAN AND REGIONAL INFORMATION SYSTEMS ASSOCIATION – URISA'94, Milwaukee, 1991. *Proceedings...* p.786-795.
- [Dang90] DANGERMOND, Jack. A classification of software components commonly used in Geographic Information Systems. In: MARBLE, Duane, PEUQUET, Donna. *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis, 1990. p.30-51
- [Davi97] DAVIS Jr., Clodoveu. GIS: dos conceitos básicos ao estado da arte. *Espaço BH*, Belo Horizonte, n.1, p.5-8, 1997.
- [Ditt86] DITTRICH, K. Object-oriented database systems: The notion and the issues. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON OBJECT-ORIENTED DATABASE, 1986, Pacific Grove, CA. *Proceedings...IEEE*, New York, p.2-17.
- [Egen95] EGENHOFER, Max J. Object-oriented GISs: the principles. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1995, São Paulo. *Anais...* p.175-203.
- [EgFr91] EGENHOFER, Max J., FRANZOSA, Robert D. Point-set topological spatial relations. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.5, n.2, p.161-174, 1991.
- [EgFr92] EGENHOFER, Max J., FRANK, Andrew U. Object-oriented modeling for GIS. *Journal of Urban and Regional Information Systems Associations*, Madison, v.4, n.2, p.3-19, Fall 1992.
- [EgHe90] EGENHOFER, Max J., HERRING, J. A mathematical framework for the definition of topological relationships. In: 4th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING, 1990. *Proceedings...*p.803-813.
- [EKFM90] EGENHOFER, M. J., KUHN, W., FRANK, A. U., MCGRANAGHAN, M. *Addresses different aspects of formalizing human communication about geographic space*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1990. Technical Report 90-13.
- [ElNa94] ELMASRI, R., NAVATHE, S. *Fundamental of database systems*. 2nd Edition. Menlo Park, CA: Addison-Wesley, 1991. 873p.

- [ElWH85] ELMASRI, R., WEELDREYER, J., HEVNER, A. The category concept: an extension to entity-relationship model. *International Journal on Data and Knowledge Engineering*, v.1, n.1, 1985.
- [Feut93] FEUTCHWANGER, M. *Towards a geographic semantic data model*. Simon Fraser University, 1993. (PhD thesis).
- [Fran92] FRANK, Andrew U. Spatial concepts, geometric data models, and geometric data structures. *Computers & Geoscience*, London, v.18, n.4, p.409-417, 1992.
- [Fran96] FRANK, Andrew U. Qualitative spatial reasoning: cardinal directions as an example. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.10, n.3, p.269-290, 1996.
- [Free75] FREEMAN, J. The modelling of spatial relations. *Computer Graphics and Image Processing*, n.4, p.156-171, 1975.
- [FrGo90] FRANK, Andrew U., GOODCHILD, Michael F. *Two perspectives on geographical data modeling*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1990. Technical Report 90-11.
- [Gatr91] GATRELL, A. C. Concepts of space and geographical data. In: MAGUIRE, D. J., GOODCHILD, M. F., RHIND, D. W. *Geographical Information Systems: principles and applications*. Longman Scientific & Technical, 1991. Cap.9, p.119-1317.
- [GoHo91] GOGOLLA, M., HOHENSTEIN, U. Towards a semantic view of an extended entity-relationship model. *ACM Transactions on Database Systems*, v.16, n.3, 1991.
- [Good92] GOODCHILD, Michael F. Geographical data modeling. *Computers & Geoscience*, London, v.18, n.4, p.401-408, 1992.
- [Hann95] HANNA, Magdy S. A close at the IFO data model. *Sigmod Record*, v.24, n.1, p.21-26, 1995.
- [HuKi87] HULL, Richard, KING, Roger. Semantic database modeling: survey, applications, and research issues. *ACM Computing Surveys*, v.19, n.3, p.201-260, 1987.
- [KaCh95] KANG, S., CHOY, Y. Object-Relational data modeling for GIS. In: GIS/LIS'95, 1995, Nashville. *Proceedings...* v1, p.535-5417.

