

Fábio Marcondes Lima Santos

**ESTUDO DOS MECANISMOS DE SGBD PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE RESTRIÇÕES DE
INTEGRIDADE ESPACIAL EM BANCOS DE DADOS
GEOGRÁFICOS.**

XIII Curso de Especialização em
Geoprocessamento
2011



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartog@igc.ufmg.br

FÁBIO MARCONDES LIMA SANTOS

**ESTUDO DOS MECANISMOS DE SGBD PARA IMPLEMENTAÇÃO DE
RESTRICÇÕES DE INTEGRIDADE ESPACIAL EM BANCOS DE DADOS
GEOGRÁFICOS.**

Monografia apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de especialista em
Geoprocessamento.
Curso de especialização em Geoprocessamento.
Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências.
Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Clodoveu Augusto Davis Jr

BELO HORIZONTE

2011

S237e
2011

Santos, Fábio Marcondes Lima.
Estudo dos mecanismos de SGBD para implementação de restrições
de integridade espacial em bancos de dados geográficos [manuscrito] /
Fábio Marcondes Lima Santos. – 2011.
x, 46 f. : il. (color.)

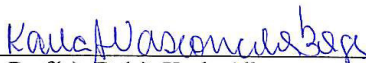
Monografia (especialização em Geoprocessamento) – Universidade
Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2011.
Orientador: Clodoveu Augusto Davis Junior.
Bibliografia: f. 46.

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Integridade de dados. 3.
Geoprocessamento. 4. Banco de dados – Gerência. I. Davis Junior,
Clodoveu Augusto. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de
Geociências. III. Título.

CDU: 004.65

Aluno (a) Fábio Marcondes Lima Santos

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 23 de novembro de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Prof(a). Dr(a). Karla Albuquerque de Vasconcelos Borges



Prof(a). Dr(a). Clodoveu Augusto Davis Júnior

AGRADECIMENTOS

A professora Karla Albuquerque e ao professor e orientador Clodoveu Davis, muito obrigado por terem me apresentado e ensinado seus conhecimentos na área de Geoprocessamento.

Ao Eduardo Bhering, Gerente do CTM - PRODABEL que proporcionou desenvolver minha monografia, orientando com seus ensinamentos e que em momento algum deixou de me repassar informações para que meu trabalho fosse concluído.

A todos que de certa forma ajudaram para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho objetivou demonstrar subsidiar e propor alternativas, para mapeamento das restrições de integridade espacial, representadas em um esquema conceitual para o modelo de implementação num SGBD com suporte a representação de objetos geográficos (*Oracle Spatial*).

Estudou caso representativo (Case GCOT- Base de Dados simplificada do CTM e Rede Ótica Metropolitana- ROM) em relação às restrições de integridade identificadas para validação das regras de mapeamento.

Ressaltamos que o resultado desse trabalho, trará subsídios importantes e vai disponibilizar aos profissionais que trabalham com implementação de Bancos de Dados Espaciais, roteiro para realizar o mapeamento e implementação física das Restrições de Integridade.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	x
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	11
1.1 – Apresentação.....	11
1.2 – Objetivos.....	12
1.2.1 – Geral.....	12
1.2.2 – Específico.....	12
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 – Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados.....	13
2.2 – Bancos de Dados Geográficos.....	14
2.3 – Modelo OMT-G.....	15
2.4 – Restrições de Integridade Espacial.....	18
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE TRABALHO.....	24
3.1 -Recursos do Oracle que serão utilizados no mapeamento.....	25
3.2 - Mapeamento.....	26
3.2.1- Restrição 2 – Isolinhas.....	28
3.2.2- Restrição 4 – Subdivisão Planar.....	29
3.2.3- Restrição 6 – Relacionamento Topológicos.....	30
3.2.4- Restrição 9 – Agregação Espacial.....	31
3.2.5- Restrição 10 – Restrições de Tipo de Objeto.....	31
3.2.6- Restrição 11 – Validação de Geometria	32
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO	33
4.1 Caracterização do Estudo de Caso.....	33
4.2 Base Cartográfica do Município de Belo Horizonte.....	33
4.3 Modelo de dados OMT-G.....	34
4.4 Projeto Conceitual.....	34
4.5 Projeto Lógico.....	35
4.6 Verificação Das Restrições De Integridade Espacial.....	36
4.7 Restrições De Integridade Espaciais Analisadas e Respectives Identificações.....	37
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

LISTA DE FIGURAS

Pág.

2.0 - Representação de Classes Geográficas e Convencionais.....	15
2.1 - Representação de Classes Básicas do modelo OMT-G.....	16
2.2 - Classes descendentes de Geo-Campo	16
2.3 - Classes descendentes de Geo-Objetos.....	17
2.4 - Representações de Integridade Topológicas	18
2.5 - Pontos (Especializações)	19
2.6 - Isolinhas.....	20
2.7 - Subdivisão Planar	21
2.8 - Rede Triangular	21
2.9 - Operações Topológicas (Exemplos).....	22
2.10- Operações Topológicas sobre Objetos Geométricos	23
3.0 - Tipos de Geometria (Oracle).....	25
4.0 - Projeto Conceitual dos Ativos da ROM.....	34
4.1 - Projeto Lógico dos Ativos da ROM.....	35

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
4.1 - Metadados da tabela Limite Município.....	36
4.2 - Metadados da tabela Quadractm	36
4.3 - Metadados da tabela Meio Fio	36
4.4 - Metadados da tabela Regional.....	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SGDB - Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SQL - Structured Query Language

TIN - Triangulated Irregular Networks

UML - Unified Modelling Language

PBH - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

PRODABEL - Empresa de Informática e Informação do Município de BH

BHTrans- Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte

CTM - Cadastro Técnico Municipal

ROM – Rede Ótica Metropolitana

SLU - Superintendência de Limpeza Urbana

BDG - Banco de Dados Geográficos

SMF - Secretaria Municipal da Fazenda

SMARU - Secretaria Municipal da Regulação Urbana

SMSA - Secretaria Municipal da Saúde

SMED - Secretaria Municipal da Educação

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Nosso objeto de estudo abrange a natureza da informação espacial, Relacionamentos Espaciais, Sistema Gerenciador de Bancos de Dados, Banco de Dados Geográficos, Restrições de Integridade Espacial, a partir do modelo OMT-G, inclusive em fases iniciais do Projeto.

Restrições de integridade são usadas para garantir a exatidão e a consistência dos dados em um Banco de Dados.

Os Sistema Gerenciador de Bancos de Dados ditos espaciais não implementam as Restrições de Integridade Espaciais com a mesma qualidade das restrições usuais em Bancos de Dados Relacionais

Diversas restrições de integridade devem ser observadas quando se realiza alguma atualização em um Banco de Dados, de modo a preservar a semântica e a qualidade dos dados armazenados.

Identificamos elementos presentes no modelo de dados do CTM e Ativos Ópticos da Rede Ótica Metropolitana (ROM), que apresentaram um conjunto significativo em relação às Restrições de Integridade Espacial.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

O objetivo geral é propor alternativas para implementação das restrições de integridade espacial, representadas em um esquema conceitual para o modelo de implementação num Sistema Gerenciador de Banco de Dados como suporte a representação de objetos geográficos (*Oracle Spatial*).

1.2.2 Específico

Como objetivos específicos podemos citar:

- Disponibilizar aos profissionais que trabalham com implementação de Bancos de Dados Espaciais, roteiro para realizar o mapeamento das restrições de integridade;
- Transferência da responsabilidade de verificação da integridade espacial para o Sistema Gerenciador de Bancos de Dados;
- Proporcionar aos usuários uma melhor resposta ao acessar e utilizar os serviços disponibilizados;
- Qualidade dos dados.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção faremos uma breve descrição da base teórica e dos conceitos gerais relacionados a Sistemas Gerenciadores de banco de dados (SGBD), Banco de Dados Geográficos (BDG), Modelo OMT-G e Restrições de Integridades Espaciais.

2.1 Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD)

Um SGBD é definido como o conjunto de programas que servem para gerenciar um banco de dados, controlando o armazenamento e a disponibilização das informações nele contidas.

Um SGBD apresenta os dados numa visão independente dos sistemas aplicativos, além de garantir requisitos importantes:

Persistência – manutenção dos dados por longo tempo, independentemente dos aplicativos que acessem o dado;

Eficiência – acesso e modificações de grandes volumes de dados;

Concorrência – controle de acesso por múltiplos usuários;

Segurança – Evitar a violação da consistência dos dados;

Integridade – garantir que os dados armazenados sejam consistentes em relação a um conjunto de restrições;

As restrições de integridade são regras que definem a validade dos dados no BD.

Os principais tipos de restrições encontradas em aplicações convencionais são:

- Restrições de domínio
Definem o conjunto de valores permitidos para um determinado atributo.
- Restrições estruturais (chave, valor nulo)
Esquema de identificação única de objetos
Valores nulos são ou não permitidos em um dado atributo
- Restrições de integridade referenciais
Manter a consistência entre tuplas de duas relações, no modelo relacional

Além da especificação dessas regras de integridade para o Banco de Dados, o usuário deve poder especificar suas regras de negócio e restrições semânticas.

Os principais tipos de situações nesse grupo são:

- Cardinalidade: é um tipo de restrição de integridade que representa regras de negócio que quantificam a quantidade mínima e quantidade máxima de relacionamentos entre duas classes;
- Especialização/Generalização: Corresponde ao detalhamento/agrupamento de objetos baseado na avaliação de propriedades (atributos/relacionamento) comuns.
- Agregação: agregação é um conceito abstrato de construção de um objeto a partir de outros objetos.

O uso de um SGBD permite ainda realizar com maior facilidade, a interligação de banco de dados já existentes com o sistema de Geoprocessamento.

Os *softwares* SIG, tradicionalmente armazenavam os dados geográficos e seus atributos em arquivos internos (estrutura monolítica). Este tipo de solução vem sendo substituído pelo uso cada vez maior de SGBDs. Essa tendência em direção ao uso de SGBDs para armazenamento e recuperação de objetos espaciais é importante para os usuários, pois elimina os formatos proprietários.

Os SGBD espaciais de hoje não implementam as restrições de integridade espaciais com a mesma qualidade das restrições usuais em bancos de dados relacionais.

Quando a integração das restrições de integridade espaciais aos SGBD espaciais for implementada desenvolvedores e usuários de SIG poderão investir em outros recursos.

2.2 Bancos de Dados Geográficos (BDG)

Este trabalho de pesquisa não visa o desenvolvimento de banco de dados, mas é importante definir alguns conceitos básicos nesta área para o melhor entendimento da interface banco de dados – SIG.

Os dados que descrevem qualquer parte da superfície da Terra, ou seja, suas feições, são chamados de *dados geográficos*.

Dados espaciais são os dados geográficos que armazenam a localização geométrica de uma determinada feição.

São também conhecidos como mapas digitais.

Entre os dados geográficos, não são incluídos apenas os dados cartográficos, mas também dados com os tipos de solos, fotografias, dados de negócios comerciais, enfim bancos de dados que podem ser relacionados diretamente com as características geográficas, como os códigos de endereçamento postal, endereços de ruas, localizações de prédios públicos, regiões, cidades, estados e países.

Algumas distinções devem ser feitas quando se trata de banco de dados espaciais. Um banco de dados consiste em uma coleção de dados, que pode ser utilizada pelas aplicações de um sistema computacional (no caso um software SIG) ou em uma coleção de dados inter-relacionados.

Os bancos de dados seguem uma estruturação lógica baseada em modelos de dados. Os modelos lógicos baseados em registros são utilizados nas descrições dos dados, para especificar a estrutura lógica geral do banco de dados.

Um BDG é o repositório de dados de um software SIG, que armazena e recupera os dados geográficos em suas diferentes geometrias (imagens, vetores, grades), bem como as informações descritivas (atributos não espaciais).

2.3 Modelo OMT-G

OMT-G é um modelo de dados dotado de recursos para o projeto de bancos de dados e aplicações geográficas.

O modelo OMT-G baseia-se nas classes georreferenciadas e convencionais no qual estas classes se relacionam através de associações simples, topológicas de rede e espaciais; e elas são asseguradas por restrições de integridades semânticas criadas no banco de dados.

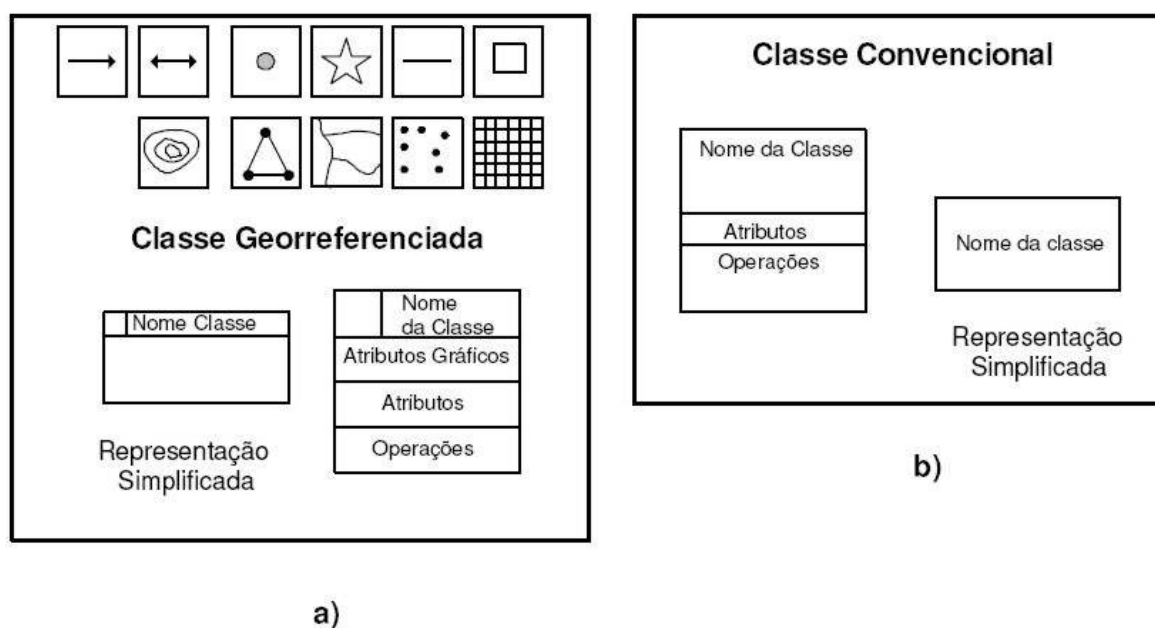


Figura 2.0 – Representação de Classes Geográficas e Convencionais do modelo OMT-G (Fonte: Davis, Borges)

Através do estudo de primitivas geográficas, objetiva-se aumentar a capacidade semântica e também identificar maior número de abstrações que facilitam a modelagem de aplicações geográficas.

“Os principais pontos fortes do modelo são sua expressividade gráfica e suas capacidades de representação, uma vez que anotações textuais são substituídas pelo desenho de relacionamentos explícitos, representando a dinâmica da interação entre os diversos objetos espaciais e não espaciais”, (BORGES, 2005).

O OMT-G define um formalismo para identificar no modelo as classes georreferenciadas, diferenciando-as das classes convencionais, através da utilização de *pictogramas* que definem o tipo de geometria dos objetos de uma classe.

De acordo com o OMT-G as classes georreferenciadas podem ser classificadas conforme o metamodelo a seguir:

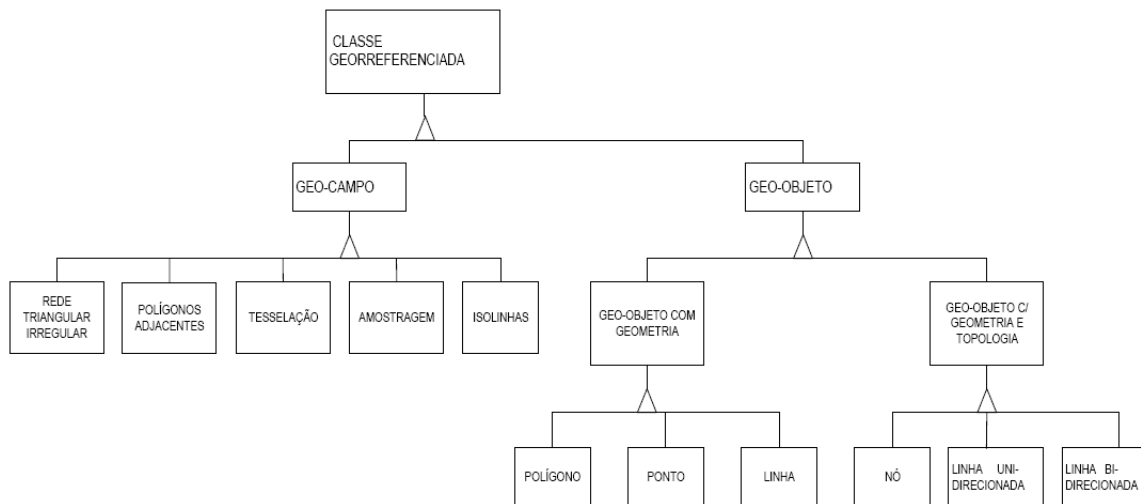


Figura 2.1 – Representação das Classes Básicas do Modelo OMT-G
Fonte: Borges, 1997.

Geo-Campo: São variações contínuas no espaço, onde fenômenos geográficos variam em diferentes distribuições.

Exemplo: tipo de solo, relevo de uma região;

Geo-Objeto: Representam o mundo real como uma superfície de objetos identificáveis, com geometria e características próprias.

Exemplo: entidades Individualizáveis (postes, estradas, lotes).

O modelo OMT-G define cinco classes descendentes de geo-campo:

Isolinhas, subdivisão planar, tesselação, amostragem, malha triangular;

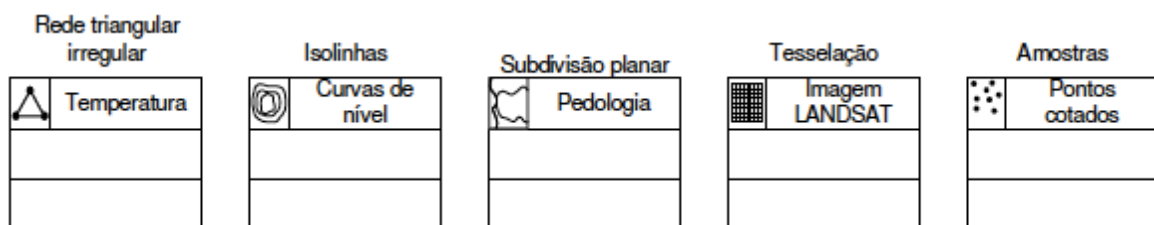


Fig 2.2- Classes descendentes de Geo-Campo

e duas classes descendentes de geo-objeto:

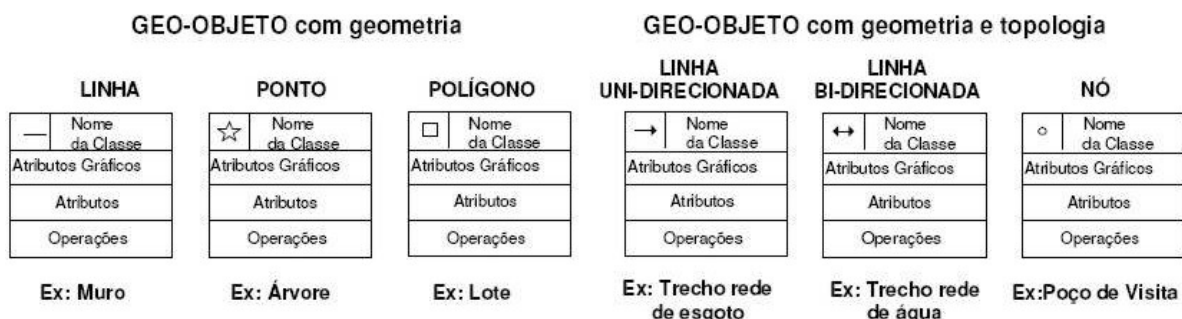


Fig 2.3- Classes descendentes de Geo-Objetos
BORGES, Modelagem de Dados Geográficos.

O modelo OMT-G considera um conjunto de relacionamentos espaciais entre classes georreferenciadas.

Um conjunto mínimo de relacionamentos espaciais é identificado, compreendendo somente cinco relacionamentos espaciais, a partir dos quais todos os outros podem ser especificados: *toca*, *em*, *cruza*, *sobreposição* e *disjunto*.

É considerado que, eventualmente, um conjunto maior de relacionamentos é necessário devido a fatores culturais ou semânticos que são familiares para os usuários, incluindo relacionamentos de significado “difuso”, tais como *perto de*, ou *ao norte de*.

Alguns relacionamentos só são possíveis entre determinadas classes, pois são dependentes da representação geométrica. Por exemplo, o relacionamento contém pressupõe que uma das classes envolvidas seja um polígono.

Neste aspecto, as aplicações tradicionais diferem das geográficas, onde as associações entre classes convencionais podem ser feitas livremente, sendo independente de fatores como comportamento geométrico.