- [Kemp92] KEMP, Karen K. *Environmental modeling with GIS: a strategy for dealing with spatial continuity*. Santa Barbara: University of California, 1992. (PhD thesis).
- [KöPS95] KÖSTERS, G., PAGEL, B., SIX, H. Object-oriented requirements engineering for GIS-applications. In: ACM-GIS INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 1995, Baltimore. *Proceedings...*p.61-69.
- [KöPS96] KÖSTERS, G., PAGEL, B., SIX, H. GIS-application development with GeoOOA. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.11, n.4, p.307-335, 1997.
- [LaF194] LAENDER, Alberto H. F., FLYNN, Donal J. A semantic comparison of modelling capabilities of the ER and NIAM models. In: ELMASRI, R., KOURAMAJIAN, V., THALHEIM, B.(eds.). *Entity-Relationship approach – ER'93*. Berlin: Springer-Verlag, 19917. p.242-256.
- [LaTh92] LAURINI, Robert, THOMPSON, Derek. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. London: Academic Press, 1992. 680p.
- [LeCh95] LEE, Y. C., CHIN, F. L. An iconic query language for topological relationships. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.9, n.1, p.25-46, 1995.
- [Lito96] LISBOA F., Jugurta., IOCHPE, Cirano. *Análise comparativa dos modelos de dados conceituais para sistemas de informações geográficas*. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1996. RP- 266.
- [Lisb97] LISBOA F., Jugurta. *Modelos conceituais de dados para sistemas de informações geográficas*. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1997. EQ- 12.
- [MaES95] MARK, David M., EGENHOFER, Max. J., SHARIFF, Abdul R. M. Towards a standard for spatial relations in SDTS and geographic information systems In: GIS/LIS'95, 1995, Nashville. *Proceedings...* v.2, p.686-695.
- [MaFr90] MARK, David M., FRANK, Andrew U. *Language issues for geographical information systems*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1990. Technical Report 90-10.
- [MeBo96] MEDEIROS, C. B., BOTELHO, M. A. Tratamento do tempo em SIG. In: BRASIL96, 1996, Curitiba. *Anais...* p.534-553.
- [MePi94] MEDEIROS, Claudia B., PIRES, Fátima. Databases for GIS. *SIGMOD Record*, v.23, n.1, p.107-115, 19917.

- [Monm91] MONMONIER, Mark. *How to lie with maps*. Chicago: The University of Chicago Press, 1991. 176p.
- [MWLS95] MÜLLER, J. C.; WEIBEL, R.; LAGRANGE, J. P.; SALGÉ, F. Generalization: state of art and issues. In: MÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. *GIS and generalization: methodology and practice*. GISDATA I, serie editors. Londres: Taylor & Francis, 1995. Cap.1, p.3-17.
- [NaFe94] NATIVI, Stefano, FEDERICI, Giorgio. A conceptual modelling for the GIS developing. In: FIFTH EUROPEAN CONFERENCE AND EXHIBITION ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS – EGIS/MARI'94, 19917. *Proceedings...* v.1,p.899-908.
(<http://wwwwsgi.ursus.maine.edu/gisweb/egis/eg94102.html>)
- [Nava92] NAVATHE, Shamkant B. Evolution for data modeling for databases. *Communications of the ACM*, v.35, n.9, p.112-123, 1992.
- [OlPM97] OLIVEIRA, Juliano L., PIRES, Fátima, MEDEIROS, Claudia. B. An environment for modeling and design of geographic applications. *GeoInformatica*, Boston, n.1, p.29-58, 1997.
- [PaTh97] PAPADIAS, Dimitris, THEODORIDIS, Yannis. Spatial relations, minimum bounding rectangles, and spatial data structures. *International Journal of Geographical Information Science*, London, v.11, n.2, p.111-138, 1997.
- [PeBS97] PEREZ, Celso R.; BATISTA, Daniela C. F.; SALGADO, Ana Carolina. BDGEO: modelagem, implementação e visualização de dados geográficos. In: GIS BRASIL97, 1997, Curitiba. *Anais...* p.252-262.
- [Peuq84] PEUQUET, Donna J. A conceptual framework and comparasion of spatial data models. *Cartographica*, n.21, p.666-113, 19817.
- [Pime95] PIMENTEL, Flávio Leal A. *Uma proposta de modelagem conceitual para dados geográficos: o modelo MGEO⁺*. Recife, PE: UFPE, 1995. (Dissertação de Mestrado).
- [PuEg88] PULLAR, D. V., EGENHOFER, M. J. Towards the defaction and use of topological relations among spatial objects. In: 3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING (Columbus: International Geographical Union), 1988. *Proceedings...*p.225-242.
- [Rati97] RATIONAL Software Corporation. *The Unified Language: notation guide*, version 1.1 July 1997. (<http://www.rational.com>).