O conjunto de conceitos que o usuário tem sobre cada objeto do mundo real sugere uma determinada representação porque existe uma interdependência entre a representação, o tipo de interpretação e a finalidade que será dada a cada entidade geográfica. No modelo OMT-G isto é considerado para que sejam estabelecidas as relações que envolvem classes georreferenciadas.

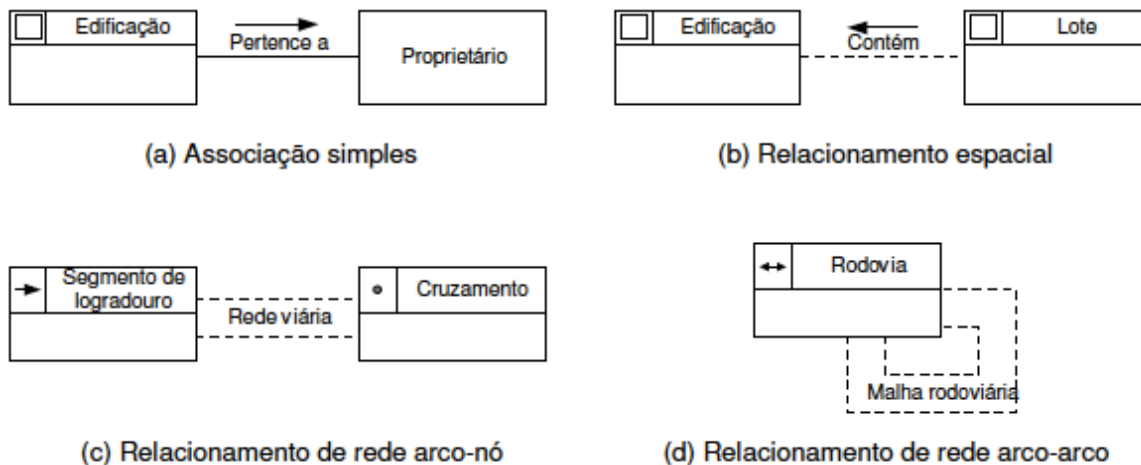


Fig 2.4 - Representações de restrições de integridade topológica
BORGES, Modelagem de Dados Geográficos

As representações de cardinalidade, generalização e especificação em OMT-G seguem o mesmo padrão do UML.

2.4 Restrições de Integridade Espacial

Restrições de integridade são usadas para garantir a exatidão e a consistência dos dados em um Banco de Dados.

Diversas restrições de integridade devem ser observadas quando se realiza alguma atualização em um banco de dados, de modo a preservar a semântica e a qualidade dos dados armazenados.

Garantir essa integridade é um objetivo bem consolidado em sistemas de gerenciamento de bancos de dados (SGBD) convencionais, em que restrições como as de domínio, de chaves e de relacionamentos são bastante conhecidas e extensivamente documentadas.

A integridade dos dados é tratada nas bases de dados geográficos através do conceito de integridade espacial. Quando se trata de Bancos de Dados Espaciais, ocorrem alguns problemas adicionais, ligados principalmente aos aspectos topológicos e geométricos dos dados.

A maioria dos sistemas de informações geográficas (SIG) necessita garantir que esses tipos de restrições não sejam violadas causando inconsistências tanto semânticas quanto topológicas.

Essas restrições precisam ser consideradas na construção do esquema da aplicação geográfica, e podem ser deduzidas a partir do modelo conceitual empregado, desde que este modelo seja capaz de explicitar de maneira adequada os relacionamentos espaciais entre objetos geográficos.

2.4.1. Restrições de integridade espaciais e o modelo OMT-G

Definição das restrições espaciais:

Primeiramente, para implementar restrições é necessário definir a topologia existente entre objetos espaciais sobre os quais as restrições serão aplicadas.

Alguns tipos de restrição estão definidas abaixo:

Restrição 1 - Preenchimento do plano

- região é coberta parcialmente por pontos que não se sobrepõem;
- cada ponto contém um valor para o tema considerado;
- outros pontos na região tem seu valor estimado.



Exemplo:
mapa de densidade
demográfica

Fig 2.5 – Pontos (Especializações)

Fonte: Borges -Modelagem de Dados Geográficos

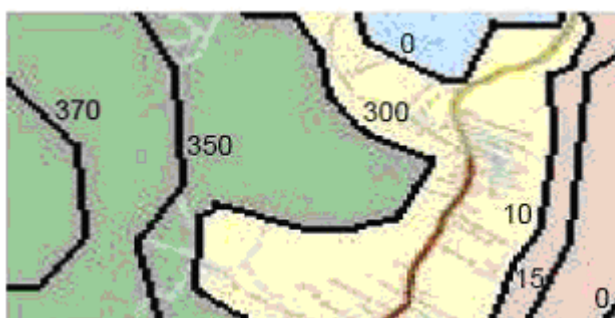
Regras associadas:

Deve ser possível determinar um único valor para o geo-campo em qualquer ponto da região de interesse.

Restrição 2 - Isolinhas

Representação de um fenômeno espacial (ex. Temperatura, relevo, etc) através de linhas que não se cruzam;

- Qualquer ponto sobre a mesma linha possui o mesmo valor para o fenômeno mapeado;
- Pontos que não estão em uma linha, tem o seu valor estimado.



Exemplo:
mapa de curvas
de nível

Fig 2.6- Isolinhas

Regras associadas:

Isolinhas são polilinhas simples cujos vértices têm o mesmo valor no geo-campo.
Polilinhas não devem se cruzar.

Restrição 3 - Tesselação

- região é totalmente coberta por uma grade de células
- célula
 - Área na qual todos os pontos do terreno possuem o mesmo valor para o tema; considerado
 - Células são regulares.

Regras associadas:

Tesselações são subdivisões do espaço em células regulares que correspondem, cada uma, a um valor do geo-campo.

Restrição 4 - Subdivisão planar

- Região é coberta totalmente por polígonos que não se sobrepõem
- Qualquer ponto contido no mesmo polígono possui o mesmo valor para o tema considerado



Fig 2.7- Subdivisão Planar
Fonte: Borges -Modelagem de Dados Geográficos

Regras associadas:

Uma classe definida como uma subdivisão planar é composta por objetos definidos por polígonos que não se interceptam, não se sobrepõem, e que cobrem todo o espaço de interesse. A cada polígono está associado um valor do geo-campo.

Restrição 5 - Malha triangular irregular

- Região é coberta totalmente por triângulos irregulares que não se sobrepõem;
- Cada vértice do triângulo contém um valor para o tema considerado;
- Pontos que não estão em vértices tem seu valor estimado.



Fig 2.8- Rede Triangular

Regras associadas:

Malha triangular irregular TIN são subdivisões planares formadas por triângulos, sendo que o valor do geo campo está associado a cada vértice, e não a cada triângulo.

Restrição 6 – Relacionamentos Topológicos

- Relacionamentos espaciais básicos
Toca, Em, Cruza, Sobrepõe, Disjunto
- Relacionamentos espaciais adicionais
Adjacente a, Coincide, Contém, Próximo (disjunto)

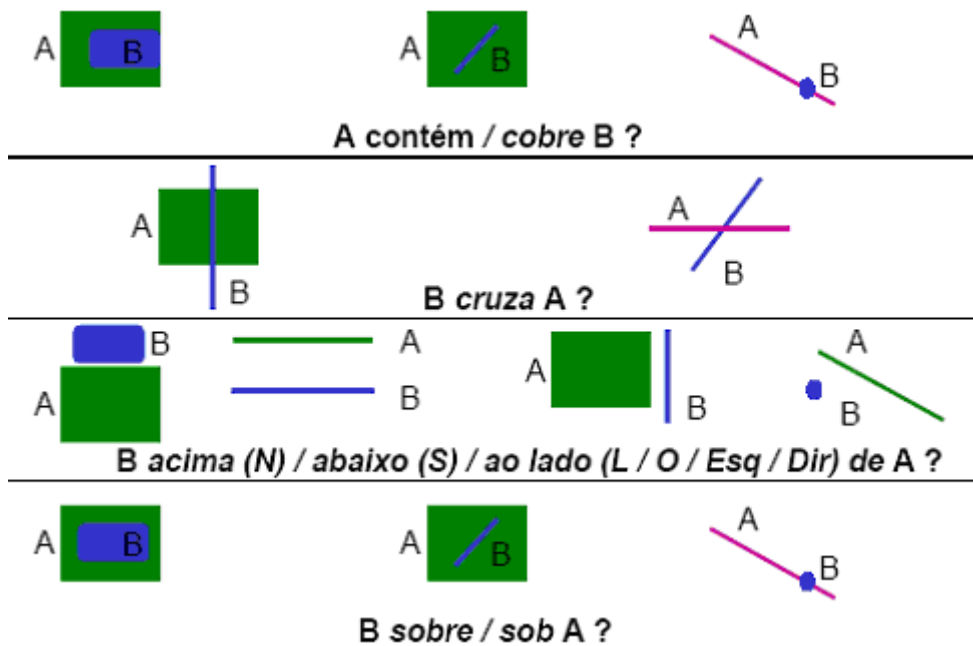


Fig 2.9 – Operações Topológicas

- Operações sobre objetos geométricos
– definidos a partir das noções de **fronteira** e **interior**

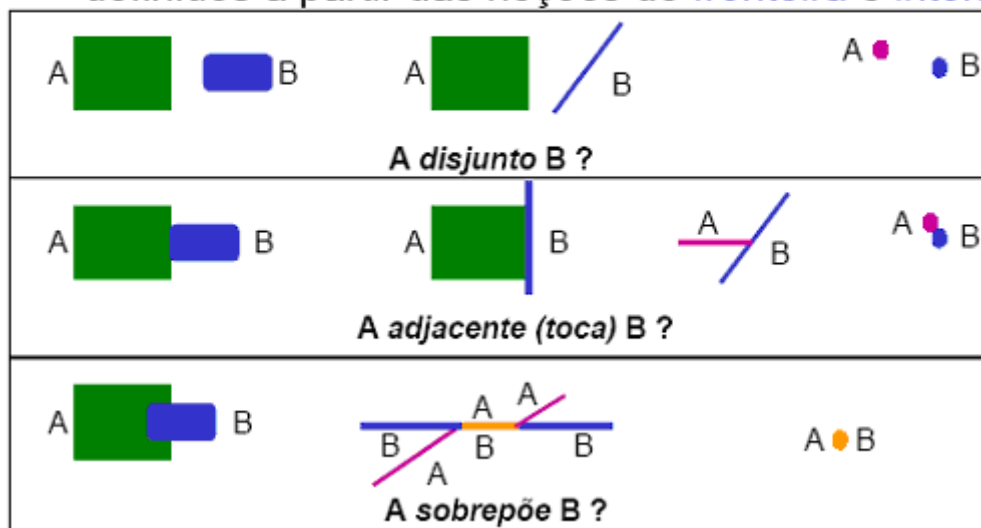


Fig 2.10 Operações topológicas sobre objetos geométricos

Fonte: Mapeamento Conceitual-Lógico
Davis Jr, Clodoveu - Restrições de Integridade Espaciais.

– Relacionamentos em rede

Restrição 7 - Estrutura arco-nó

Regras associadas:

Para cada nó pelo menos um arco, e para cada arco sempre dois nós.

Restrição 8 - Estrutura arco-arco

Regras associadas:

Cada arco deve estar ligado a pelo menos um outro arco

Restrição 9 - Agregação espacial

Segundo (DAVIS, BORGES, LAENDER, 2001), a agregação espacial é uma forma especial de associação entre objetos, em que um deles é formado a partir dos demais.

Isto pode ocorrer entre classes georeferenciadas, classes convencionais e entre estas.

As agregações entre classes georeferenciadas são definidas pela agregação espacial.

Regras associadas: Cada todo parte deve estar inteiramente contida no todo, e o todo deve ser inteiramente coberto pelas partes.

Restrição 10 - Restrições ligadas à forma geométrica (Tipo de Objeto)

Regras associadas: Linhas são poligonais simples, ou seja, sem auto-interseções

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA DE TRABALHO

Foram identificadas e discutidas nesse trabalho as seguintes restrições:

- Restrição 1- Preenchimento do plano
- Restrição 2- Isolinhas
- Restrição 3- Tesselação
- Restrição 4 - Subdivisão planar
- Restrição 5- Malha triangular irregular
- Restrição 6 - Relacionamentos Topológicos
- Restrição 7 - Estrutura arco-nó
- Restrição 8 - Estrutura arco-arco
- Restrição 9 - Agregação espacial
- Restrição 10 - Restrições de Tipo de Objeto

Relacionamos abaixo as restrições significativas que serão mapeadas, e que foram identificadas no Case GCOT- Base de Dados simplificada do CTM e Rede Ótica Metropolitana- ROM para validação das regras de mapeamento, uma vez que estas concentram a quase totalidade das restrições identificadas no estudo de caso.

- Restrição 2 - Isolinhas
- Restrição 4 - Subdivisão planar
- Restrição 6 - Relacionamentos Topológicos
- Restrição 9 - Agregação espacial
- Restrição 10 - Restrições de Tipo de Objeto

Além das restrições acima, identificamos regras associadas à geometria dos objetos que, caso violadas, geram problemas na manipulação da base de dados.

Assim, incluímos a restrição:

- Restrição 11 - Validação de Geometria.

3.1 Recursos do Oracle que serão utilizados no mapeamento

Como base para o mapeamento, consideramos a utilização dos recursos do Oracle Spatial para implementação de classes georreferenciadas.

O Oracle define um tipo de dado (SDO_GEOMETRY) para guardar a geometria do objeto em uma coluna da tabela. Assim, uma tabela que possui um campo do tipo SDO_GEOMETRY deve ser utilizada para o mapeamento das classes georreferenciadas. Vale lembrar que, além da coluna que guarda a geometria, a tabela deve conter os outros atributos da classe, principalmente aquele (conjunto de) atributo(s) que define(m) a chave primária da tabela.

O tipo de dados SDO_GEOMETRY é definido pelo Oracle como:

```
CREATE TYPE sdo_geometry AS OBJECT (  
SDO_GTYPE NUMBER,  
SDO_SRID NUMBER,  
SDO_POINT SDO_POINT_TYPE,  
SDO_ELEM_INFO SDO_ELEM_INFO_ARRAY,  
SDO_ORDINATES SDO_ORDINATE_ARRAY);
```

Onde:

SDO_GTYPE

Atributo que indica o tipo de geometria. É definido por um código de quatro dígitos no formato dltt, onde:

d identifica o número de dimensões (2, 3 ou 4)

l identifica o número da dimensão usada para os dados de LRS (0, 3 ou 4)

tt identifica o tipo de geometria, conforme a tabela abaixo:

tt	Tipo de Geometria (Oracle)	Descrição
01	POINT	Geometria definida por um Ponto
02	LINE	Linha simples
03	POLYGON	Polígono Simples (com ou sem buracos)
04	COLLECTION	Coleção heterogênea de objetos
05	MULTIPOINT	Geometria definida por um conjunto de pontos
06	MULTILINE	Geometria definida por um conjunto de linhas
07	MULTIPOLYGON	Geometria definida por um conjunto de polígonos

Fig 3.0

SDO_SRID

Atributo identificador do sistema de coordenadas associado à geometria. Os parâmetros do sistema de referência são guardados na tabela SDO_COORD_REF_SYS.

SDO_POINT

Armazenam as coordenadas X, Y e Z para objetos pontuais. Se todos os objetos da classe são pontuais, sugere-se que as coordenadas do objeto sejam armazenadas nesse campo, para fins de otimização, embora exista a possibilidade de guardar os dados dos pontos nos campos que são utilizados para guardar os dados de outros tipos de geometrias.

SDO_ELEM_INFO

Atributo que permite interpretar a sequência de dados guardada no campo SDO_ORDINATES.

SDO_ORDINATES

Utilizado em conjunto com o campo SDO_ELEM_INFO para representar a seqüência de coordenadas do objeto.

Além do tipo SDO_GEOMETRY, o Oracle Spatial define um conjunto de funções, operadores e procedimentos, organizados em pacotes, para a manipulação de objetos geográficos.

Os operadores SDO_FILTER e SDO_RELATE são disponibilizados para estabelecer a relação entre objetos geográficos e utilizam o sistema de indexação espacial para a máxima performance. As funções e procedimentos podem ser utilizadas através da linguagem PL/SQL para realização de consultas, especificação de procedimentos, gatilhos, etc. Através desse conjunto de recursos, é possível a implementação dos mecanismos de controle da integridade espacial.

3.2 Mapeamento das Restrições de Integridade

Nos modelos de código que apresentamos são utilizados os seguintes **parâmetros**:

<<**esquema**>>

Nome do esquema (owner) onde será criada a tabela.

<<**tabela**>>

Nome da tabela criada no BD para guardar os dados dos objetos de uma classe do modelo.

<<**coluna_geometria**>>

Nome da "coluna" (campo) de uma tabela que "guarda" os dados da geometria de um objeto de uma classe georreferenciada.

Na criação da tabela, essa coluna deverá ser criada como sendo do tipo MDSYS.SDO_GEOMETRY.

<<**nome_restrição_domínio**>>

Define o nome de uma restrição de domínio aplicada a uma tabela.

Como sugestão, definir o nome da restrição pela combinação do nome da tabela, acrescida de um prefixo (ex. "CK_") e um sufixo, conforme o campo a ser validado.

<<**lista_cod_geometrias_validos**>>

<<**nome_índice_espacial**>>

Define o nome de um índice espacial aplicado à geometria de classe.

Como sugestão, definir o nome do índice pela combinação do nome da classe, acrescida de um prefixo (ex. "SX_").

<<**numero_dimensoes**>>

identifica o número de dimensões.

<<tipo_geometria>>
identifica o tipo de geometria.

<<nome_trigger>>

Define o nome do gatilho para validação de geometria de objeto de uma classe.

Como sugestão, definir o nome do gatilho pela combinação do nome da classe, acrescida de um prefixo (ex. "TR_") e um sufixo (ex. "_VALGEOM").

Basicamente existem duas situações que envolvem a validação de regras de integridade espacial:

- ✓ A regra de validação envolve a validação do objeto com base na associação a objetos de outras tabelas. Nesse caso, a implementação da regra pode ser realizada através de gatilhos.
- ✓ A segunda situação ocorre quando a regra de validação de um objeto envolve a consulta aos demais objetos da mesma tabela. A dificuldade de implementação dessa situação através de gatilhos decorre do fato que, no momento em que o gatilho é disparado, não é possível realizar a consulta que envolve os objetos da mesma tabela. Tal tentativa resulta em um erro do Oracle denominado "Mutating Tables".

A solução desse impasse é dada pela implementação de dois gatilhos:

- Um gatilho para capturar os códigos dos objetos alterados;
- Um segundo gatilho para processar a lista de objetos alterados;

Na tentativa de modularizar o código e simplificar a implementação, os procedimentos que deveriam ser executados pelos gatilhos foram encapsulados em um pacote (package).

```
CREATE OR REPLACE PACKAGE <<esquema>>.<<pkg_validacao>> AS
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW (ID_OBJETO_ IN NUMBER);
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
END <<pkg_validacao>>;
```

```
CREATE OR REPLACE PACKAGE BODY <<esquema>>.<<pkg_validacao>> AS
```

```
    TYPE T_ID_CHANGE_REC IS RECORD (ID_OBJETO NUMBER );
    TYPE T_ID_CHANGE_TAB IS TABLE OF T_ID_CHANGE_REC ;
    T_ID_CHANGE T_ID_CHANGE_TAB := T_ID_CHANGE_TAB() ;
```

```
-----
PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW (ID_OBJETO_ IN NUMBER)
IS
BEGIN
    T_ID_CHANGE.EXTEND;
    T_ID_CHANGE(T_ID_CHANGE.LAST).ID_OBJETO := ID_OBJETO_ ;
END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW;
```

```
-----
PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST
IS
```

```
    <<Definição de Variáveis>>
BEGIN
    FOR I IN T_ID_CHANGE.FIRST .. T_ID_CHANGE.LAST LOOP
```

```
        <<PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO DO OBJETO>>
```

```
    END LOOP;
END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
```

```

END <<pkg_validacao>>;

CREATE OR REPLACE TRIGGER <<esquema>>.<<nome_trigger>> AFTER
INSERT OR DELETE OR UPDATE OF <<coluna_geometria>> ON
<<esquema>>.<<tabela_validar>> FOR EACH ROW
DECLARE
BEGIN
    -- Inserir objeto na lista a processar
    IF DELETING THEN
<<esquema>>.<<pkg_validacao>>.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW(:OLD.ID_Objeto
);
    END IF;

    IF INSERTING OR UPDATING THEN

<<esquema>>.<<pkg_validacao>>.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW(:NEW.ID_Objeto
);
    END IF;
END;
/

CREATE OR REPLACE TRIGGER <<esquema>>.<<nome_trigger>> AFTER
INSERT OR DELETE OR UPDATE OF <<coluna_geometria>> ON <<esquema>>.<<
tabela_validar>>
BEGIN
    <<pkg_validacao>>.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST ;
END;
/