- [RBPE91] RUMBAUGH, J., BLAHA, M., PREMERLANI, W., EDDY, F., LORENSEN, W. *Object-Oriented Modeling and Design*. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.
- [Reno97] RENOLEN, Agnar. Conceptual modelling and spatiotemporal information systems: how to model the real world. In: 6th SCANDINAVIAN RESEARCH CONFERENCE ON GIS (SCANGIS'97), Estocolmo, 1997. Proceedings... (<http://www.iko.unit.no/home/agnar>)
- [RuLa95] RUAS, A., LAGRANGE, J. P. Data and knowledge modelling for generalization. In: MÜLLER, J. C., LAGRANGE, J. P., WEIBEL, R. *GIS and generalization: methodology and practice*. GISDATA I, serie editors. Londres: Taylor & Francis, 1995. Cap.6, p.73-90.
- [Rumb96] RUMBAUGH, James. *OMT insights: perspectives on modeling from the Journal of Object-Oriented Programming*. New York: SIGS Books, 1996. 390p.
- [SanF79] Dos SANTOS, C., NUHOLD, E., FURTADO, A. A data type approach to entity-relationship model. In: 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTITY-RELATIONSHIP APPROACH, 1979, Los Angeles, CA. *Proceedings...*
- [SCGL97] SHEKHAR, S., COYLE, M., GOYAL, B., LIU, D., SARKAR, S. Data model in geographic information systems. *Communications of the ACM*, v.40, n.4, p.103-111, 1997.
- [scsw79] SCHEUERMANN, P., SCHIFFNER, G., WEBER, H. Abstraction capabilities and invariant properties modeling within the entity-relationship approach. In: 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTITY-RELATIONSHIP APPROACH, 1979, Los Angeles, CA. *Proceedings...*
- [Ship81] SHIPMAN, D. The functional data model and the data language DAPLEX. *ACM Transactions on Database Systems*, v.6 n.1, 1981.
- [SiKe77] SIBLEY, E., KERSCHBERG, L. Data architecture and data model considerations. *Proceedings of the National Computer Conference*. American Federation of information Processing Societies, n.46,1977
- [SmSm77] SMITH, J., SMITH, D. Database abstraction: aggregation and generalization. *ACM Transactions on Database Systems*, v.2, n.2, 1977.
- [StMa97] STRAUCH, Júlia, MATTOSO, Marta. Orientação a objetos aplicada aos GIS. *Fator GIS*, n.20, p.58-60, 1997.

- [TeYF86] TEOREY, T., YANG, D., FRY, J. A logical design methodology for relational databases using the extended entity-relationship model. *ACM Computing Surveys*, v.18, n.2, 1986.
- [TiSa94] TIMES, Valéria C., SALGADO, Ana Carolina. Uma modelagem orientada a objetos para aplicações geográficas. In: 9º SIMPÓSIO BRASILEIRO, 1992, São Carlos-SP. *Anais...* p.293-309.
- [WoHM90] WORBOYS, Michael F., HEARNshaw, Hilary M., MAGUIRE, David J. Object-oriented data modelling for spatial databases. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.4, n.4, p.369-383, 1990.
- [Worb94] WORBOYS, Michael F. Object-oriented approaches to geo-referenced information. *International Journal of Geographical Information Systems*, London, v.8, n.4, p.385-399, 19917.
- [Worb94a] WORBOYS, Michael F. A unified model for spatial and temporal information. *The Computer Journal*, v.37, n.1, p.26-34, 19917.