```

3.2.1. Restrição 2 - Isolinhhas

A validação de Isolinhhas enquadra-se na segunda situação descrita no item anterior (mutating tables) e o mapeamento deve seguir o modelo descrito. A particularidade está no procedimento de validação que deve seguir o modelo para o procedimento VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST:

```

-----
PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST
IS
    NUMREG                NUMBER ;
    ID_OBJETO_            NUMBER ;
    Isolinhha_GEOM        mdsys.sdo_geometry;
    Isolinhha_SE_TOCAM    EXCEPTION;

BEGIN
    FOR I IN T_ID_CHANGE.FIRST .. T_ID_CHANGE.LAST LOOP

        ID_OBJETO_ := T_ID_CHANGE(I).ID_OBJETO ;

        SELECT Ti.<<coluna_geometria>> INTO Isolinhha_GEOM
        FROM <<esquema>>.<<tabela_isolinhhas>> Ti
        WHERE Ti.<<ID_OBJETO>> = ID_OBJETO_ ;

        SELECT COUNT(*) INTO NUMREG
        FROM <<esquema>>.<<tabela_isolinhhas>> Ti
        WHERE SDO_GEOM.RELATE(Ti.<<coluna_geometria>>, 'ANYINTERACT',
        Isolinhha_GEOM, 0.0001) = 'TRUE' ;

```

```

        IF NUMREG > 0 Then
            RAISE Isolinha_SE_TOCAM ;
        END IF;

    END LOOP;

EXCEPTION
    WHEN Isolinha_SE_TOCAM THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ISOLINHAS NÃO PODEM SE
        CRUZAR');

END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
-----

```

3.2.2. Restrição 4 - Subdivisão planar

A validação de Subdivisões Planares enquadra-se também na situação “mutating tables”. A validação que deve seguir o modelo para o procedimento VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST:

```

-----
PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST
IS
    NUMREG                NUMBER ;
    ID_OBJETO_            NUMBER ;
    Subdivisao_GEOM       mdsys.sdo_geometry;
    Subdivisao_SE_SOBREPOE EXCEPTION;

BEGIN
    FOR I IN T_ID_CHANGE.FIRST .. T_ID_CHANGE.LAST LOOP

        ID_OBJETO_ := T_ID_CHANGE(I).ID_OBJETO ;

        SELECT Ti.<<coluna_geometria>> INTO Subdivisao_GEOM
        FROM <<esquema>>.<<tabela_validar>> Ti
        WHERE Ti.<<ID_OBJETO>> = ID_OBJETO_ ;

        SELECT COUNT(*) INTO NUMREG
        FROM <<esquema>>.<<tabela_validar>> Ti
        WHERE SDO_GEOM.RELATE(Ti.<<coluna_geometria>>,
        'OVERLAPBDYINTERSECT+OVERLAPBDYDISJOINT+EQUAL+CONTAINS+COVERS+INSIDE+COVE
        REDBY+ON', Subdivisao_GEOM, 0.0001) =
        'OVERLAPBDYINTERSECT+OVERLAPBDYDISJOINT+EQUAL+CONTAINS+COVERS+INSIDE+COVE
        REDBY+ON' ;

        IF NUMREG > 0 Then
            RAISE Subdivisao_SE_SOBREPOE;
        END IF;

    END LOOP;

EXCEPTION
    WHEN Subdivisao_SE_SOBREPOE THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'DOIS OBJETOS DE UMA SUBDIVISÃO
        PLANAR NÃO PODEM SE SOBREPOR');

END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
-----

```

3.2.3. Restrição 6 - Relacionamentos Topológicos

Existem várias propostas de modelos com o objetivo de descrever os possíveis relacionamentos entre dois objetos. Os modelos adotados nas implementações da maioria dos SIGs seguem o paradigma das matrizes de interseção.

```
create or replace TRIGGER <<esquema>>.<<nome_trigger>> BEFORE
INSERT OR UPDATE OF <<coluna_geometria>> ON <<esquema>>.<<tabela>> FOR
EACH ROW
DECLARE
    IDREG                NUMBER(10) ;
    ERRO_REL_TOPOLOGICO EXCEPTION ;
BEGIN
    BEGIN
        SELECT TR.<<ID_OBJETO>> INTO IDREG
        FROM <<esquema>>.<<tabela_relacionada>> TR
        WHERE SDO_GEOM.RELATE(:NEW.<<coluna_geometria>> ,
'<<Tipo_Relacionamento>>', TR.<<coluna_geometria>> , 0.0001) =
'<<Tipo_Relacionamento>>' ;
        EXCEPTION
        WHEN NO_DATA_FOUND THEN
            RAISE ERRO_REL_TOPOLOGICO ;
    END;

EXCEPTION

    WHEN ERRO_REL_TOPOLOGICO THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ERRO NA DEFINIÇÃO DE INTEGRIDADE
TOPOLOGICA');
    WHEN OTHERS THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ERRO DE VALIDAÇÃO DE INTEGRIDADE
TOPOLÓGICA...');

END;
```

3.2.4 Restrição 9 - Agregação espacial

Uma alternativa de mapeamento do conceito de agregação é a utilização de gatilhos, disparado após a inclusão de objeto ou alteração de geometria na sub-classe. Dessa forma, a classe que define o “todo” é gerada automaticamente através da agregação das partes, garantindo a restrição de agregação espacial.

Conforme descrito anteriormente, a dificuldade de implementação dessa alternativa está no fato de que, no momento em que o gatilho é disparado, não é possível realizar a consulta combinando as partes da mesma tabela. Tal tentativa resulta no erro “Mutating Tables”. Conforme modelo descrito anteriormente para esse caso, segue o modelo para o procedimento VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST:

```
-----
PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST
IS
    ID_OBJETO_          NUMBER ;
    AGGR_GEOM           mdsys.sdo_geometry;
BEGIN
    FOR I IN T_ID_CHANGE.FIRST .. T_ID_CHANGE.LAST LOOP
        ID_OBJETO_ := T_ID_CHANGE(I).ID_OBJETO ;
    END LOOP;
END;
```

```

SELECT Ta.GEOMETRIA_AGREGADA INTO AGGR_GEOM
FROM ( SELECT SDO_AGGR_UNION(MDSYS.SDOAGGRTYPE (
T.<<coluna_geometria>>, 0.005)) AS GEOMETRIA_AGREGADA
FROM <<esquema>>.<<tabela_sub_classe>> T
WHERE T.<<ID_OBJETO>> = ID_OBJETO_ ) Ta;

UPDATE <<esquema>>.<<tabela_agregada>>
SET <<coluna_geometria>> = AGGR_GEOM

END LOOP;
END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
-----

```

3.2.5 Restrição 10 - Restrições de Tipo de Objeto

O mapeamento de restrições relacionadas ao Tipo de Objeto pode ser realizado através de três recursos: restrição de validação, definição de índice espacial, gatilhos.

De acordo com o tipo de geometria do objeto, deve ser ajustado o parâmetro <<lista_cod_geometrias_validos>> (check ou gatilho) ou do parâmetro <<Tipo_Geometria>> (índice).

Através de definição de restrição de validação (CHECK)

```

alter table <<esquema>>.<<tabela>>
add constraint <<nome_restricao_domínio>>
check (<<coluna_geometria>>.sdo_gtype in
(<<lista_cod_geometrias_validos>>)) ;

```

Durante a definição de índices espaciais:

```

CREATE INDEX <<nome_índice_espacial>> ON <<esquema>>.<<tabela>>
("<<coluna_geometria>>")
INDEXTYPE IS "MDSYS"."SPATIAL_INDEX" PARAMETERS ('
SDO_INDX_DIMS=<<Numero_Dimensoes>> LAYER_GTYPE="<<Tipo_Geometria>>"');

```

Definição de Trigger disparada após a criação de um objeto ou após a alteração da geometria de um objeto existente:

```

CREATE OR REPLACE TRIGGER <<esquema>>.<<nome_trigger>> BEFORE
INSERT
OR UPDATE OF <<coluna_geometria>> ON <<esquema>>.<<tabela>> FOR EACH ROW
DECLARE
    ERRO_GEOMETRIA EXCEPTION ;
BEGIN
    -- Validar o tipo do objeto
    IF (NOT :NEW.<<coluna_geometria>>.SDO_GTYPE
        in <<lista_cod_geometrias_validos>>) THEN
        RAISE ERRO_GEOMETRIA ;
    END IF;
EXCEPTION
    WHEN ERRO_GEOMETRIA THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ERRO GEOMETRIA: TIPO DE GEOMETRIA
INVALIDO');
END;

```

3.2.6 Restrição 11 – Validação de Geometria

Além da implementação das restrições listadas, uma boa prática para garantir a qualidade dos dados geográficos de uma tabela, é criar um procedimento de validação da geometria do objeto. Esse procedimento, disparado através de um gatilho, valida um conjunto de regras de validação do objeto, aplicáveis conforme o tipo de objeto. No caso do Oracle, uma alternativa é utilizar a função `VALIDATE_GEOMETRY_WITH_CONTEXT`, que realiza uma verificação de consistência e retorna a informação no caso de geometrias inválidas. As principais regras verificadas por essa função são seguintes:

- ✓ Polígonos devem ser definidos por pelo menos quatro pontos
- ✓ Linhas devem ser definidos por pelo menos dois pontos
- ✓ Polígonos não podem se “auto-interceptar”
- ✓ Dois vértices adjacentes não podem ter a mesma coordenada
- ✓ O “anel” exterior de um polígono deve estar orientado no sentido anti-horário, e os “anéis” interiores (se for o caso) devem estar orientados no sentido horário, e os anéis interiores não podem tocar o anel exterior em mais de um ponto.

O mapeamento dessa regra é dado pela implementação de gatilho conforme o modelo que segue, para cada classe georreferenciada do modelo:

```
create or replace TRIGGER <<esquema>>.<<nome_trigger>>
BEFORE INSERT OR UPDATE OF <<coluna_geometria>> ON <<esquema>>.<<tabela>>
FOR EACH ROW
DECLARE
    RES_VAL_GEOM          VARCHAR2(255);
    ERRO_GEOMETRIA_ORACLE EXCEPTION;
BEGIN
    SELECT SUBSTR(SDO_GEOM.VALIDATE_GEOMETRY_WITH_CONTEXT(:NEW.
<<coluna_geometria>>, 0.0001),1,255) INTO RES_VAL_GEOM FROM DUAL;
    IF (RES_VAL_GEOM <> 'TRUE') THEN
        RAISE ERRO_GEOMETRIA_ORACLE;
    END IF;
EXCEPTION
    WHEN ERRO_GEOMETRIA_ORACLE THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ORACLE: "' || RES_VAL_GEOM || ') ERRO:
GEOMETRIA INVÁLIDA');
END;
```


CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização do Estudo de Caso.

CTM- Prodabel

A PBH junto a PRODABEL, possui um acervo considerável de dados e mapas, abrangendo desde a sua fundação até os dias atuais.

Essa tradição cartográfica foi importante para justificar a implantação da cartografia digital no Município.

O Geoprocessamento na Prefeitura de Belo Horizonte começou no final da década de 90. Hoje a PRODABEL é responsável pela manutenção do Cadastro Técnico Municipal (CTM), base utilizada por diversos órgãos da Prefeitura: SMF, SMARU, SMSA, SMED, Bhtrans, SLU e outros.

O CTM é um instrumento fundamental para a política urbana, pois permite a disponibilização de informações, tanto sociais / territoriais quanto urbanísticas e fundiárias, possibilitando a elaboração de planos de projetos de desenvolvimento urbano.

A utilização do geoprocessamento na PBH, apoiado por Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem apresentado resultados positivos no sentido de auxiliar o planejamento, a execução e a gestão de políticas públicas municipais.

Um dos avanços conquistado com esta nova tecnologia foi a utilização da nova representação do lote CTM.

Com a nova base geográfica torna-se possível uma centralização das informações referentes aos lotes e eles passam a ser vetorizados em formato digital.

“A migração do lote CTM para o ambiente de geoprocessamento permitirá a integração de vários sistemas, trazendo a possibilidade de cruzamento de dados entre os vários órgãos” (GOMES, 2000).

SIG são *“sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la” (DAVIS, 1997).*

4.2 Base Cartográfica do Município de Belo Horizonte

Utilizaremos os componentes pertencentes ao CTM da Prefeitura de Belo Horizonte e o mapeamento da Rede Ótica Metropolitana (ROM).

Os componentes escolhidos para análise foram:

Limite municipal, Quadra CTM, Meio Fio, Regional e Curva de Nível, esse ultimo pertencente ao CTM.

Na modelagem dos ativos ópticos, a classe georreferenciada predominou em todo o esquema. Estas classes foram relacionadas por associações simples, topológicas de rede e espaciais; e com o intuito de manter uma boa organização e segurança do banco de dados, foram criados restrições de integridades espaciais, relacionais e de domínio.

4.3 Modelo de dados OMT-G.

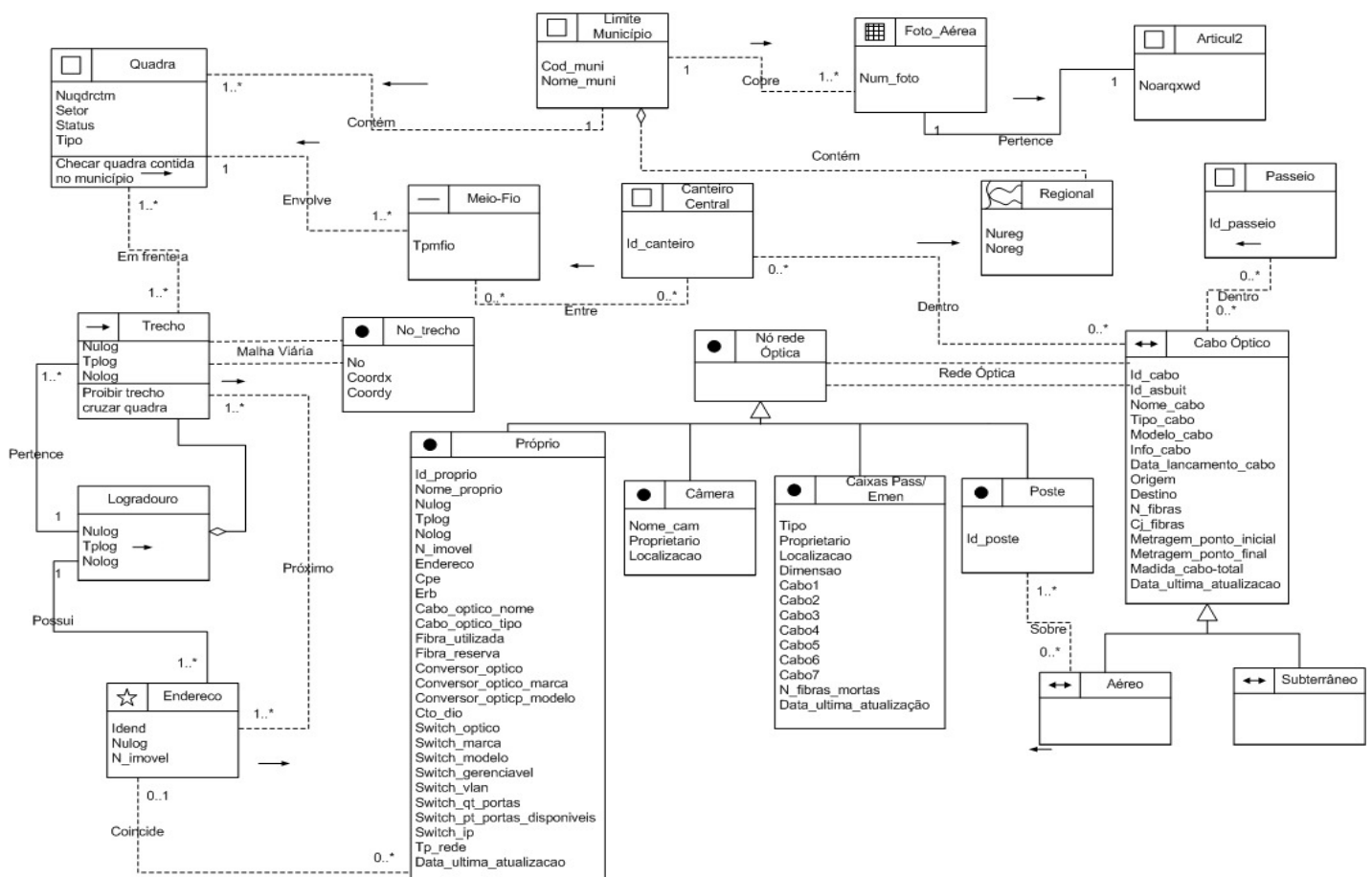
Escolheu-se o modelo OMT-G para representar o BDG, devido a sua simplicidade de representação do mundo real, introduzindo primitivas geográficas com o objetivo de aumentar a capacidade de representação semântica.

4.4 Projeto Conceitual

Com o projeto conceitual pretende-se representar fenômenos geográficos existentes, tais como limite municipal, quadra CTM e outros ativos.

O modelo OMT-G baseia-se nas classes georreferenciadas e convencionais no qual estas classes se relacionam através de associações simples, topológicas de rede e espaciais; e elas são asseguradas por restrições de integridades semânticas criadas no banco de dados.

Figura 4.0 - Projeto Conceitual dos Ativos Ópticos da ROM.



4.5 Projeto Lógico

Após o desenvolvimento do projeto conceitual é implantado em seguida o projeto lógico que consiste no mapeamento do esquema conceitual para o modelo de dados do BDG adotado, resultando em um esquema lógico relacional.

Nesta fase, são definidas as chaves primárias e estrangeiras, levando em conta os exemplos de modelagem de dados criados no modelo conceitual. Com o objetivo de avaliar o esquema conceitual frente às necessidades de uso do banco de dados pelos usuários e suas futuras aplicações.

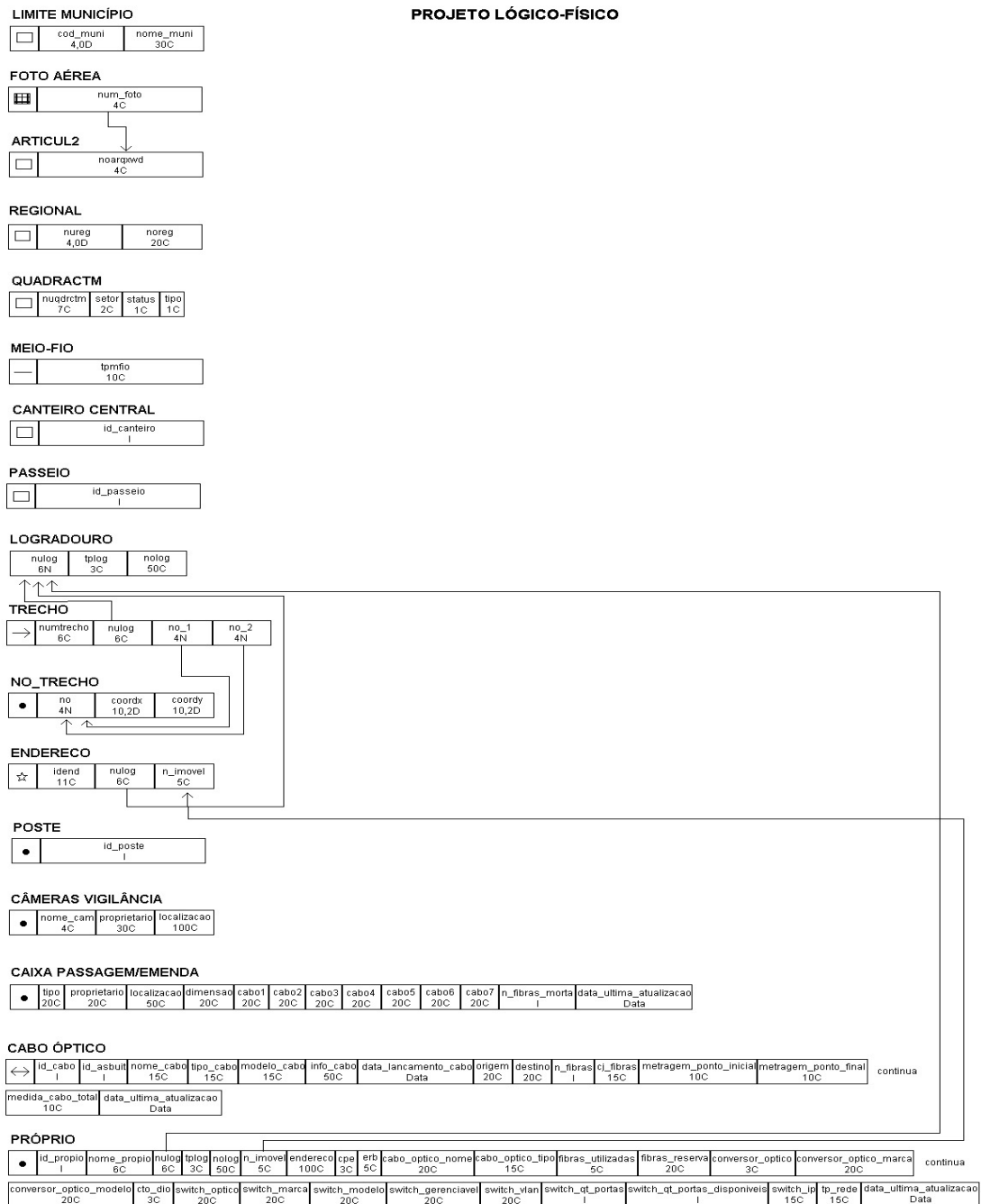


Figura 4.1 – Projeto Lógico dos Ativos Ópticos da ROM

4.6 Verificação das Restrições De Integridade Espacial

Utilizando os componentes pertencentes ao CTM da Prefeitura de Belo Horizonte e o mapeamento da Rede Ótica Metropolitana (ROM).

Procuramos identificar os tipos de restrição para as quais se pretende definir as regras de mapeamento:

Tab 4.1

Nome da Tabela: Limite_municipio	
Tipo: Geo_objeto	Forma de Representação: polígono
Descrição: Representação do limite do município de Belo Horizonte.	

Restrição de Integridade Espacial

Todas as tabelas referentes a esta aplicação devem estar contidas dentro do limite do município.

Tab 4.2

Nome da Tabela: quadractm	
Tipo: Geo_objeto	Forma de Representação: Polígono
Projeção: UTM fuso 23	DATUM: SAD 69
Descrição: Representa o limite de cada quadra do município de Belo Horizonte de acordo com o Cadastro Técnico Municipal (CTM)	

Restrição de Integridade Espacial:

O limite de cada quadra deve estar contido no Limite do meio fio e no Limite do Município.

Tab 4.3

Nome da Tabela: Regional	
Tipo: Geo-campo Planar	Forma de Representação: Subdivisão Planar
Descrição: Representa o limite de cada regional do município de Belo Horizonte.	

Restrição de Integridade Espacial:

O limite de cada regional deve estar contido no limite do município.

Tab 4.4

Nome da Tabela: meio fio	
Tipo: Geo_objeto	Forma de Representação: Linha
Projeção: UTM fuso 23 DATUM: SAD 69	
Descrição: Representação visual dos meios-fios do município de Belo Horizonte.	

Restrição de Integridade Espacial:

O meio fio deve conter o limite de uma quadra.

4.7 Restrições De Integridade Espaciais Analisadas e Respectivas Identificações

4.7.1 Validação da Camada de Curva de Nível: (Isolinhas)

Demonstração de implementação de validação de isolinhas.

Estabelecemos que regras associadas devem ser observadas tais como:

- ✓ Isolinhas são polilinhas simples cujos vértices têm o mesmo valor no geo-campo.
- ✓ Polilinhas não devem se cruzar.

Embora a camada não conste no modelo, essa foi a única camada da base do CTM à qual se aplica o conceito de isolinhas.

Sugestão de alteração do código para não permitir que linhas de cotas distintas não se cruzem.

```
CREATE OR REPLACE PACKAGE PLANIALTIMETRICO.PKG_VALIDA_CURVA_MESTRA AS
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW (ID_OBJETO_ IN NUMBER);
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
END PKG_VALIDA_CURVA_MESTRA;
/
```

```
CREATE OR REPLACE PACKAGE BODY PLANIALTIMETRICO.PKG_VALIDA_CURVA_MESTRA
AS
```

```
    TYPE T_ID_CHANGE_REC IS RECORD (ID_OBJETO NUMBER );
    TYPE T_ID_CHANGE_TAB IS TABLE OF T_ID_CHANGE_REC ;
    T_ID_CHANGE T_ID_CHANGE_TAB := T_ID_CHANGE_TAB() ;
```

```
-----
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW (ID_OBJETO_ IN NUMBER)
    IS
    BEGIN
        T_ID_CHANGE.EXTEND;
        T_ID_CHANGE(T_ID_CHANGE.LAST).ID_OBJETO := ID_OBJETO_ ;
    END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW;
    -----
```

```
-----
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST
    IS
        NUMREG          NUMBER ;
        ID_OBJETO_      NUMBER ;
```

```

Isolinha_GEOM          mdsys.sdo_geometry;
Isolinha_SE_TOCAM     EXCEPTION;

BEGIN
  FOR I IN T_ID_CHANGE.FIRST .. T_ID_CHANGE.LAST LOOP

    ID_OBJETO_ := T_ID_CHANGE(I).ID_OBJETO ;

    SELECT Ti.GEOMETRIA INTO Isolinha_GEOM
    FROM PLANIALTIMETRICO.CURVAMES Ti
    WHERE Ti.ID_CURVAMES = ID_OBJETO_ ;

    SELECT COUNT(*) INTO NUMREG
    FROM PLANIALTIMETRICO.CURVAMES Ti
    WHERE SDO_GEOM.RELATE(Ti.GEOMETRIA, 'ANYINTERACT',
Isolinha_GEOM, 0.0001) = 'TRUE' ;

    IF NUMREG > 0 Then
      RAISE Isolinha_SE_TOCAM ;
    END IF;

  END LOOP;

  EXCEPTION
    WHEN Isolinha_SE_TOCAM THEN
      RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ISOLINHAS NÃO PODEM SE
CRUZAR');

  END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
-----
END PKG_VALIDA_CURVA_MESTRA;
/

CREATE OR REPLACE TRIGGER PLANIALTIMETRICO.TR_CURVAMES_GEOM_ROW AFTER
INSERT OR DELETE OR UPDATE OF GEOMETRIA ON PLANIALTIMETRICO.CURVAMES FOR
EACH ROW
DECLARE
BEGIN
  -- Inserir objeto na lista a processar
  IF DELETING THEN
PKG_VALIDA_CURVA_MESTRA.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW(:OLD.ID_CURVAMES);
  END IF;

  IF INSERTING OR UPDATING THEN
PKG_VALIDA_CURVA_MESTRA.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW(:NEW.ID_CURVAMES);
  END IF;
END;
/

CREATE OR REPLACE TRIGGER PLANIALTIMETRICO.TR_CURVAMES_GEOM_ST AFTER
INSERT OR DELETE OR UPDATE OF GEOMETRIA ON PLANIALTIMETRICO.CURVAMES
BEGIN
  PKG_VALIDA_CURVA_MESTRA.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST ;
END;
/

```

4.7.2 Validação da Camada Regional (Subdivisão Planar)

Demonstração da validação da restrição de subdivisão planar através da camada de regionais.

```
CREATE OR REPLACE PACKAGE CADASTRO_TECNICO.PKG_VALIDA_SUBDV_REGIONAL AS
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW (ID_OBJETO_ IN NUMBER);
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
END PKG_VALIDA_SUBDV_REGIONAL;
/

CREATE OR REPLACE PACKAGE BODY CADASTRO_TECNICO.PKG_VALIDA_SUBDV_REGIONAL
AS

    TYPE T_ID_CHANGE_REC IS RECORD (ID_OBJETO NUMBER );
    TYPE T_ID_CHANGE_TAB IS TABLE OF T_ID_CHANGE_REC ;
    T_ID_CHANGE T_ID_CHANGE_TAB := T_ID_CHANGE_TAB() ;

    -----
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW (ID_OBJETO_ IN NUMBER)
    IS
    BEGIN
        T_ID_CHANGE.EXTEND;
        T_ID_CHANGE(T_ID_CHANGE.LAST).ID_OBJETO := ID_OBJETO_ ;
    END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW;
    -----

    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST
    IS
        NUMREG                NUMBER ;
        ID_OBJETO_             NUMBER ;
        Subdivisao_GEOM        mdsys.sdo_geometry;
        Subdivisao_SE_SOBREPOE EXCEPTION;

    BEGIN
        FOR I IN T_ID_CHANGE.FIRST .. T_ID_CHANGE.LAST LOOP

            ID_OBJETO_ := T_ID_CHANGE(I).ID_OBJETO ;

            SELECT Ti.GEOMETRIA INTO Subdivisao_GEOM
            FROM CADASTRO_TECNICO.REGIONAL Ti
            WHERE Ti.ID_REGIONAL = ID_OBJETO_ ;

            SELECT COUNT(*) INTO NUMREG
            FROM CADASTRO_TECNICO.REGIONAL Ti
            WHERE SDO_GEOM.RELATE(Ti.GEOMETRIA,
            'OVERLAPBDYINTERSECT+OVERLAPBDYDISJOINT+EQUAL+CONTAINS+COVERS+INSIDE+COVE
            REDBY+ON', Subdivisao_GEOM, 0.0001) =
            'OVERLAPBDYINTERSECT+OVERLAPBDYDISJOINT+EQUAL+CONTAINS+COVERS+INSIDE+COVE
            REDBY+ON' ;

            IF NUMREG > 0 Then
                RAISE Subdivisao_SE_SOBREPOE;
            END IF;

        END LOOP;

    EXCEPTION
```

```

        WHEN Subdivisao_SE_SOBREPOE THEN
            RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'DOIS OBJETOS DE UMA SUBDIVISÃO
PLANAR NÃO PODEM SE SOBREPOR');

        END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;

-----
END PKG_VALIDA_SUBDV_REGIONAL;
/

CREATE OR REPLACE TRIGGER CADASTRO_TECNICO.TR_REGIONAL_GEOM_ROW AFTER
INSERT OR DELETE OR UPDATE OF GEOMETRIA ON CADASTRO_TECNICO.REGIONAL FOR
EACH ROW
DECLARE
BEGIN
    -- Inserir objeto na lista a processar
    IF DELETING THEN
        PKG_VALIDA_SUBDV_REGIONAL.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW(:OLD.ID_REGIONAL);
    END IF;

    IF INSERTING OR UPDATING THEN

        PKG_VALIDA_SUBDV_REGIONAL.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW(:NEW.ID_REGIONAL);
    END IF;
END;
/

CREATE OR REPLACE TRIGGER CADASTRO_TECNICO.TR_REGIONAL_GEOM_ST AFTER
INSERT OR DELETE OR UPDATE OF GEOMETRIA ON CADASTRO_TECNICO.REGIONAL
BEGIN
    PKG_VALIDA_SUBDV_REGIONAL.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST ;
END;/

```

4.7.3. Validação de Agregação Espacial

O código abaixo demonstra uma alternativa de implementação do conceito de agregação espacial. Conforme o modelo, a camada do limite municipal é definida a partir da agregação dos objetos da camada regional. De acordo com essa definição, as alterações realizadas na camada regional, devem ser propagadas para o limite municipal.

```

CREATE OR REPLACE PACKAGE CADASTRO_TECNICO.PKG_VALIDA_AGGR_REGIONAL AS
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW (ID_OBJETO_ IN NUMBER);
    PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
END PKG_VALIDA_AGGR_REGIONAL;
/

CREATE OR REPLACE PACKAGE BODY CADASTRO_TECNICO.PKG_VALIDA_AGGR_REGIONAL
AS

    TYPE T_ID_CHANGE_REC IS RECORD (ID_OBJETO NUMBER );
    TYPE T_ID_CHANGE_TAB IS TABLE OF T_ID_CHANGE_REC ;
    T_ID_CHANGE T_ID_CHANGE_TAB := T_ID_CHANGE_TAB() ;

-----
PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW (ID_OBJETO_ IN NUMBER)
IS
BEGIN
    T_ID_CHANGE.EXTEND;
    T_ID_CHANGE(T_ID_CHANGE.LAST).ID_OBJETO := ID_OBJETO_ ;

```



```

END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW;
-----

PROCEDURE VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST
IS
  ID_OBJETO_          NUMBER ;
  AGGR_GEOM           mdsys.sdo_geometry;
BEGIN
  FOR I IN T_ID_CHANGE.FIRST .. T_ID_CHANGE.LAST LOOP
    ID_OBJETO_ := T_ID_CHANGE(I).ID_OBJETO ;

    SELECT Ta.GEOMETRIA_AGREGADA INTO AGGR_GEOM
    FROM ( SELECT SDO_AGGR_UNION(MDSYS.SDOAGGRTYPE(
      T.GEOMETRIA, 0.005)) AS GEOMETRIA_AGREGADA
    FROM CADASTRO_TECNICO.REGIONAL T
    WHERE T.ID_REGIONAL = ID_OBJETO_ ) Ta;

    UPDATE CADASTRO_TECNICO.LIMITE_MUNICIPIO
    SET GEOMETRIA = AGGR_GEOM ;

  END LOOP;
END VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST;
-----

END PKG_VALIDA_AGGR_REGIONAL;
/

CREATE OR REPLACE TRIGGER CADASTRO_TECNICO.TR_REGIONAL_GEOM_ROW AFTER
INSERT OR DELETE OR UPDATE OF GEOMETRIA ON CADASTRO_TECNICO.REGIONAL FOR
EACH ROW
DECLARE
BEGIN
  -- Inserir objeto na lista a processar
  IF DELETING THEN
    PKG_VALIDA_AGGR_REGIONAL.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW(:OLD.ID_REGIONAL);
  END IF;

  IF INSERTING OR UPDATING THEN
    PKG_VALIDA_AGGR_REGIONAL.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ROW(:NEW.ID_REGIONAL);
  END IF;
END;
/

CREATE OR REPLACE TRIGGER CADASTRO_TECNICO.TR_REGIONAL_GEOM_ST AFTER
INSERT OR DELETE OR UPDATE OF GEOMETRIA ON CADASTRO_TECNICO.REGIONAL
BEGIN
  PKG_VALIDA_AGGR_REGIONAL.VALIDAR_GEOMETRIA_OBJETO_ST ;
END;
/

```

4.7.4 Validação da Camada Quadra:

Um mesmo gatilho está sendo utilizado para validação de três restrições:

- Validação do tipo de objeto, Validação de geometria, restrição topológica.

```
create or replace TRIGGER "CADASTRO_TECNICO"."TR_QUADRA_CTM_VAL_GEOM"
BEFORE INSERT OR UPDATE OF GEOMETRIA ON "CADASTRO_TECNICO"."QUADRA_CTM"
FOR EACH ROW
DECLARE

    NUMREG          INTEGER          ;
    RES_VAL_GEOM    VARCHAR2(255);
    ERRO_SRID       EXCEPTION ;
    ERRO_GEOMETRIA  EXCEPTION ;
    ERRO_GEOMETRIA_ORACLE EXCEPTION ;
    ERRO_EXT_LIMITE EXCEPTION ;
    ERRO_EXT_MEIOFIO EXCEPTION ;

BEGIN

    -- Validar o tipo do objeto
    IF (:NEW.GEOMETRIA.SDO_GTYPE IN (2003,2007)) THEN
        RAISE ERRO_GEOMETRIA ;
    END IF;

    -- Validar SRID
    IF (:NEW.GEOMETRIA.SDO_SRID <> 82301) THEN
        RAISE ERRO_SRID ;
    END IF;

    -- Validar restrições de integridade espacial (LIMITE MUNICIPIO)
    SELECT COUNT(*) INTO NUMREG
    FROM CADASTRO_TECNICO.LIMITE_MUNICIPIO L
    WHERE SDO_GEOM.RELATE(:NEW.GEOMETRIA, 'INSIDE+COVEREDBY', L.GEOMETRIA,
    0.0001) = 'INSIDE+COVEREDBY' ;

    IF (NUMREG = 0) THEN
        RAISE ERRO_EXT_LIMITE ;
    END IF;

    -- Validar restrições de integridade espacial (MEIO FIO)
    SELECT COUNT(*) INTO NUMREG
    FROM CADASTRO_TECNICO.MEIO_FIO_QUADRA L
    WHERE SDO_GEOM.RELATE(:NEW.GEOMETRIA, 'INSIDE+COVEREDBY+EQUAL',
    L.GEOMETRIA, 0.0001) = 'INSIDE+COVEREDBY+EQUAL' ;

    IF (NUMREG = 0) THEN
        RAISE ERRO_EXT_MEIOFIO ;
    END IF;

    -- Validar geometria...
    SELECT SUBSTR(SDO_GEOM.VALIDATE_GEOMETRY_WITH_CONTEXT(:NEW.GEOMETRIA,
    0.0001),1,255) INTO RES_VAL_GEOM FROM DUAL;
    IF (RES_VAL_GEOM <> 'TRUE') THEN
        RAISE ERRO_GEOMETRIA_ORACLE ;
    END IF;
```

EXCEPTION

```
    WHEN ERRO_GEOMETRIA_ORACLE THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ERRO: GEOMETRIA INVÁLIDA');
    WHEN ERRO_GEOMETRIA THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ERRO GEOMETRIA: TIPO DE GEOMETRIA
INVALIDO PARA A QUADRA');
    WHEN ERRO_SRID THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ERRO GEOMETRIA: SRID INVALIDO PARA
A QUADRA');
    WHEN ERRO_EXT_LIMITE THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ERRO GEOMETRIA: QUADRA EXTRAPOLA
LIMITE MUNICIPAL...');
    WHEN ERRO_EXT_MEIOFIO THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ERRO GEOMETRIA: QUADRA EXTRAPOLA
MEIO-FIO...');
    WHEN OTHERS THEN
        RAISE_APPLICATION_ERROR(-20000, 'ERRO NA VALIDACÃO DA GEOMETRIA DA
QUADRA...');

END;
```

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente devemos ressaltar que, seria interessante estender o estudo para validação de outras regras, em futuros trabalhos.

Melhorar a confiabilidade e qualidade dos dados, fornecer subsídios para desenvolvedores através dos códigos apresentados nesse trabalho, acreditamos ser a contribuição que estamos proporcionando a futuros precursores em BDG.

Nas discussões das regras de integridade apresentadas, muitas outras poderão surgir, utilizando como orientação os códigos aqui desenvolvidos e aprimorando os “scripts” relacionados.

A importância e necessidade deste trabalho, decorre do fato de disponibilizar aos profissionais que trabalham com a implementação de BDG um roteiro para realizar o mapeamento, permitindo que o usuário formule restrições de integridade específicas, conforme exigido pela aplicação e suas regras de negócio.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Restrições espaciais são fatores de grande importância em SIG porque influem diretamente na integridade e na qualidade dos dados geográficos.

Este aspecto está sendo tratado por autores de modelos conceituais de dados geográficos, mas está sendo negligenciado pelos fabricantes de SIG.

O desenvolvedor da aplicação ainda precisa programar as restrições de integridade espacial, o que muitas vezes é dificultado pelo grande número de regras, que precisam ser implementadas.

Se as tarefas de manutenção das integridades espaciais passarem a ser integralmente realizadas pelo SGBD espacial, passa a ser possível uma especialização dos SIG.

No entanto, os SGBD espaciais ainda não incorporam as restrições de integridade espaciais com a mesma ênfase dada às restrições convencionais tradicionais, e assumem que o SIG fará toda a verificação de integridade espacial.

Com a finalização deste trabalho deixou-se claro a importância de implementar um Banco de Dados Geográfico, assim como as Restrições Espaciais que auxiliam na integridade e na qualidade dos dados geográficos.

Restrições de integridade são usadas para garantir a exatidão e a consistência dos dados em um Banco de Dados.

A ausência da implementação dessas Restrições, tende a tornar frágeis e inconsistentes os dados contidos no Banco, seja ele convencional ou espacial.

As dificuldades enfrentadas para tornar viável o trabalho de desenvolvimento e implementação física das restrições apresentadas, decorrem do fato de ser um trabalho pioneiro e não haver muitas referências a pesquisar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAVIS Jr., C. A. *Múltiplas Representações em Sistemas de Informação Geográficos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

PLUMBER, L, GROGER, G. Achieving integrity in *Geographic information systems: maps and Nested maps, GeoInformatica 1(4): 346-367, 1997.*

BORGES, K. A. V., Laender, A. H. F., Davis Jr., C. A. Spatial data integrity constraints in object *Oriented geographic data modeling. In Proceedings of the 7th International Symposium on Advances in Geographic.*

DAVIS Jr., C. A., BORGES, K. A. V., LAENDER, A. H. F. Restrições de Integridade em Bancos de Dados Geográficos. In: III Workshop Brasileiro de GeoInformática (GeoInfo 2001), 2001, Rio de Janeiro (RJ). Anais do III Workshop Brasileiro de GeoInformática, 2001. p. 63-70.

RODRIGUES, Felipe Antônio Carneiro. Utilização Do Geoprocessamento Na Rede De Comunicação De Dados, Voz E Imagem Da Prefeitura De Belo Horizonte.

MARCELLINI, Silvana Susko- Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia

DAVIS Jr, Clodoveu
Bancos de Dados Geográficos
Projeto Lógico de BDG:
Mapeamento Conceitual-Lógico e Restrições de Integridade Espaciais

BORGES, Karla Albuquerque de Vasconcelos. Modelagem de Dados Geográficos. Belo Horizonte. Apostila de Especialização em Geoprocessamento, IGC-UFMG. 66 p

GOMES, Antônio Carlos dos Reis. A representação do lote CTM no geoprocessamento de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2000. IGC-UFMG. Monografia de Especialização em Geoprocessamento. 45 p

DAVIS Jr, Clodoveu . GIS: dos conceitos básicos ao estado da arte, Espaço BH, Centro de Desenvolvimento e Estudos da PRODABEL, n. 01, Julho de 1997.